

# LES PÈRDUES DE N<sub>2</sub>O DEL SÒL

**Maria A. Gispert\***

## RESUM

En determinades condicions, els nitrats es poden perdre ràpidament del sòl mitjançant un procés microbià que s'anomena desnitrificació.

És important destacar que no tots els productes intermediaris gasosos de la desnitrificació són convertits a N<sub>2</sub>, de manera que una fracció de N<sub>2</sub>O s'escapa a l'atmosfera, fet que pot comportar greus conseqüències d'impacte ambiental.

Des d'un punt de vista ecològic, la desnitrificació es pot entendre com un procés a través del qual el nitrogen atmosfèric fixat bioquímicament en el sòl és retornat a l'atmosfera. Aquest fet, però, pot tenir conseqüències ambientals, atès que la presència de N<sub>2</sub>O a l'atmosfera (juntament amb altres gasos) afavoreix l'efecte hivernacle. El N<sub>2</sub>O, a més, contribueix a la destrucció de la capa estratosfèrica d'ozó (O<sub>3</sub>) i a la pluja àcida.

\* Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona.

Des d'un punt de vista econòmic, la desnitrificació té importància en l'agricultura, ja que suposa una pèrdua nutricional del sòl. L'aplicació d'alguns adobs, en dosis elevades, també pot afavorir aquest procés.

Diferents autors relacionen la desnitrificació amb diferents factors ambientals i algunes característiques fisicoquímiques del sòl.

PARAULES CLAU: sòl, impacte ambiental, relació N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub>, desnitrificació, N<sub>2</sub>O.

## RESUMEN

En determinadas ocasiones, los nitratos pueden perderse rápidamente del suelo mediante un proceso microbiano llamado desnitrificación.

Cabe resaltar que no todos los productos gaseosos intermediarios de la desnitrificación se convierten en N<sub>2</sub>, de forma que una fracción de N<sub>2</sub>O se escapa a la atmósfera lo cual puede comportar graves consecuencias de impacto ambiental.

Desde un punto de vista ecológico,

la desnitrificación se puede entender como un proceso mediante el cual el nitrógeno atmosférico fijado bioquímicamente en el suelo es devuelto a la atmósfera. Sin embargo, este hecho puede tener consecuencias ambientales puesto que la presencia de  $N_2O$  en la atmósfera (junto con otros gases), favorece el efecto invernadero. El  $N_2O$  contribuye en la destrucción de la capa estratosférica de ozono ( $O_3$ ) y a la lluvia ácida.

Desde un punto de vista económico, la desnitrificación es importante en agricultura ya que supone una pérdida nutricional del suelo. La aplicación, en dosis elevadas, de algunos abonos también puede favorecer este proceso.

Diferentes autores relacionan la desnitrificación con diferentes factores ambientales y algunas características físico-químicas del suelo.

**PALABRAS CLAVE:** suelo, impacto ambiental, relación  $N_2O/N_2$ , desnitrificación,  $N_2O$ .

## **SUMMARY**

At certain conditions, nitrates may be quickly lost from soil by a microbial process called denitrification.

It is proper to emphasize that not all the intermediary gaseous products of denitrification are converted into  $N_2$ , so that part of the  $N_2O$  escapes to the atmosphere. This may have a serious environmental impact.

From an ecological point of view, denitrification may be understood as a

process through which the atmospheric nitrogen that has been biochemically fixed in the soil is given back to the atmosphere. However this may have environmental consequences as the  $N_2O$  in the atmosphere (together with other gases) increases greenhouse effect.  $N_2O$  helps to destroy the stratospheric ozone layer ( $O_3$ ) and provokes acid rain.

From an economical point of view, denitrification is important in agriculture because it supposes a nutritional loss of the soil. The application, in high quantity, of some fertilizers may also help this process.

Various authors relate denitrification with different environmental factors and several physico-chemical characteristics of soil.

**KEYWORDS:** soil, environmental impact,  $N_2O/N_2$  relation, denitrification,  $N_2O$ .

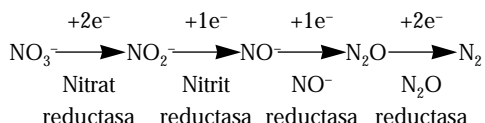
## **1. INTRODUCCIÓ**

En determinades condicions, els nitrats es poden perdre ràpidament del sòl mitjançant un procés microbià que s'anomena *desnitrificació*.

La desnitrificació es defineix com un procés respiratori que realitzen determinades espècies de bacteris anaerobis facultatius, que comporta la reducció microbiana del nitrat ( $NO_3^-$ ) a nitrit ( $NO_2^-$ ) i d'aquest a formes gasoses com òxid de dinitrogen ( $N_2O$ ), en primer lloc, i nitrogen molecular ( $N_2$ ) com a producte final. En aquest procés els òxids de nitrogen actuen com a acceptors terminals d'electrons en substitució de l'oxigen;

reductases específiques estan involucrades a cada nivell d'acceptors.

De manera general, la desnitrificació segons Firestone (1982) pot esquematitzar-se de la manera següent:



Algunes de les característiques principals de cadascuna de les reductases específiques són les següents:

— La  $\text{NO}_3^-$  reductasa, conté molibdè, ferro i grups sulfít. Aquests són necessaris per a l'activitat enzimàtica.

— La  $\text{NO}_2^-$  reductasa és fàcilment solubilitzada per les cèl·lules i es pot trobar a la fracció soluble del citoplasma.

— La  $\text{N}_2\text{O}$  reductasa és l'única que és inhibida amb l'acetilè ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), fet que té especial importància, atès que, des d'un punt de vista metodològic, permet mesurar quantitativament tot el nitrogen que es perd en un sòl en forma de gas.

D'altra banda, i com ha estat demostrat per Broadvent i Clark (1965), també es poden donar pèrdues de  $\text{N}_2\text{O}$  durant la nitrificació. És un procés que es dona en condicions d'aerobiosi i en pH àcids (Goodroad i Keeney, 1984).

## 2. CONSEQÜÈNCIES DE LA DESNITRIFICACIÓ

Des d'un punt de vista ecològic, la desnitrificació és el principal procés a

través del qual el nitrogen atmosfèric fixat bioquímicament en el sòl és retornat a l'atmosfera.

Una conseqüència de la desnitrificació és d'impacte ambiental, ja que la presència de  $\text{N}_2\text{O}$  a l'atmosfera, juntament amb clorofluorcarbonats, suposa una amenaça per la capa estratosfèrica d'ozó ( $\text{O}_3$ ). El  $\text{N}_2\text{O}$  reacciona amb àtoms d'oxigen (que provenen de la fotodissociació de l' $\text{O}_3$ ) i forma òxids de nitrogen ( $\text{NO}$ ) que reaccionen amb l'ozó i en catalitzen la destrucció.

Bouwman (1990) suggereix que el  $\text{N}_2\text{O}$  produït pels sòls representa més del 50 % de l'emissió global.

El  $\text{N}_2\text{O}$ , juntament amb altres gasos com el vapor d'aigua, diòxid de carboni, metà, ozó i halogencarbonats, entre els quals destaquen els clorofluorcarbonats (CFC), absorbeixen les radiacions infraroges emeses per la superfície de la Terra. D'aquesta manera, l'atmosfera actua com un escut i evita que es perdi energia i provoca el seu propi escalfament. Per tant, afavoreix l'efecte hivernacle.

Una altra conseqüència d'impacte ambiental que es deriva de l'òxid de di-nitrogen ( $\text{N}_2\text{O}$ ) producte de la desnitrificació, juntament amb els òxids de sofre, és la pluja àcida.

En agricultura, la desnitrificació té greus conseqüències econòmiques, ja que suposa la pèrdua de nitrats disponibles. El fet que darrerament s'hagi posat de manifest que l'aplicació d'alguns adobs en elevades dosis afavoreix el procés de desnitrificació ha despertat

un interès especial en el control i l'actuació sobre aquest procés.

### **3. FACTORS RELACIONATS AMB LA DESNITRIFICACIÓ**

Groffman *et al.*, (1988) destaca com a factors principals que regulen el procés de desnitrificació l'oxigen, el contingut en nitrats i el carboni oxidable. Tanmateix, altres factors com el contingut d'aigua, l'activitat respiratòria i el contingut en ió amoni ( $\text{NH}_4^+$ ) del sòl, com també la vegetació i els efectes de competència entre organismes edàfics, tots ells regulats alhora per la climatologia i l'estructura de la comunitat biològica, també afecten l'activitat desnitrificant.

#### **3.1. Contingut en oxigen del sòl ( $\text{O}_2$ )**

L'absència o la baixa disponibilitat de  $\text{O}_2$  és necessària per a la síntesi i l'activitat dels enzims involucrats en la desnitrificació, tot i que menys per al  $\text{N}_2\text{O}^-$  reductasa.

El nivell d'oxigen disponible per als microorganismes en qualsevol hàbitat depèn del subministrament, la demanda i la difusió d'oxigen en el sòl i està controlat en bona part pel contingut d'aigua del sòl, ja que la difusió de l'oxigen és dificultada per la presència d'aigua en els porus. En aquest sentit, la textura i estructura del sòl també són importants, ja que la mida de les partícules afecta l'adhesió de les molècules d'aigua i la circulació d'aquesta aigua a través de la matriu del sòl.

#### **3.2. Disponibilitat de nitrats ( $\text{NO}_3^-$ ) en el sòl**

El  $\text{NO}_3^-$  prové bàsicament de la nitrificació i de l'addició de fertilitzants. Les pèrdues de  $\text{NO}_3^-$  són degudes a l'absorció per part de les plantes o els microorganismes edàfics, a la reducció a ió amoni, rentat per l'aigua del sòl o bé reducció mitjançant el procés de desnitrificació.

Igual que en l'oxigen, els nivells de nitrat disponibles per als desnitrificants en el sòl depenen del subministrament, la demanda i la difusió de nitrat. En aquest sentit, l'aigua del sòl afecta el subministrament de  $\text{NO}_3^-$  ja que controla les activitats dels organismes mineralitzadors i nitrificants (Firestone, 1982), a més de facilitar la difusió i rentat de  $\text{NO}_3^-$  a través de la matriu del sòl.

Durant molts anys s'havia pensat que el grau de desnitrificació en el sòl era independent de la concentració de nitrats. Tanmateix, fins avui les concentracions necessàries perquè es doni la desnitrificació no són gaire clares. En els sòls no fertilitzats, el subministrament d'amoni, gràcies a la mineralització, és sovint el que controla la nitrificació. En canvi, en sòls fertilitzats amb nitrogen el nitrat no és probable que sigui limitant per a la desnitrificació, atès que els desnitrificants tenen una gran afinitat pel nitrat (Myrold i Tiedje, 1985). Tanmateix, baixes concentracions de nitrat en el sòl produeixen un endarreriment en la desnitrificació.

### 3.3. Contingut de carboni oxidable en el sòl

La majoria de les reaccions de desnitrificació són produïdes per bacteris heterotròfics; per això, el procés està estretament lligat amb la disponibilitat de carboni orgànic (C) com a font energètica i poder reductor.

És important destacar que la matèria orgànica poc humidificada redueix l'alliberament de  $N_2O$  i afavoreix la reducció completa dels nitrats (Arcara *et al.*, 1985).

### 3.4. Humitat del sòl

La influència de l'aigua és deguda fonamentalment als seus efectes sobre la difusió de l'oxigen, nitrats i carboni oxidable, els quals afecten l'activitat dels microorganismes desnitrificants.

L'activitat desnitrificant augmenta proporcionalment amb el contingut d'aigua fins a arribar a la saturació, tot i que, en condicions aparents d'aerobiosi, els organismes desnitrificants poden adaptar-se i continuar desnitrificant (Firestone, 1982), atès que els sòls mai no són absolutament aerobis i sempre existeix una certa activitat anaeròbica.

### 3.5. Influència de la temperatura

L'augment de la temperatura està en relació amb la velocitat de les reaccions enzimàtiques que es donen en el procés de desnitrificació.

### 3.6. Influència del pH

Hi ha una correlació significativa entre el nitrogen perdut per desnitrificació d'un sòl i el seu pH.

L'òptim per a la desnitrificació es troba entre un pH de 6 a 8, de manera que en sòls àcids l'activitat dels microorganismes desnitrificants es veu lleugerament inhibida, tot i que s'han observat pèrdues de nitrogen en terrenys amb un pH de 3,5.

Goodroad i Keeney (1980), en determinar la desnitrificació en diferents horitzons d'un sòl, van evidenciar que el pH és un factor més limitant que el C. Sembla que això és degut al fet que la disponibilitat de molibdè (Mo), necessari per a l'activitat del  $NO_3^-$  reductasa, decreix a mesura que disminueix el pH.

## 4. RELACIÓ ( $N_2O/N_2$ )

Normalment, el  $N_2O$  i  $N_2$  són produïts en proporcions que varien en funció del substrat, les condicions mediambientals i els organismes involucrats.

El fet que es produeixi  $N_2O$  o  $N_2$  en la desnitrificació té importància des d'un punt de vista ecològic a causa dels greus impactes ambientals que comporta l'increment dels nivells de  $N_2O$  a l'atmosfera. Per això és interessant saber les condicions i els factors que afavoreixen la producció d'una forma o altra de nitrogen (taula 1).

**TAULA I.** Paràmetres que afecten la proporció de  $N_2O/N_2$  emès en la desnitrificació segons Van Cleemput (1994).

Factor	Estat	$N_2O/N_2$
<i>Paràmetre individual</i>		
$NO_3^-$ , $NO_2^-$	concentració ↑	augmenta
anòxia	$O_2$ ↑	augmenta
carboni assimilable	disponibilitat ↑	disminueix
pH	elevat	disminueix
temperatura	baixa	disminueix
<i>Paràmetres combinats</i>		
plantes	presència	disminueix
profunditat del sòl	curs	decreix
humitat	elevada	decreix
taxa de desnitrificació	elevada	decreix

## 5. CONCLUSIÓ

La desnitrificació suposa la font més important de pèrdues gasoses del nitrogen del sòl. Aquest procés es dona en condicions de pH, generalment poc àcids, per sobre de 5, en condicions d'aireig escàs i en presència d'una població microbiana activa; és per això que la desnitrificació pot ser important durant els períodes humits, quan les temperatures són favorables, i en presència d'una matèria orgànica fàcilment degradable.

Sabent els factors i paràmetres que regulen el procés de desnitrificació i quins afavoreixen l'emissió de  $N_2O$  podrem actuar correctament per tal de regular-los.

## BIBLIOGRAFIA

ARCARA, P. G., GISPERT, M. A.; PRIGNANO, F. (1985). «Denitrification, organic matter and physic – chemical pro-

perties in four Italian soils». A: GIOVANNONZI, G.; NANNIPIERI, P. Eds. *Current perspectives in environmental biogeochemistry*. IPRA, Roma.

BOUWMAN, A. F. (1990). «Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere». A: BOUWMAN, A. F. Ed. *Soils and the greenhouse effect*. John Wiley; Sons Ltd. Chichester, p. 575.

BROADVENT, F. E., CLARK, F. E. (1965). «Denitrification». A: BARTHOLOMEW, W. V.; CLARK, F. E., Eds. *Soil Nitrogen*. American Society of Agronomy. Wisc., Mad., p. 244-359.

FIRESTONE, M. K. (1982). «Biological denitrification». A: STEVENSON, F. J. Ed. *Nitrogen in agricultural soils*. Agronomy Monograph 22. American Society of Agronomy. Madison Wiley. Nova York, p. 289-326.

GOODROAD, L.; KEENEY, D. R. (1984). «Nitrous oxide production in aerobic soils varying pH, temperature and water content». *Soil Biol. Biochem*, núm. 16, p. 39-43.

GROFFMAN, P. M., TIEDJE, J. M., ROBERTSON,

- G. P.; CHRISTENSEN, S. (1988). «Denitrification at different temporal and geographical scales: Proximal and distal controls». A: WILSON, J. R., Ed. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. CAB International.
- MYROLD, D. D.; TIEDJE, J. M. (1985). «Diffusional constraints on denitrification in soil». *Soil Science Society of America Journal*, núm. 49, p. 651-657.
- VAN CLEEMPUT, O. (1994). «Biochemistry of nitrous oxide in Wetlands». A: *Current topics in Wetland biogeochemistry*. Wetland Biochemistry Institute LSV, Vol. núm.1, p.3-14.