

# AVALUACIÓ DE LA CAPACITAT NITRIFICANT DE SÒLS AGRÍCOLES SEMIÀRIDS

David Badia\*

## RESUM

La capacitat nitrificant de sis sòls agrícoles, pertanyents al subgrup *Xeric Torriorthent*, situats a la depressió de l'Ebre mitjà, ha estat estudiada en un experiment d'incubació. Un model sigmoïdal ha estat utilitzat per a expressar l'acumulació de  $\text{N-NO}_3^-$ . S'han determinat el període de latència i la taxa màxima de nitrificació per avaluar aquesta capacitat nitrificant.

El període de latència va oscil·lar entre 7,7 i 20,4 dies mentre que la taxa màxima ho va fer entre 1,47 i 40,34  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1} \text{ sòl dia}^{-1}$ . La taxa màxima de nitrificació es correlaciona, de forma significativa i positiva, amb el contingut de matèria orgànica i, de forma negativa, amb la salinitat. D'altra banda, el període de latència es correlaciona significativa i positivament amb el contingut en guix i negativament amb el contingut en carbonats.

PARAULES CLAU: nitrificació, sòls agrícoles, terres semiàrides.

## RESUMEN

La capacidad nitrificante de seis suelos agrícolas clasificados como *Xeric Torriorthent* y situados en la depresión media del Ebro ha sido estudiada en un experimento de incubación. Se ha utilizado un modelo sigmoïdal para expresar la acumulación de  $\text{N-NO}_3^-$ . Se ha determinado el periodo de latencia y la tasa máxima de nitrificación para evaluar dicha capacidad nitrificante.

El periodo de latencia oscila entre 7,7 y 20,4 días, mientras que la tasa máxima de nitrificación lo hizo entre 1,47 y 40,34  $\text{mg de N-NO}_3^- \text{ kg suelo}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . La tasa máxima se correlaciona, de forma significativa y positiva, con el contenido de materia orgánica y, de forma negativa, con la salinidad. Por otra parte, el periodo de latencia se correlaciona significativa y positivamente con el contenido de yeso y negativamente con el contenido de carbonatos.

PALABRAS CLAVE: nitrificación, suelos agrícolas, tierras semiáridas.

\* Departament d'Agricultura. Escuela Universitaria Politécnica. Carretera de Saragossa km. 67, 22071-Osca.

## SUMMARY

The nitrification potential capacity of six *Xeric Torriorthent* agricultural soils from the semiarid Ebro basin (NE Spain) was studied in an incubation experiment. A sigmoidal model was used to express the accumulation of  $\text{N-NO}_3^-$  with time. The delay period and the maximum nitrification rate were estimated to evaluate soil nitrification capacity.

The maximum rate of nitrification ranged from 1.47 to 40.34  $\text{mg N-NO}_3^- \text{kg}^{-1} \text{soil day}^{-1}$ . The delay period ranged from 7.7 to 20.4 days for the experimental soils. Both parameters were negatively and significantly correlated. The lowest nitrification activity was observed in saline and highly gypsiferous soils, with poor soil organic matter content. The maximum nitrification rate was significantly and positively correlated with total organic carbon and negatively correlated with salinity and sodicity in these semiarid soils. The delay period was significantly and positively correlated with gypsum content and negatively correlated with soil calcium carbonate content.

KEY WORDS: nitrification rate, agricultural soils, semiarid lands.

## 1. INTRODUCCIÓ

La nitrificació és un procés de natura estrictament biològica. La seva importància agronòmica resideix en el fet que els nitrats són la forma habitual d'assimilació del nitrogen per part dels conreus mentre que gran part de la fertilització es realitza en formes amoniacals. Els components minerals i orgànics

poden accelerar o retardar el procés de nitrificació (Bundy i Bremmer, 1974; Schmidt i Belser, 1982; Gispert *et al.*, 1987; Gomah *et al.*, 1989). Una ràpida nitrificació pot incrementar les pèrdues de nitrogen per desnitrificació, rentat i escolament superficial, a més a més del moviment dels nitrats des de la zona d'absorció radicular cap a les aigües superficials i subterrànies. D'altra banda, una molt lenta taxa de nitrificació pot suposar un increment en les pèrdues de  $\text{N-NH}_4^+$  via volatilització amoniacal. De fet, aquesta podria ser la via principal de pèrdua de N en condicions àrides i semiàrides a causa de les altes temperatures estivals i alt pH, i de la lixiviació i la desnitrificació, que es veuen restringides per la baixa pluviometria (Praven-Kuwar i Aggarwal, 1988). El sòls agrícoles semiàrids de la depressió de l'Ebre mitjà, a causa de la influència climàtica, tenen un baix contingut orgànic, una reacció bàsica i, en ocasions, una alta conductivitat elèctrica (Badia, 1989; Cuchi, 1989), característiques que poden alterar el procés de nitrificació. En aquest treball es tracta d'avaluar aquestes possibles alteracions en diferents tipus de sòls.

## 2. MATERIAL I MÈTODES

### 2.1. Característiques dels sòls

La zona on se situen els sòls estudiats queda localitzada entre les coordenades  $0^\circ 13'$  i  $0^\circ 22'$  Est i  $41^\circ 33'$  i  $41^\circ 36'$  nord. La precipitació mitjana anual és d'uns 350 mm mentre que l'evapotranspiració potencial, segons el mètode de Blaney-Criddle i modificat per FAO, és

d'uns 1.300 mm (Faci i Martínez, 1991). Els sòls experimentals, classificats en el subgrup dels *Xeric Torriorthent* (Badia, 1989), es desenvolupen sobre diferents materials originaris oligocènics: margues o calcilitites, margues salines i guix, fet que queda reflectit en diferents propietats (taula i).

## 2.2. Incubació i determinació dels nitrats

La nitrificació potencial es va determinar pel mètode d'Schmidt i Belser (1982). Es van incubar mostres fresques de sòl, dins de les 24 hores del seu mostatge. Una mostra, composta de quatre submostres recollides a una fondària de 0-15 cm, va ser obtinguda per cada sòl. Pedres, arrels i residus vegetals van ser retirats per tamisatge (2 mm). Cada mostra de sòl (sobre els 250 g en pes sec) es va subdividir en tres rèpliques, cadascuna de les quals s'introduïa en un recipient de vidre amb 2,5 mL de solució de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (126 mg  $\text{N-NH}_4^+$  mL<sup>-1</sup>) i l'aigua destil·lada suficient per portar el sòl al 50 % de capacitat de camp. Els

contenidors de vidre amb els sòls es van incubar a les fosques a  $25 \pm 1$  °C durant quatre setmanes. Els pesos es van controlar diàriament i la pèrdua d'humitat es compensava afegint-hi aigua. Cada quatre o sis dies, segons la taxa de nitrificació, es recollia una mostra de sòl (7 g) i s'extreien els nitrats amb  $\text{CuSO}_4$  1N, prèvia eliminació dels clorurs amb  $\text{AgSO}_4$ . El contingut del  $\text{N-NO}_3^-$  s'obtenia colorimètricament amb un espectrofotòmetre Hitachi V-3200 UV-V, pel mètode del fenoldisulfònic (Bremner, 1965).

## 2.3. Anàlisi de les dades

Per tal d'expressar l'acumulació del  $\text{N-NO}_3^-$  amb el temps ( $t$ ), es va fer servir l'equació de Verhulst,  $dN/dt = kN(a'-N)$ , la qual es converteix en una corba sigmoïdal en integrar-la:

$$Nt = a' / [1 + (a'/N_0 - 1) e^{-a'k(t-t_0)}]$$

on  $a'$  és el valor asimptòtic dels nitrats,  $k$  és una constant i  $N_0$  és el contingut inicial de  $\text{N-NO}_3^-$  en el temps inicial

**TAULA I.** Principals característiques dels sòls experimentals (horitzó Ap).

Sòls experimentals	Material originari	pH	CaCO <sub>3</sub> Eq. (%)	Guix (%)	C. Org. (%)	CIC cmol·kg <sup>-1</sup>	CEe dS m <sup>-1</sup>	PSI (%)
Vilella	col·luvió guix	7,6	18,7	12,4	0,54	10,4	3,12	0,63
Valleta	marga	8,4	31,5	1,3	1,30	10,8	1,31	0,98
Triangle	marga	8,3	27,3	2,3	0,85	7,7	1,59	0,20
Mansaneta	marga sal.	7,9	27,1	3,2	0,47	10,3	13,80	9,49
Mont-ral	marga sal.	8,4	31,6	2,9	0,44	8,8	11,30	8,10
Miralsot	guix	7,8	6,2	31,4	0,43	7,7	2,98	0,39

Abreviatures: C. Org, carboni orgànic; CIC, capacitat d'intercanvi catiònic; CEe, conductivitat elèctrica de l'extracte de saturació a 25°C; PSI, percentatge de sodi de canvi.

( $t_0$ ). El programa Kaleida Graph (versió 2.0.2, Abelbeck Software Inc.) es va usar per ajustar l'acumulació de nitrats amb el temps i obtenir la  $R$  i la  $a$ .  $K_{\max}$  es va calcular com el pendent màxim de l'equació anterior, al punt d'inflexió (on  $N\text{-NO}_3^- = a/2$ ):  $K_{\max} = k[(a')^2]/4$ ; el temps de latència ( $t'$ ), d'acord amb la definició de Sabey *et al.*, (1959), es va calcular com el valor de  $t$  quan el màxim pendent és extrapolat al valor inicial de nitrats:

$$t' = (1/a'k) \ln[(a/\text{NO}_3^-) - 1] + [\text{NO}_3^- - (a/2)]/K_{\max}$$

La contribució del  $N\text{-NO}_3^-$  des de la mineralització s'assumeix que és despreciable en relació a la derivada de la nitrificació. A més a més la suma de  $N\text{-NH}_4^+$  i  $N\text{-NO}_3^-$  és considerada constant i igual a  $a'$ .

La significativitat de les diferències entre mitjanes es va determinar per una anàlisi de variància amb el programa d'estadística Statview (Abacus Concepts Inc., Berkeley, CA); amb aquest mateix

es van obtenir correlacions entre els paràmetres  $K_{\max}$  i  $t'$  i d'altres propietats edàfiques.

### 3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

L'evolució del nitrats vers el temps mostra una corba sigmoïdal amb bons ajustaments (taula II). La  $K_{\max}$  estimada va variar entre 1,47 i 40,34  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1} \text{ sòl dia}^{-1}$  mentre que  $t'$  ho va fer des de 7,69 a 20,40. Tots dos paràmetres estan negativament correlacionats, encara que a un baix nivell de significació ( $p < 0,1$ ). Les taxes de  $K_{\max}$  mesurades en aquest estudi són similars a les aportades per altres autors per sòls agrícoles minerals i utilitzant tècniques semblants (Sabey *et al.*, 1959; Malhi i McGill, 1982; Hadas *et al.*, 1986; Bhu-pinderpal-Singh *et al.*, 1993). Entre alguns sòls s'han trobat diferències alta-ment significatives (taula II).

Els sòls Vilella (amb 40,34  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1} \text{ sòl dia}^{-1}$ ) i Valleta (36,55) mostren els valors de  $K_{\max}$  més elevats i

**TAULA II.** Taxa màxima de nitrificació ( $K_{\max}$ ,  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ mg kg}^{-1} \text{ sòl dia}^{-1}$ ), període de latència ( $\text{dia}^{-1}$ ) i coeficients de correlació ( $R$ ) dels ajuntaments sigmoïdals. Valors amb distinta lletra, en cada columna, indiquen que les diferències són significatives ( $p < 0,01$ ), per ANOVA.

Sòls experimentals	Taxa màxima de nitrificació, $K_{\max}$ ( $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ sòl dia}^{-1}$ )	Període de latència, $t'$ (dies)	R
Vilella	40.336a	7.686a	0,98
Valleta	36.555ab	9.633b	0,99
Triangle	29.105b	8.889a	0,99
Mansaneta	1.473c	12.012b	0,97
Mont-ral	2.306c	10.583ab	0,99
Miralsot	6.461c	20.399c	0,99

els  $t'$  més baixos. La taxa màxima de nitrificació ( $K_{\max}$ ), tal i com deriven gràficament Sabey *et al.*, (1959) de corbes sigmoïdals, quan la concentració d' $\text{N-NH}_4^+$  no és limitant (en aquest experiment,  $1260 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1} \text{ sòl}$ ), dependrà de les propietats edàfiques (Hadas *et al.*, 1986). L'activitat nitrificant més baixa ha estat observada en els sòls salins (Mansaneta, Mont-ral). La  $K_{\max}$  i la CEE mostra una negativa i significativa correlació ( $p < 0,01$ ). Prèviament, una correlació negativa ( $p < 0,01$ ) va ser trobada entre activitat microbiana, mesurada com a  $\text{CO}_2$  després, i salinitat edàfica (Badia i Alcañiz, 1992). Les sals podrien interferir amb un o més dels enzims que participen en el procés de nitrificació (Frankenberger i Bingham, 1982). Anàlogament, McLung i Frankenberger (1985) van observar que valors de CEE de  $20 \text{ dS m}^{-1}$  ( $\text{NaCl}$ ) reprimien la nitrificació fins a un 75 % aplicant  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a sòls calcaris. Aquests aspectes coincideixen amb els resultats aquí presentats i les observacions d'investigacions prèvies en diferents tipus de sòls (Harada i Kai, 1968; Laura, 1974; McCormick i Wolf, 1980). Si bé els mecanismes pels quals diversos soluts inhibeixen la nitrificació són desconeguts, en termes generals, dos efectes poden diferenciar-se: la mort o inactivació cel·lular i el decreixement de l'activitat microbiana. Relacionat amb aquest fet, ha estat observada una recuperació parcial de la nitrificació després de l'exposició del sòl a solucions altament salines (Darrah *et al.*, 1987; Badia i Alcañiz, 1992), cosa que suggereix que tots dos tipus de mecanismes intervenen en la inhibició de la nitrificació, reversibles i irreversibles.

S'ha observat una certa relació ( $r = -0,5$ ) entre  $K_{\max}$  i el contingut en partícules fines del sòl. Prèviament, s'ha fet la hipòtesi que les argiles poden deprimir la nitrificació, ja sigui per reduir la difusió del  $\text{N-NH}_4^+$  o per restringir la seva disponibilitat per als nitrificadors mitjançant mecanismes poc coneguts (Yadvinder-Singh i Beauchamp, 1985).

D'altra banda, la  $K_{\max}$  en sòls agrícoles de terres semiàrides ha estat significativament i positiva correlacionada amb el carboni orgànic total ( $p < 0,01$ ). En general, com més quantitat de matèria orgànica humificada, més activitat microbiana pot ésser mantinguda (Kaiser *et al.*, 1992; Vekemans *et al.*, 1989; Gispert *et al.*, 1987; Badia i Alcañiz, 1994). El sòl Miralsot, menys orgànic i amb un contingut de guix més elevat, va mostrar les més baixes  $K_{\max}$  i  $t'$ . De fet, el  $t'$  està positivament correlacionat amb el contingut de guix ( $p < 0,01$ ). Una alta proporció de guix en el sòl pot inhibir l'activitat dels organismes nitrificants (Sindhu i Cornfield, 1967; Singh i Taneja, 1977). El desequilibri nutritiu i les peculiars propietats físiques poden afectar l'espai lliure tant per als microorganismes i l'activitat biològica com per al creixement vegetal (Herrero i Porta, 1987; Badia i Alcañiz, 1994; Badia i Martí, 1994).

En resum, el període de latència, i especialment la taxa màxima de nitrificació, obtinguda de la cinètica d'ordre zero, han estat bons paràmetres per quantificar l'efecte d'algunes propietats edàfiques (contingut de guix, sals, matèria orgànica) sobre la formació dels nitrats en sòls agrícoles semiàrids.

## BIBLIOGRAFIA

- BADIA, D. (1989). *Los suelos en Fraga. Cartografía y evaluación*. IEA. Osca, p. 208.
- BADIA, D. (1995). *La materia orgánica en suelos agrícolas semiáridos*. Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona. Edició microfotogràfica. Tesi Doctoral. Bellaterra, p. 223.
- BADIA, D.; ALCAÑIZ, J. M. (1992). «Soil salinity effects on microbial activity of semiarid agricultural soils». A: *Proceedings 6th. International Symposium on Microbial Ecology*. ISME Eds., Barcelona, p. 202.
- BADIA, D.; ALCAÑIZ, J. M. (1994). *Basal and specific microbial activity in semiarid agricultural soils: organic amendment and irrigation management effects*. *Geomicrobiology Journal*, núm. 11, p. 261-274.
- BADIA, D.; MARTÍ, C. (1994). *Mejora del valor pastoral y medio-ambiental de zonas semiáridas degradadas mediante técnicas de revegetación, remicorrización y acolchado. I. Aplicación en suelos yesosos (Gypsic Regosol)*. Lucas Mallada, núm.6, p. 46-65.
- BHUPINDERPAL-SINGH; BIJAY-SINGH; YADVINDER-SINGH. (1993). «Potential and kinetics of nitrification in soils from semiarid regions of Northwestern India». *Arid Soil Research and Rehabilitation*, núm. 7, p. 39-50.
- BREMMER, J. M. (1965). «Inorganic forms of nitrogen». A. *Methods of soil analysis*. Part 2. (BLACK, C. A. Ed). American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin, p. 1179-1237.
- BUNDY, L. G.; BREMMER, J. M. (1974). «Inhibition of nitrification in soils». *Soil Science Society of America Proceedings*, núm. 37, p. 396-398.
- CUCHI, J. A. (1989). *Aproximación a los suelos salinos de Aragón*. Colección de Tesis Doctorales del INIA, Madrid, núm. 79, p. 396.
- DARRAH, P. R.; NYE, P. H.; WHITE, R. E. (1987). *The effect of high solute concentrations on nitrification rates in soil*. *Plant & Soil*, núm. 97, p. 37-45.
- FACI, J. M.; MARTÍNEZ, A. (1991). *Cálculo de la evaporación de referencia en Aragón*. Dpto de Agricultura, Ganadería y Montes, DGA, Saragossa.
- FRANKENBERGER, W. T. Jr.; BINGHAM, F. T. (1982). «Influence of salinity on soil enzymes activities». *Soil Science Society of America Journal*, núm. 46, p. 1173-1177.
- GISPERT, M. A.; ALCAÑIZ, J. M.; ARCARA, P. G. (1987). «Influence of two humic extracts characterized by Py-GC on soil microbial activities». *The Science of the Total Environment*, núm. 62, p. 379-385.
- GOMAH, A. H. M.; AL-NAHID, S. I.; AMER, H. A. (1989). «Nitrogen mineralization in sludge-amended desert soil as affected by rate of sludge, salinity and wetting and drying cycles». *Arid Soil Research and Rehabilitation*, núm. 3, p. 417-429.
- HARADA, T.; KAI, H. (1968). «Studies on the environmental conditions controlling nitrification in soils, 1: Effects of ammonium and total salts in media on the rate nitrification». *Soil Science and Plant Nutrition*, núm. 14, p. 20-26.
- HADAS, A.; FEIGENBAUM, S.; FEIGIN, A.; PORTNOY, R. (1986). «Nitrification rates in profiles of differently managed soil types». *Soil Science Society American Journal*, núm 50, p. 633-639.

- HERRERO, J.; PORTA, J. (1987). «Gypsiferous soils in the north-east of Spain». *Soil Microbiology*, núm. 5, p. 186-192.
- KAISER, E. A.; MUELLER, T.; JOERGENSEN, R. G.; INSAM, H.; HEINEMEYER, O. (1992). «Evaluation of methods to estimate the soil microbial biomass and the relationship with soil texture and organic matter». *Soil Biology & Biochemistry*, núm. 24, p. 675-683.
- LAURA, R. D. (1974). «Effects of neutral salts on C and N mineralization of organic matter in soil». *Plant & Soil*, núm. 41, p.113-127.
- MALHI, S. S.; MCGILL, W. B. (1982). «Nitrification in three Alberta soils: effect of temperature, moisture and substrate concentration». *Soil Biology & Biochemistry*, núm. 14, p. 393-399.
- MC CORMICK, R. W.; WOLF, D. C. (1980). «Effect of sodium chloride on CO<sub>2</sub> evolution, ammonification and nitrification in a Sassafras sandy loam soil». *Soil Biology & Biochemistry*, núm. 12, p. 153-157.
- MC LUNG, G.; FRANKENBERGER, W. T. Jr. (1985). «Soil nitrogen transformations as affected by salinity». *Soil Science*, núm. 139, p. 405-411.
- PRAVEN-KUMAR; AGGARWAL, P.K. (1988). «Reduction of ammonia volatilization from urea by rapid nitrification». *Arid Soil Research and Rehabilitation*, núm. 2, p. 131-138.
- SABEY, B. R.; FREDERICK, L. R.; BARTHOLOMEW, W. V. (1959). «The formation of nitrate from ammonium nitrogen in soils: III. Influence of temperature and initial population of nitrifying organisms on the maximum rate and delay period». *Soil Science Society Proceedings*, núm. 23, p. 462-465.
- SCHIMDT, E. L.; BELSER, L. W. (1982). «Nitrifying bacteria». A: *Methods of Soil Analysis*, Part 2, (PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. ED), American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, p. 1027-1042.
- SINDHU, M. A.; CORNFIELD, A. H. (1967). «Comparative effects of varying levels of chlorides and sulphates of sodium, potassium, calcium and magnesium on ammonification and nitrification during incubation of soil». *Plant & Soil*, núm. 27, p. 468-472.
- SINGH, B. R.; TANEJA, S. N. (1977). «Effects of gypsum on mineral nitrogen status in alkaline soils». *Plant & Soil*, núm. 48, p. 315-321.
- VEKEMANS, X.; GODDEN, B.; PENNINGCKX, M. J. (1989). «Factor analysis of the relationships between several physico-chemical and microbiological characteristics of some Belgian agricultural soils». *Soil Biology & Biochemistry*, núm. 21, p. 53-58.
- YADVINDER-SINGH; BEAUCHAMP, E. G. (1985). «Alternate method for characterizing nitrifier activity in soil». *Soil Science Society America Journal*, núm. 49, p. 1432-1436.