

TESI DOCTORAL

**ESTRATÈGIES AMBIENTALS I PRODUCTIVES
EN L'ÚS DE NUTRIENTS EN CONDICIONS DE
REGADIU**

Memòria presentada per ELISENDA GUILLAUMES CULLELL
per optar al grau de doctor enginyer agrònom per la Universitat de Lleida

Director
Dr. JOSEP MARIA VILLAR MIR
Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl

LLEIDA, juliol de 2008

A en Joel i la Jana

AGRAÏMENTS

En primera instància voldria fer una agraïment amb majúscules per el meu tutor de tesi, Josep M. Villar, sense el qual aquesta tesi no s'hauria portat a terme. Em faltarien paraules per descriure tot el suport que m'ha donat, així que li dono les gràcies per l'experiència que he adquirit al seu costat, a nivell professional, però també a nivell personal.

Seguint amb els agraïments de caire formal, aquesta tesi doctoral ha estat possible gràcies al finançament de la recerca per part del ministeri de ciència i tecnologia mitjançant el projecte AGL 2001-1323. En aquest apartat voldria fer un èmfasi especial a la Universitat de Lleida, pel seu suport econòmic en la beca predoctoral i en la beca per fer recerca a l'estranger, però també per l'acolliment que he tingut durant tots els meus anys de carrera. Al Claudio O. Stockle i al Roger Nelson de la Washington State University per les tasques de recerca realitzades amb el Cropsyst durant la meva estada a Pullman (WA,USA), així com la gent que em va donar el seu suport tècnic, Armen Kemanian, Huggins, i suport personal Pablo, Leo, Xiomara i Subarau,.

Fer una agraïment a l'empresa COMPO per facilitar-nos l'inhibidor de la nitrificació DMPP i l'ENTEC, per organitzar-nos una visita a l'Estació experimental d'Agricultura de la BASF de Limburgerhof (Alemanya), i per la l'aportació econòmica en la meva beca predoctoral, i molt especialment a l'Israel Carrasco per donar-me l'entrada al present treball de recerca, pel seu suport tècnic en tot moment i sobretot pel seu companyerisme. Al laboratori d'Anàlisi i Fertilitat de Sòls (LAF) de Sidamon per ser còmplices en les analítiques de totes les mostres i acollir-nos en els experiments de testos. Esmento de manera especial al Miquel Aran, al Pere Villar, al Ferran Calvet i al Bep per la col·laboració en la presa de mostres i per la seva gran experiència i els seus consells en el tema, a la Lúdia Ortiz per la seva dedicació en totes les consultes emeses, al Dani per la preparació de totes les mostres i a la gent del laboratori pel seu suport incondicional en el reg dels testos. A l'empresa Catalana de Farratges per cedir-nos les parcel·les comercials on s'han realitzat els experiments, així com l'ajuda en totes les

tasques agrícoles, especialment al Sr. Gasset, gerent de l'empresa, i al Sr Pasqual, amb qui hem trepitjat el territori en varies ocasions. A la gent de la xarxa temàtica RUENA (Red del uso eficiente del nitrogeno en agricultura), per els coneixements que he adquirit en les diverses trobades que hem realitzat.

Vull destacar el suport que he tingut des del personal del Departament de Medi Ambient de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, sobretot de la M.R. Teira, el Ramon Batalla, el Carles Balasch, l'Albert Rovira, que m'han donat moral i consells en diverses ocasions per seguir endavant, i també a la Clara i a la Montse Antúnez. Al Joan Ignasi Rosell i al Manel Ibàñez per deixar-me ubicar en el laboratori d'Agrometeorologia i energia solar durant el transcurs de la tesi. Agraïr l'ajuda, l'experiència personal i la seva manera de ser al Francesc Ferrer. Agraïr la col.laboració de l'Ignacio Romagosa i del Jaume Lloveras del departament de producció vegetal i ciència forestal per les respostes en tot moment de les consultes realitzades. Als estudiants que han realitzat el treball pràctic tutorat dins del present projecte de recerca Jordi, Xavier, Roger, Marta i especialment a la Gemma, que ha col.laborat intensivament en els darrers tractaments estadístics d'algunes dades i al Toni Baltierrez per les seves batalles amb el CropSyst a última hora. Als companys de fatigues durant els anys de doctorat Xiomara, Abel, Francisco i de manera molt especial al Damià, que no tant sols ha estat company de despatx, sinó un amic dels que no se'n troben i que serà per sempre, i que ha insistit molt en aquesta última fase de la tesi perquè la tirés endavant.

I com no, tot això no hauria estat possible sense el suport de la gent que m'estima i m'aprecia. Aquells que en els moment baixos m'han donat la moral que necessitava i també que en els moments de més feina m'han donat un cop de mà. Començo per les meves companyes de pis i amigues de l'ànima Lorena, Montse, Anna Molins, Anna Escamilla i Sònia. Deixo a part a la Rosanna perquè possiblement si ella no hagués estat al meu costat en el moment de prendre la decisió d'embarcar-me en aquest treball de recerca, no estaria ara escrivint aquests agraïments. A més m'ha fet costat en tot moment, i per tant li dono les gràcies de veritat i de tot cor. Als meus amics de Sant Joan de les Abadesses. No voldria deixar-me la Mònica Toldrà, companya de fatigues en la nostra estada a Estats Units. I la gent que ha deixat marca en el meu pas per Lleida durant aquest període com la Dolors Cuevas, l'Amanda, la família del Josep M., i el

Xavier Vallverdú. En aquesta última fase de la tesi, haig de ressaltar el suport indirecte de la gent de la feina, especialment els de Fontmartina. I escriuré unes línies per tota aquella gent que m'ha ajudat en algun moment, tant a nivell tècnic com personal, i que segur que ara en aquest moment no em venen a la memòria.

I ja per últim donar el més sincer agraïment a la meva família. Voldria començar per la meva iaïona Lola, que malauradament ja no està entre nosaltres, i que em va preparar milers de tappers per subsistir. Continuo pels meus pares, en Josep i la Maria, perquè si he arribat fins aquí és gràcies a ells, per l'educació que m'han donat, i pels esforços que han fet per poder-me donar el que tinc. A la meva germana Emma per fer-me costat sempre i confiar en el que he estat fent. A en Xavi, per resoldre gran part dels meus problemes informàtics i a la meva nebodeta Abril. A la meva família política, amb qui sempre m'he sentit molt a prop Beth, Joan, Laura i Rut. A l'Amadeu, que també ens ha deixat, i a la M. Rosa, que a part de ser una sogra estupenda, m'ha guardat la Jana en aquesta última etapa de la tesi i això m'ha permès poder-la enllestir. I en Joel, que ha estat sempre al meu costat, i a la Jana, la meva petitona d'un any, a qui dedico aquesta tesi, per ser les persones que més estimo en el món.

*“We know more about the movement of celestial bodies
than about the soil underfoot “*

Leonardo da Vinci, circa 1500s

ÍNDIX GENERAL

ÍNDIX GENERAL

ÍNDIX DE TAULES

ÍNDIX DE FIGURES

RESUM/RESUMEN/SUMMARY

1.- INTRODUCCIÓ	1
2.- ANTECEDENTS	7
3.- OBJECTIUS GENERALS	12
4.- MATERIALS I MÈTODES GENÈRICS	
4.1.- Àrea d'Estudi (Localització, caracterització climàtica)	13
4.2.- Índexs d'eficiència	15
4.3.- Mostreig de sòl	
4.3.1.- Tècnica de mostreig	16
4.3.2.- Mètodes analítics	17
4.4.- Mostreig de planta	
4.4.1.- Tècnica de mostreig	18
4.4.2.- Mètodes analítics	19
4.4.3.- Seguiment del contingut de clorofil·la	20
4.5.- Mostreig de purí	
4.5.1.- Tècnica de mostreig	20
4.5.2.- Mètodes analítics	21
4.6.- Mostreig d'aigua	
4.6.1.- Tècnica de mostreig	21
4.6.2.- Mètodes analítics	22
4.7. – Característiques de l'inhibidor de la nitrificació, DMPP	22

5. CAPITOL 1: Efecte del DMMP en el creixement i composició química del raigràs (*Lolium perenne* L.) plantat en un experiment de testos utilitzant un sòl calcari

Resum	28
1.- Introducció	30
2.- Materials i mètodes	33
3.- Resultats	37
4.- Discussió	47
5.- Agraïment	50
6.- Referències Bibliogràfiques	51

6. CAPITOL 2: Utilització de testos Mitscherlich per avaluar l'ús d'inhibidors de la nitrificació en fertilitzants minerals i purí de porc.

1.- Introducció	55
2.- Materials i mètodes	57
3.- Resultats i discussió	63
4.- Conclusions	78
5.- Referències Bibliogràfiques	79
Annex 1	81
Annex 2	88

Guillaumes, E.; Murillo, G.; Marco, M.; Villar, J.M. Using Mitscherlich pots to assess the use of nitrification inhibitors in mineral fertilisers and in pig slurry, en Bosch, A.; Teira, R.M.; Villar, J.M. 15th Nitrogen workshop. Towards a better efficiency in N use. Lleida (Spain) May 28-30, 2007.

7. CAPITOL 3. Resposta del blat a l'aplicació addicional de fertilitzant nitrogenat després de l'aplicació de purí de porc en sòls sobrefertilitzats

Resum	93
1.- Introducció	94
2.- Materials i mètodes	97

3.- Resultats i discussió	100
4.- Conclusions	108
5.- Agraïments	109
6.- Referències Bibliogràfiques	110

8. CAPITOL 4. Ús de l'inhibidor de la nitrificació DMMP per millorar l'eficiència de l'ús del nitrogen en blat de regadiu en un sòl calcari.

1.- Introducció	112
2.- Materials i mètodes	114
3.- Resultats i discussió	122
4.- Conclusions	146
5.- Referències Bibliogràfiques	147
Annex 1	150

9. CAPITOL 5. Avaluació de diferents estratègies de fertilització en panís (*Zea mays* L.) en funció dels nivells de nutrients al sòl

1.- Introducció	152
2.- Materials i mètodes	155
3.- Resultats i discussió	162
4.- Conclusions	176
5.- Referències Bibliogràfiques	178
Annex	181

10. CAPITOL 6. Modelització de l'ús del N en blat utilitzant el model cropsyst.

1.- Introducció	185
2.- Calibració i validació	
2.1. Dades experimentals	186
2.2. Resultats i Discussió	191
3. Conclusions	195

4. Referències bibliogràfiques	196
11.- DISCUSSIÓ GENERAL	198
12.- CONCLUSIONS GENERALS	206
13.- REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	210

ÍNDIX DE TAULES

Taula 4.1. Definició dels índexs d'eficiència en l'ús del nitrogen	15
Taula 4.2. Definició dels índexs d'eficiència utilitzats en funció del nitrogen disponible	16
Taula 4.3. Estructura química, propietats físiques i químiques del 3,4-dimetilpirazol fosfat (DMPP).	28
Taula 5.1. Properties of the soil used in the experiment	34
Table 5.2. Chemical composition of the pig slurry	35
Table 5.3. Definition of N efficiency indices.	36
Table 5.4. Average dry matter yield, average N leaf concentration, total N uptake, and partial N, P and K uptake (Mean \pm SD, n=4).	38
Table 5.5. Statistical analysis using contrasts.	39
Table 5.6. N use efficiency indices: apparent recovery of pig slurry N by ryegrass (REC), agronomic efficiency (AE), and physiological efficiency (PE). These indices were calculated from accumulated values.	41
Table 5.7. Statistical analysis using contrasts	41
Table 5.8. Residual soil N, P and K at 7th October 2002	42
Table 5.9. Statistical analysis using contrasts.	43
Table 5.10. Nitrogen mass balance for a 406 day period expressed as g N pot ⁻¹ .	46
Table 5.11. Accumulated N leached expressed as g N pot ⁻¹ .	45
Taula 6.1. Propietats inicials de la terra utilitzada en l'experiment de testos	58
Taula 6.2. Riquesa del NSA (www.fertiberia.es) i de l'ENTEC ® 26 % (www.compo.es)	59
Taula 6.3. Composició química del purí i nutrients totals aplicats en els diferents tractaments i aplicacions.	60
Taula 6. 4. Definició d'índexs d'eficiència del N utilitzats.	62
Taula 6.5. Contingut de proteïna al raigràs (g proteïna/100 g m.s).	67
Taula 6.6. Resultats dels índexs d'eficiència en l'ús dels nutrients, calculats a partir de les mitjanes de cada tractament.	71
Taula 6.7. Resultats dels nitrats i amoni lixiviat acumulats fins al 8è lixiviat.	72
Taula 6.8. Contingut de nitrats i amoni al sòl 5 dies després de la primera aplicació.	75
Taula 6.9. Contingut de N, P, K Cu, Zn, Mg i Ca residual al final de l'experiment.	76
Taula 6.10. Balanç de nitrogen expressat en g N test ⁻¹ .	77
Taula 6.11. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del primer dall	81
Taula 6.12. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del segon dall	82
Taula 6.13. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del tercer dall	83
Taula 6.14. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del quart dall	84
Taula 6.15. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del cinquè dall	85
Taula 6.16. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del sisè dall	86
Taula 6.17. Biomassa aèria produïda, expressat en g test ⁻¹ , dels diferents dalls.	87
Table 7.1. Treatments and quantity of nutrients applied each year.	98
Table 7.2. Wheat grain yield response to three fertilizer treatments	101
Table 7.3. Total N, P and K above ground biomass	105

Table 7.4. Apparent recovery of total N, P, and K	105
Table 7.5. Residual P, K Cu and Zn present in soil at the end of the experiment (0-20 cm)	107
Taula 8.1. Propietats del sòl a l'inici de l'experiment (tardor 2001)	115
Taula 8.2. Quantitat de nutrients aplicats cada any per cada tractament.	116
Taula 8.3. Definició d'índexs d'eficiència per N.	118
Taula 8.4. Precipitació mensual total (mm) i ETo mitjana mensual (FAO P-M, mm) durant el cicle del cultiu a El Poal (Espanya).	120
Taula 8.5. Contingut de N-NO ₃ ⁻ en el perfil del sòl en els diferents mostrejos al llarg del cicle del cultiu.	124
Taula 8.6. Contingut de N-NH ₄ ⁺ en el perfil del sòl en els diferents mostrejos al llarg del cicle del cultiu.	125
Taula 8.7. Rendiment del blat, al 12 % humitat, pels diferents tractaments.	129
Taula 8.8. Concentració de N, P i K al gra i contingut de proteïna al gra (Contingut de N kjeldahl al gra * 5,7)	131
Taula 8.9. Concentració de macronutrients secundaris i alguns micronutrients en el gra de blat.	132
Taula 8.10. Absorció total de N, P i K al gra.	135
Taula 8.11. Macronutrients secundaris i alguns micronutrients absorbits al gra de blat.	136
Taula 8.12. Ratis de macronutrients en el gra de blat.	138
Taula 8.13. N total absorbit per la part aèria de la planta (gra, tija i fulles), i índex del N absorbit al gra respecte al total.	139
Taula 8.14. Balanç hipotètic de N considerant ambdues campanyes. Totes les variables estan expressades en kg N ha ⁻¹	141
Taula 8.15. Índexs d'eficiència calculats en els 2 anys d'experiments.	143
Taula 8.16 Índexs per a l'avaluació econòmica	145
Taula 8.17. Biomassa, expressat en kg/ha i 0% humitat, de les diferents parts del blat en els diferents mostrejos per la campanya 2001-2002.	150
Taula 8.18. N absorbit, expressat en kg/ha, de les diferents parts del blat en els diferents mostrejos per la campanya 2001-2002.	150
Taula 8.19. Biomassa, expressat en kg/ha i 0% humitat, de les diferents parts del blat en els diferents mostrejos per la campanya 2002-2003.	151
Taula 8.20. N absorbit, expressat en kg/ha, de les diferents parts del blat en els diferents mostrejos per la campanya 2002-2003.	151
Taula 9.1. Precipitació total mensual (mm) i ETo mitjana mensual (FAO P-M, mm) durant les dues campanyes, segons dades de l'estació meteorològica automàtica del Poal (Pla d'Urgell, Catalunya)	156
Taula 9.2. Propietats físiques i químiques del sòl a l'inici de l'experiment (10/04/02).	157
Taula 9.3. Riquesa del NSA 26 i de l'ENTEC ® 26.	158
Taula 9.4. Característiques del purí aplicat.	159
Taula 9.5. Altres característiques del purí de porc analitzat durant la primera campanya (2002).	159
Taula 9.6. Nutrients aportats pels diferents tractaments en les campanyes 2002 i 2003.	159
Taula 9.7. Rendiment en gra al 14% d'humitat del panís en resposta dels diferents tractaments.	162
Taula 9.8. Tractament estadístic del rendiment en la campanya 2002	163

Taula 9.9. Absorció total de N, P i K al gra.	164
Taula 9.10. Concentracions de N (%) al gra i a la planta en el moment de la collita.	165
Taula 9.11. Absorció total de N, P i K a la part aèria (gra, tija i fulles), expressat en kg ha^{-1} .	166
Taula 9.12. Índex de N absorbit al gra respecte al N absorbit al gra més la palla, expressat en percentatge.	167
Taula 9.13. Macronutrients secundaris i micronutrients absorbits en la part aèria del panís (gra, fulla i tija) durant la segona campanya.	168
Taula 9.14. Concentració de N-NO_3^- (en g kg^{-1} i en ppm) a la base de la tija durant la campanya 2003.	170
Taula 9.15. Mitjana de les lectures de SPAD en els diferents tractaments durant l'evolució del cultiu en les dues campanyes.	171
Taula 9.16. N recuperat (NREC) respecte al N total aplicat, expressat en percentatge, en els dos anys d'experiment.	172
Taula 9.17. Contingut de N-NO_3^- i N-NH_4^+ al sòl al llarg del cicle del cultiu.	174
Taula 9.18. Contingut residual del P, K, Cu i Zn al sòl al final de l'experiment.	175
Taula 9.19. Biomassa, expressat en kg ha^{-1} i 0% humitat, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2002	181
Taula 9.20. N absorbit, expressat en kg ha^{-1} , de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2002	181
Taula 9.21. Concentració de N, expressat en percentatge, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2002.	182
Taula 9.22. Biomassa, expressat en kg ha^{-1} i 0% humitat, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2003	182
Taula 9.23. N absorbit, expressat en kg ha^{-1} , de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2003	183
Taula 9.24. Concentració de N, expressat en percentatge, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2003.	183
Taula 9.25. Concentració de macro i micronutrients al gra i a la fulla+tija, expressat en percentatge o en ppm, en el mostreig de collita de la campanya 2003.	184
Taula 10.1. Característiques dels experiments de camp.	187
Taula 10.2. Propietats del sòl	188
Taula 10.3. Paràmetres del cultiu utilitzats en la simulació	189
Taula 10.4. Anàlisi estadístic dels valors observats i simulats del rendiment, la biomassa aèria, el N absorbit per aquesta i la concentració de N.	195

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1.1. Evolució del consum de fertilitzants nitrogenats a Espanya	1
Figura 4.1. Localització de la zona d'estudi	11
Figura 4.2. Règim pluviomètric d'un any mig (1967-2002) registrat a l'observatori de Mollerussa (Lleida)	12
Figura 4.3. Règim termomètric d'un any mig (1967-2002) registrat a l'observatori de Mollerussa (Lleida)	12
Figura 4.4. Barrena manual	17
Figura 4.5. Mostreig de biomassa en blat	19
Figura 4.6. Mostreig de biomassa en raigràs	19
Figura 4.7. Lectura clorafil·la	20
Figura 4.8. Recollida mostra purí	20
Figura 4.9. Determinació analítica de nitrats a l'aigua amb Nitratecheck	21
Figura 4.10. Influència específica de l'inhibidor de la nitrificació (3,4-dimetilpirazol fosfat) en el primer graó de la nitrificació.	22
Figure 5.1. Cumulative N-NO ₃ ⁻ leached in cumulative drainage volume from different treatments	44
Figura 6.1. Visió de l'experiment de testos Mitscherlich	57
Figura 6.2. Producció de biomassa acumulada en els diferents dalls, expressat en g de matèria seca test ⁻¹	63
Figura 6.3. Macro i micro nutrients absorbits acumulats en els diferents dalls (g test ⁻¹)	65
Figura 6.4. Evolució de la concentració de macro i micronutrients (g kg ⁻¹) en els diferents tractaments.	66
Figura 6.5. N-NO ₃ ⁻ lixiviat acumulat a l'aigua de drenatge.	73
Figura 6.6. N-NH ₄ ⁺ lixiviat acumulat a l'aigua de drenatge.	74
Figure 7.1. Soil nitrate evolution in the surface horizon during the experiment. (PS-pig slurry)	103
Figura 8.1. Temperatura del sòl a diferents profunditats durant el segon any de l'experiment.	126
Figura 8.2. Perfils de temperatura al sòl durant la segona campanya en les dates 19/11/02, 27/01/03, 15/02/03, 01/03/03 i 19/03/03.	127
Figura 9.1. Vista de la parcel·la experimental	155
Figura 9.2. Croquis de l'assaig experimental durant les campanyes 2002 i 2003.	157
Figura 9.3. Aplicació del DMPP a la cuba dels purins	158
Figura 10.1. Calibració del blat mitjançant el model CropSyst Durant les campanyes 1999/2000 i 2000/2001.	192
Figura 10.2. Validació del blat mitjançant el model CropSyst.	194

ABREVIATURES I ACRÒNOMIS

IN: Inhibidor de la nitrificació

DMPP: 3,4-dimetilpirazol fosfat

NP: Nitrapirina

DCD: Diacindiamida

FNAR: fracció de nitrogen aparentment recuperat

EA: eficiència agronòmica

LE: Llindar econòmic

EUN: eficiència en l'ús del nitrogen

EAN: eficiència en l'absorció de nitrogen

EUN: eficiència en la utilització del nitrogen

Element de la taula periòdica: N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Cu, Fe, Na, B.

RESUM

Entre les estratègies ambientals i productives en l'ús dels nutrients s'inclou l'ús dels purins i l'ús dels inhibidors de la nitrificació (IN). En el cas del purins cal conèixer el seu impacte en el medi i valorar la seva capacitat d'aportar nutrients. L'aparició del nou IN, 3,4-dimetilpirazol fosfat (DMPP), patentat per l'empresa BASF l'any 1997, obria la possibilitat d'aplicar un producte que fins ara estava limitat als cultius d'alt valor econòmic, a la jardineria i als camps de golf.

La Tesi doctoral avalua, en diferents escenaris, l'ús del DMPP i l'ús de purins. Per aquest motiu, es van dur a terme dos experiments en testos amb el cultiu de raigràs anglès (*Lolium perenne* L.). També es van realitzar tres experiments de camp, un amb blat d'hivern (*Triticum aestivum* L.) durant quatre campanyes (1999-2003) en un sòl franc, un amb el mateix cultiu durant dues campanyes (2001-2003) en un sòl franc argil.lo-llimós, i un amb panís (*Zea mays* L.) durant dues campanyes (2002 i 2003) en un sòl franc. Utilitzant les dades del primer experiment de blat es va portar a terme una calibració i validació del model de simulació CropSyst.

El DMPP es va avaluar en diferents dosis de purí i en fertilitzants minerals, mitjançant el control del rendiment del cultiu, de l'absorció de nitrogen i en alguns experiments, de la resta de macro i micronutrients, i dels nivells de nitrats i amoni en el perfil del sòl. També es van calcular índexs d'eficiència en l'ús del nitrogen i es va fer un balanç aproximat de nitrogen. En el cas dels testos, es van mesurar les pèrdues de nitrogen per lixiviació.

En general els rendiments van respondre directament a les aportacions de nitrogen, però no es van trobar diferències clarament significatives per la utilització del DMPP. Igualment va passar amb l'absorció de nitrogen i altres macro i micronutrients. Es van veure alguns resultats interessants a nivell mediambiental pel que fa a la pèrdua de nitrats per lixiviació, ja que hi va haver una reducció considerable d'aquestes pèrdues pel fet d'utilitzar el DMPP.

El que és evident és que en experiments de camp hi ha un error experimental molt elevat que emmascara l'efecte que es vol analitzar. Com s'ha demostrat, no hi ha una clara consistència dels resultats. És a dir, en el cas de l'IN, l'efecte analitzat no sempre ha estat el de la hipòtesi plantejada. Tot i així, en la situació actual amb uns preus similars entre els fertilitzants amb i sense inhibidor de la nitrificació, els avantatges en l'ús de l'IN cal que es considerin (menys pèrdues per rentat, major disponibilitat de N per a la planta i millors índexs d'eficiència) com una clara millora en la gestió de la fertilització nitrogenada i una opció que s'ha tenir en compte com a bona pràctica agrària.

D'altra banda, en l'experimentació amb purins en quantitats que no superin els 30 m³ ha⁻¹, el sistema tendeix a estar equilibrat respecte al balanç de fòsfor en el cas del blat de regadiu. El valor fertilitzant dels purins va quedar clarament demostrat i les seves limitacions ambientals poden controlar-se amb l'ús d'anàlisis tant dels purins com dels sòls on s'apliquen.

Pel que fa a l'ús del DMPP en els purins, els clars efectes de l'assaig amb testos no es van mostrar de manera tan evident en els experiments de camp. Fa falta un major control de les variables mesurades al camp per obtenir una clara resposta de l'efecte de l'IN aplicat amb el purí.

Paraules clau: Inhibidors de la nitrificació, DMPP, purins de porc, absorció de nutrients, índexs d'eficiència en l'ús del nitrogen

RESUMEN

Entre las estrategias ambientales y productivas en el uso de los nutrientes, se incluye el uso de los purines y el uso de los inhibidores de la nitrificación (IN). En el caso de los purines, hace falta conocer su impacto en el medio y valorar su capacidad para aportar nutrientes. La aparición del nuevo IN, 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP), patentado por la empresa BASF en el año 1997, abrió la posibilidad de aplicar un producto, que hasta el momento, estaba limitado a cultivos de alto valor económico, a la jardinería y a campos de golf.

La tesis doctoral evalúa, en distintos escenarios, el uso del DMPP y el uso de los purines. Por este motivo, se llevaron a cabo dos experimentos en macetas con el cultivo de raigrás inglés (*Lolium perenne* L.). También se realizaron tres experimentos de campo, uno con trigo de invierno (*Triticum aestivum* L.) durante cuatro campañas (1999-2003) en un suelo franco, uno con el mismo cultivo durante dos campañas (2001-2003) en un suelo franco arcillo-limoso, y uno con maíz (*Zea mays* L.) durante dos campañas (2002 y 2003) en un suelo franco. Utilizando los datos del primer experimento de trigo se llevó a cabo una calibración y validación del modelo de simulación CropSyst.

El DMPP fue evaluado en diferentes dosis de purín y en fertilizantes minerales, mediante el control del rendimiento del cultivo, de la absorción de nitrógeno y en algunos experimentos, de los otros macro y micronutrientes, y de los niveles de nitratos y amonio en el perfil del suelo. También se calcularon índices de eficiencia en el uso del nitrógeno y se hizo un balance aproximado de nitrógeno. En el caso de las macetas, se midieron las pérdidas de nitrógeno por lixiviación.

En general los rendimientos respondieron directamente a las aportaciones de nitrógeno, pero no se encontraron diferencias claramente significativas por la utilización del DMPP. Igualmente pasó con la absorción de nitrógeno y otros macro y micronutrientes. Se vieron algunos resultados interesantes a nivel medioambiental con respecto a la

pérdida de nitratos por lixiviación, ya que ha habido una reducción considerable de estas pérdidas por el hecho de utilizar el DMPP.

Lo que es evidente es que en experimentos de campo hay un error experimental muy elevado que enmascara el efecto que se quiere analizar. Como se ha demostrado, no hay una clara consistencia de los resultados. Es decir, en el caso del IN, el efecto analizado no siempre ha sido el de la hipótesis planteada. Sin embargo, en la situación actual con unos precios similares entre los fertilizantes con y sin inhibidor de la nitrificación, las ventajas en el uso del IN deben considerarse (menos pérdidas por lavado, mayor disponibilidad de N para la planta y mejores índices de eficiencia) como una clara mejora en la gestión de la fertilización nitrogenada y una opción a tener en cuenta como buena práctica agraria.

Por otro lado, en la experimentación con purines en cantidades que no superen los 30 m³ ha⁻¹, el sistema tiene tendencia a estar equilibrado respecto al balance de fósforo en el caso del trigo de regadío. El valor fertilizante de los purines quedó claramente demostrado y sus limitaciones ambientales pueden controlarse con el uso de análisis tanto de los purines como de los suelos dónde se aplican.

En referencia al uso del DMPP en los purines, los claros efectos en el ensayo con macetas no se vieron de manera tan evidente en los experimentos de campo. Hace falta un mayor control de las variables medidas en campo para obtener una clara respuesta del efecto del IN aplicado con el purín.

Palabras clave: Inhibidores de la nitrificación, DMPP, purines de cerdo, absorción de nutrientes, índices de eficiencia en el uso del nitrógeno

SUMMARY

Pig slurry (PS) fertilization and nitrification inhibitors (NI) use are included in environmental and productive strategies. In the case of PS, it is important to know its impact to environment and to value its capacity of nutrient contribution. The appearance of a new NI, 3,4-dimethylpirazol phosphate (DMPP), patented by BASF in 1997, offered the possibility to apply this kind of products to agriculture and not only to value crops, gardening and golf courses, as it was the case before.

This PhD thesis evaluates the use of DMPP and pig slurries in different scenarios. It is carried out in two pot experiments with ryegrass (*Lolium perenne* L.). Also, three field experiments were conducted, one with wheat (*Triticum aestivum* L.), during four seasons (1999-2003) in a loam soil, one with the same crop during two seasons (2001-2003) in a silty clay loam soil, and one with maize (*Zea mays* L.) during two seasons (2002 and 2003) in a loam soil. Using data for the first experiment with wheat, a calibration and validation of the simulation model CropSyst was carried out.

DMPP was appraised in different doses of PS and in mineral fertilizers, by evaluating crop yield, nitrogen absorption, as well as macro and micronutrients absorption in some of the experiments, and nitrates and ammonium levels in soil profile. Nitrogen use efficiency indices and approximated nitrogen balance were also calculated. In pot experiments, lixiviation nitrogen losses were measured.

In general, crop yields had a direct response to nitrogen contribution, but there was no significant difference due to DMPP utilization. The same effect was found with nitrogen and macro and micronutrients absorption. Some interesting results were found because of the reduction of nitrate lixiviation due to DMPP utilization.

It is evident that in field experiments there is a high experimental error, which could mask the effect of what we want analyze. As it is demonstrated, results are not consistent. Namely, in the case of NI, the observed effect does not always agree with the initial hypothesis. However, in the present situation with similar prices between

fertilizers with and without NI, we have to consider the advantages of using NI (less lixiviation losses, higher nitrogen availability for plants and better efficiency indices) as a better management of nitrogen fertilization and an option for better agriculture practices.

Nevertheless, in experiments with pig slurries in quantities below $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ the system tended to be balanced with phosphorus balance in the case of irrigated wheat. Pig slurry fertilizing value was proved and its environmental limitations can be controlled with pig slurry and soil analyses.

The clear results found in pot experiments using DMPP with pig slurries, were not so evident in field experiments. A higher control in field measured variables is necessary in order to obtain a clear response to the effect of NI applied with pig slurry.

Key words: Nitrification inhibitors, DMPP, pig slurry, nutrients absorption, nitrogen use efficiency indices

1. INTRODUCCIÓ

1. INTRODUCCIÓ

La civilització, tal i com la coneixem actualment, no s'hagués pogut desenvolupar ni subsistir sense un adequat abast d'aliments. En conjunt, els inputs (llavors, fertilitzants, insecticides, herbicides i maquinària) i l'estratègia en les campanyes de producció van formar la base a partir de la qual es va desenvolupar la Revolució Verda. Si les varietats d'alt rendiment de blat i d'arròs són els catalitzadors de la Revolució Verda, els fertilitzants químics són el combustible que la mobilitza. L'alta resposta de les noves varietats ha incrementat el consum de fertilitzants donada la seva eficiència en l'aprofitament de majors nivells en comparació amb les varietats antigues. En efecte, les varietats de palla alta produïen només 10 quilos de gra addicional per cada quilo de nitrogen aplicat, en tant que les noves varietats nanes poden produir de 20 a 25 quilos o

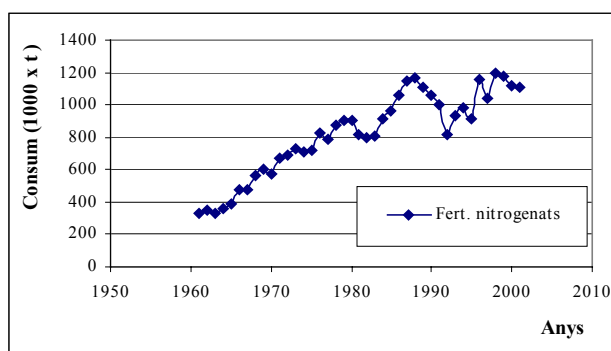


Fig. 1.1. Evolució del consum de fertilitzants nitrogenats a Espanya.

més de gra addicional por cada quilo de nitrogen aplicat. En la figura 1.1 es pot veure la tendència ascendent del consum de fertilitzants nitrogenats a Espanya, passant de 327 mil tones als anys 60 a més de 1100 a principis del nou segle.

Segons la FAO, "segueix prevalent una gran falta de coneixements i confusió sobre els fertilitzants minerals. El públic necessita informació objectiva, científica, de tots els associats que participen a la gestió dels nutrients...". Hi ha consens general sobre l'evolució de l'agricultura en resposta a les tendències demogràfiques i econòmiques. La població mundial probablement arribarà a uns 8.000 milions de persones al voltant de l'any 2030, i dues de cada tres persones viuran a les ciutats. L'increment dels ingressos crearà una demanda asimètricament més alta d'aliments, el que vol dir que en les pròximes tres dècades la producció d'aliments necessitarà augmentar un 60 per cent. Gairebé tot l'augment de la producció s'haurà d'originar als països en desenvolupament, gràcies a la intensificació de l'agricultura, és a dir, major rendiment per unitat de temps i de superfície. Conforme la urbanització redueix la força de treball agrícola,

l'agricultura també haurà d'adoptar noves modalitats de mecanització, i passar a la intensificació de la utilització agrària, amb totes les seves connotacions.

Aquestes situacions suggereixen incrementar l'eficàcia de la utilització de tots els recursos naturals, en particular l'aigua, i la necessitat d'una utilització de fertilitzants major en eficàcia encara que no en volum. El 43 % dels nutrients que la producció agrícola mundial extreu anualment prové de l'aplicació de fertilitzants, i la contribució podria arribar fins a un 84 % en els pròxims anys. Per tenir un ordre de magnitud de l'eficiència dels fertilitzants nitrogenats en cereals, s'està parlant entre un 42 i un 29 % en los països desenvolupats i en desenvolupament, respectivament (Raun i Johnson, 1999)

Al contrari del que pensa una part de l'opinió pública, no és probable que els nutrients d'origen no mineral superin als fertilitzants minerals en el futur. Si bé hi haurà més adob verd degut a l'increment de la producció de ramat, i a que la urbanització produirà més residus, en especial aigües residuals, l'eficàcia d'aquests residus com a fertilitzant és considerablement inferior i la despesa actual d'utilitzar-los en l'agricultura segueix essent molt elevada. No obstant, s'ha de considerar també aquest tipus de productes com a fertilitzants bàsicament per la seva existència. Això implica estudiar el comportament dels nutrients en aquests residus per augmentar també la seva eficàcia.

En molts països desenvolupats s'ha produït una intensificació de la producció ramadera i com a conseqüència un increment de les seves dejeccions, de manera que s'estan plantejant seriosament algun tipus de gestió. A Catalunya (nord-est d'Espanya), la producció de residus ramaders està quantificada en 16 milions de tones, el 65 % dels quals són purins de porc. Segons dades estadístiques del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya (DARP, 2002) hi han aproximadament 11.800 granges de producció de porcs, la meitat (4.665) de les quals estan situades en zones vulnerables (Decret 283/1998 i 476/2004). Això implica una producció estimada d'entre 7 i 13 milions de m³ de purins cada any (Guillaumes i Villar; 2003). L'opció més viable econòmicament i més acceptada d'aquests purins és l'aplicació al sòl com a fertilitzant. Altres estratègies que es consideren en la gestió dels purins de porc són les basses d'acumulació i les plantes de tractament, però entre

ambdues no arriben a tractar ni el 10 % del volum, i, tot i així, la gestió final del purí o subproducte acaba sent la seva aplicació al sòl. L'avantatge de la fertilització amb purins és que permet adobar correctament els cultius sense la necessitat d'aplicar únicament adobs químics, permet mantenir la relació tradicional entre la ramaderia i l'agricultura, es revaloritza un subproducte de l'activitat ramadera i permet una gestió sostenible i un estalvi de recursos. Actualment el preu dels fertilitzants minerals està augmentant de forma important de manera que l'aplicació de purins és cada cop més interessant econòmicament. Malgrat això, l'aplicació dels purins al sòl com a fertilitzant és i serà la seva principal (i, en moltes situacions, única) oportunitat de correcta gestió i d'aquí la importància cabdal de què aquesta aplicació es faci amb criteris ambientals, i els encara més exigents: agronòmics (Arán, 2001, en Boixadera i Teira, 2001). El problema apareix quan les quantitats aplicades i el moment d'aplicació no s'ajusta als requeriments dels cultius. Els efectes d'aquesta pràctica, si no es fa ben feta, són la contaminació amb nitrats de les aigües subterrànies i cursos d'aigua en general, la contaminació dels sòls per nutrients i metalls pesants, les emissions a l'atmosfera d'amoni i òxid nítrós, les olors i potencialment els patògens. La forma d'aplicar els purins és molt important. Per reduir les pèrdues per volatilització i minimitzar les olors és convenient enterrar els purins després de la seva aplicació o bé utilitzar maquinària que les apliqui directament dintre del sòl. Segons Teira (2008), la quantitat del fitonutrient nitrogen que es recicla a través dels sòls agrícoles de Catalunya en forma de purí porcí és d'unes 55.000 t N any⁻¹ (acompanyada d'unes 28.800 t P any⁻¹). Aquests sòls reben, a més, unes 64.500 t N/any en forma de dejeccions de l'aviram i del bestiar boví i oví, entre 5.000 i 10.000 t N/any en forma de fangs d'estació depuradora d'aigües residuals (ACA, 2005) i de compost de fracció orgànica de residus municipals (Junta de Residus, 1996) i unes 46.000 t N/any com a fertilitzant mineral (DAR, 2006). El nitrogen aportat al sòl possibilita la reposició de les extraccions/exportacions dels cultius i com ja s'ha mencionat també és susceptible de perdre's cap a l'atmosfera i l'aigua. Cal minimitzar aquestes pèrdues utilitzant de la manera més eficient possible tot el nitrogen ja existent al territori i minimitzant les entrades de nitrogen mineral.

Al moment d'aplicació, el purí generalment conté més del 60 % de N en forma amoniacal. Aquest nitrogen pot ser perdut a través de la volatilització, que és generalment el major mecanisme de pèrdua de N (Morvan et al., 1997; Rochette et al.,

2001; Sommer and Hutchings, 2001). Segons Ross *et al.*, 1985, en sòls argil·losos, el 24 % del NH_4^+ del purí es va trobar fixat en les partícules d'argil·la, en comparació amb el 5-10 % que van trobar Trehan i Wild (1993) en sòls franc arenosos. El N-NH_4^+ del purí és ràpidament nitrificat al sòl després de la seva aplicació (Morvan *et al.*, 1997; Chantigny *et al.*, 2001), i pot ser perdut a través de la desnitrificació en sòls fertilitzats amb purins, que segons el contingut d'humitat del sòl pot variar de < 1% fins a > 30% (Carey *et al.*, 1997; Chadwick *et al.*, 1998; Maag i Vinther, 1999). Les pèrdues de N per lixiviació només van ser detectades en taxes d'aplicació elevades (Westerman *et al.*, 1985; Spalding i Exner, 1993) i en sòls ben drenats (Spalding i Exner, 1993).

Els aplicadors han de considerar que no actuen sobre un medi inert i desestructurat, sinó que ho fan en uns sistemes agraris amb complexes interaccions entre sòl, clima, cultiu, ramat i l'home que el gestiona. En les zones de producció ramadera més intensiva s'ha produït una situació a on l'oferta de les dejeccions ha estat superior a la demanda, i això ha repercutit en la despesa de l'aplicació d'aquests residus. Això ha implicat que s'apliquessin quantitats en excés, pel baix cost i perquè, de moment, no és rendible exportar l'excedent, comportant una sèrie de problemes medioambientals, destacant la contaminació de les aigües subterrànies per nitrats. De fet, la Directiva 91/676/CEE del consell de 12 de desembre de 1991 relativa a la protecció de les aigües contra la contaminació produïda per nitrats utilitzats en l'agricultura ja considerava que l'agricultura (ús excessiu de fertilitzants) era la causa principal de la contaminació originada per fonts difuses que afectava a les aigües de la comunitat, i sobre la que s'havia d'incidir. Aquesta directiva va ser transposada pel Reial Decret 261/1996, de 16 de febrer, al dret de l'Estat, que obligava a les comunitats autònomes a identificar les seves zones vulnerables (Decret 283/1998 i Decret 476/2004) i a elaborar un Codi de Bones Pràctiques agràries (Ordre del 22 d'octubre de 1998) d'obligat compliment en aquestes zones. Així mateix, el Govern de la Generalitat de Catalunya va impulsar una sèrie de programes d'actuació, relacionats amb mesures agronòmiques de fertilització (Decret 205/2000), mesures ambientals de prevenció i correcció de la contaminació (Decret 119/2001), i fins i tot mesures més específiques sobre la gestió de les dejeccions ramaderes (Decret 220/2001, modificat pel Decret 50/2005). Seguint amb la coherència amb altres directives en l'aplicació de les mesures adaptades pels estats membres en relació a la contaminació per nitrats i per tal de uniformitzar criteris en l'adopció de

mesures en quan a la prevenció i limitació de les entrades contaminants, s'ha impulsat una nova directiva, Directiva 2006/118/CE relativa a la protecció de les aigües subterrànies contra la contaminació i el deteriorament (DAS).

Hi ha diferents possibilitats d'utilitzar amb major eficàcia els fertilitzants, a través de la biotecnologia, de la investigació de la biologia del sòl, de la gestió integrada dels sistemes de producció i de la creativitat de les indústries de fertilitzants per buscar de forma sistemàtica com reduir la mà d'obra, recurs cada vegada més escàs. L'eficiència en l'ús del nitrogen és una fita important per la sostenibilitat en els sistemes de cultius. El desenvolupament de sistemes de cultiu que utilitzen efectivament el nitrogen, no tan sols és important per reduir la despesa en l'ús de fertilitzants nitrogenats, sinó també pel fet de minimitzar la contaminació, especialment la contaminació per nitrats a les aigües subterrànies i les aportacions de diferents formes nitrogenades a l'atmosfera. A Espanya hi ha una xarxa que agrupa a estudiosos al voltant de l'eficiència en l'ús del nitrogen anomenada RUENA (www.ruena.csic.es), amb més de 20 institucions i 100 investigadors que difonen i investiguen tot el relacionat amb la fertilització nitrogenada, des dels diferents components i processos dintre de l'anomenat cicle del nitrogen fins a aspectes com els legislatius i els econòmics. La investigació en la producció de nous fertilitzants es centra en el control de les pèrdues i en la millora de l'eficiència en l'assimilació i posterior ús metabòlic dels nutrients per part de les plantes.

Una manera de reduir aquesta contaminació és mantenir el N mineral al sòl en forma d'amoni en comptes de forma nítrica (Ball-coelho i Roy., 1999). Una de les innovacions tecnològiques de les indústries de fertilitzants es centra en la producció d'eco-fertilitzants¹, especialment en el desenvolupament dels inhibidors de la nitrificació (IN). Els IN són compostos químics que retarden l'activitat de les bacteries del sòl *Nitrosomonas spp.* responsables de l'oxidació dels ions amoni a ions nitrit (i consegüentment a ions nitrats) durant un cert període de temps (Prasad i Power, 1995; Zerulla *et al.*, 2001; Trenkel, 1997). Com a substàncies més emblemàtiques per la seva utilització es pot destacar la nitrapirina (NP), la diacindiamida (DCD) i el 3,4-

¹ Es tracta de combinar l'aplicació efectiva d'un fertilitzant en una agricultura moderna amb la protecció ambiental reduint les pèrdues de N amb l'ajuda de estabilitzants d'amoni que no mostrin efectes ecotoxicològics. (Conrad, 2000)

dimetilpirazol fosfat (DMPP). A principis del 1962 es varen obtenir fruits de la investigació i s'introduïa al mercat d'Estats Units la nitrapirina (Goring, 1962a; Goring, 1962b). Una altra substància inhibidora de la nitrificació que es va introduir al mercat va ser la diciandiamida (DCD), que va guanyar importància a Europa als anys 80 (Solansky, 1982; citat por Zerulla *et al.*, 2001). El problema principal de l'aplicació d'aquestes substàncies és el preu, podent-se aplicar només en cultius d'alt valor econòmic, en jardineria i camps de golf. Afrontant el repte d'obtenir una substància inhibidora de la nitrificació més eficaç i més econòmica, la empresa BASF va patentar a l'any 1997 el 3,4-dimetilpirazol fosfat (DMPP). Va ser un projecte cooperatiu I+D en el que varen participar tant empreses públiques com empreses privades i en el que es va invertir, en forma de dos projectes dividits, més de 8,5 milions d'euros per cada un (Conrad, 2000). El DMPP té un alt potencial d'inhibició, tenint un efecte bacteriostàtic sobre les *Nitrosomones*, essent la duració d'aquest efecte entre 6-8 setmanes depenent de la temperatura del sòl. El DMPP es pot incorporar en fertilitzants minerals sòlids (comercialitzats amb el nom d'ENTEC®), en fertilitzants solubles (comercialitzats amb el nom d'ENTEC® Solub), en fertilitzants líquids (comercialitzats amb el nom d'ENTEC® Fluid), i en fertilitzants orgànics (encara en vies d'investigació).

Altres exemples que han estat avaluats amb la finalitat de disminuir la contaminació per nitrats són els inhibidors de la ureasa, com el NBPT (N-(n-butil) tiofósforo triamida) (Artola *et al.* 2007), i els compostos nitrogenats de baixa solubilitat, dintre dels anomenats fertilitzants d'alliberació lenta, com els que contenen isobutilidendiurea (Diez *et al.*, 1996).

L'estructura d'aquesta tesi consta de diferents capítols relacionats amb els diferents experiments realitzats. En el cas dels articles publicats en revistes científiques (cap. 1 i cap. 3) es manté l'estructura íntegra de l'article. Ens els altres capítols la introducció serà específica de l'experiment en sí, evitant ser reiteratius en els aspectes generals recollits en aquesta introducció general.

2. ANTECEDENTS

2. ANTECEDENTS

Des del grup d'investigació d'Agrometeorologia del Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, s'ha entrat escalonadament dins de la línia d'investigació de la fertilització nitrogenada. En un primer estadi a l'any 1993 i 1994, es va fer un estudi exhaustiu (Villar, 1999) a la zona regable del canal de Urgell de la fertilització nitrogenada tradicional en panís (*Zea mays* L.). La tendència general era la d'aplicar una dosi fixa de l'ordre de 300 a 400 kg N ha⁻¹. Amb un control de la dinàmica dels nitrats en el medi, es va observar que es generava un excedent de nitrogen que no era absorbit per la planta i que no estava correlacionat amb la producció. Els resultats indicaven que hi havia un excés de N en el sistema (N residual al sòl, N aplicat, N a les aigües superficials i a les aigües freàtiques). En una altra línia de treball, es va controlar la concentració de nitrats en la base de la tija del panís (*Zea mays* L.), deduint que aquesta concentració en l'estadi de 6 fulles era un mètode efectiu per avaluar l'absorció de N del cultiu, la disponibilitat de N al sòl i la producció final. I seguint amb el mateix objectiu, es va efectuar una prospecció a 902 parcel·les dels nivells de nitrogen mineral en el període de tardor i hivern. Es va poder concloure que en un 36 % de les parcel·les, aquests nivells superaven el llindar de resposta en els cultius de la zona (40 ppm), i que el mètode de control de nitrats al sòl en superfície abans de la sembra era i és un procediment fiable, ràpid i operatiu d'avaluar les necessitats d'adobat nitrogenat (Villar *et al.*, 2003).

Continuant amb l'estudi de la dinàmica del nitrogen al sòl, Ferrer (1999) va profunditzar en l'avaluació de N-NO₃⁻ en els primers 30 cm en pre-cobertera (PSNT), com a índex del N disponible al sòl i eina que permetés identificar parcel·les amb necessitats d'aplicacions suplementàries de fertilitzant nitrogenat. Es va deduir un nivell de PSNT crític entre 15 i 22 ppm (equivalent a 70 i 100 kg N ha⁻¹, respectivament). Paral·lelament, es va avaluar de forma exhaustiva, la capacitat del model de simulació CropSyst per simular la dinàmica del N en el sistema sòl-planta i el creixement del cultiu (Ferrer-Alegre *et al.* 1999a i Ferrer-Alegre *et al.* 1999b). Els resultats de les simulacions van permetre definir valors de PSNT crítics i assignar una probabilitat de error a les recomanacions realitzades en base a aquests valors (Ferrer *et al.* 2003).

Els models de simulació ens permeten accelerar l'obtenció de resultats respecte als experiments de camp. D'aquesta forma, es pot predir el comportament de diferents cultius davant diferents estratègies de maneig, així com es pot progressar en la generació del coneixement de les interaccions entre determinats cultius i l'ambient. El model de simulació de sistemes agrícoles CropSyst Suite (Stockle i Nelson, 1998) desenvolupat pel departament d'Enginyeria de sistemes biològics de la Washington State University de Pullman (EUA) ens permet representar i avaluar el balanç de nitrogen, estimant en bases diàries el N mineral present al sòl, el N lixiviat, l'absorció de N i el creixement del cultiu. Es destaca un estudi on s'avalua el CropSyst a la zona d'estudi (Ferrer *et al.*, 2000).

Amb uns coneixements fonamentals sobre l'estudi de la dinàmica del nitrogen en el sistema aigua-sòl-planta, a partir de l'any 1998 es va començar el nou treball d'investigació centrat en els IN (Carrasco, 2000).

Probablement, el primer centre d'investigació a Espanya, que va començar a treballar amb IN, va ser l' Institut Valencià d'Investigacions Agràries. A l'any 1992 va començar la seva investigació amb la DCD, amb l'objectiu principal de millorar l'eficiència de la fertilització nitrogenada en el cultiu de cítrics al litoral valencià (Serna *et al.*, 1994). Posteriorment, cap a l'any 1997, va substituir la DCD pel DMPP com a inhibidor de la nitrificació, ja que va veure la major eficàcia d'aquest últim respecte la DCD. Fruit d'aquestes investigacions es varen publicar una sèrie de treballs (Serna *et al.*, 2000; Bañuls *et al.*, 2000a; Bañuls *et al.*, 2000b; Bañuls *et al.*, 2001). El treball de Serna *et al.* (2000) és segurament el primer article científic publicat en que apareix el DMPP.

El Departament de Producció Vegetal de la Universitat Pública de Navarra va ser un altre dels centres que va iniciar una tasca pionera amb IN a Espanya. Igual que en el cas anterior, va començar treballant amb la DCD per passar posteriorment al DMPP. Entre els diferents treballs realitzats amb IN cal destacar aquell en que s'incorporà la DCD a fangs de depuradora per tal de millorar la seva eficiència fertilitzant (Quemada *et al.*, 1998). També és interessant remarcar la utilització de DCD i DMPP en la fertilització nitrogenada d'espínacs amb l'objectiu principal de disminuir el contingut de NO_3^- en les

fulles. En aquest sentit s'ha realitzat una tesi doctoral (Irigoyen, 2001). Per aconseguir preservar el N en forma amoniacal en cultius desenvolupats en el sòl a l'aire lliure s'utilitzen els inhibidors de la nitrificació DCD i DMPP. Les conclusions més importants són que és possible reduir el contingut de nitrats en els espinacs cultivats a l'aire lliure controlant la fertilització nitrogenada sense reduir la producció del cultiu.

El Departament de Medi Ambient i Ciències de Sòl de la Universitat de Lleida, dins la línia investigadora de millora de les estratègies de fertilització nitrogenada a la zona regable del canal d'Urgell, va iniciar una línia d'investigació amb fertilitzants minerals amb DMPP en panís (*Zea mays* L.) i amb l'addició de DMPP a purins de porc. Els resultats preliminars d'aquesta recerca han estat presentats a congressos internacionals (Carrasco *et al.*, 2000; Villar *et al.*, 2000), en un llibre (Carrasco i Villar, 2002), així com en la realització d'un treball pràctic tutorat (González, 2000) i en el treball necessari per optar al títol del Diploma d'Estudis Avançats (DEA) d'enginyer agrònom. (Carrasco, 2000). Com a resum es pot dir que els resultats obtinguts en els experiments amb blat de moro amb fertilitzants inorgànics van mostrar que el DMPP millorava la presència de $N-NH_4^+$ al sòl, no obstant només va ser detectable durant 40 dies després de l'aplicació. En l'assaig amb blat (*Triticum aestivum* L.) i purins de porc, l'addició de DMPP va fer que el nitrogen mineral del sòl es mantingués més temps en forma amoniacal. Fins i tot després de 4 mesos, un 30% del nitrogen mineral total es mantenia encara amb aquesta forma. Aquests resultats no reflectien un augment del rendiment però sí una millor eficiència d'absorció del N. El N total absorbit en el tractament de purí+DMPP va ser un 11% superior al tractament de purí (Carrasco *et al.*, 2000).

En alguns països, sobretot al Japó, als Estats Units i a Alemanya, ja fa força anys que es van plantejar la utilització dels IN com a solució als problemes de lixiviació de NO_3^- cap a les aigües i als problemes d'emissió de N_2O en els sistemes agraris. Els resultats d'aquests treballs són força disperss, en el sentit que hi ha algun estudi en que es van obtenir resultats beneficiosos de la utilització d'aquestes substàncies (Serna *et al.*, 1994; Bronson *et al.*, 1992) i en canvi en d'altres els resultats no són tan esperançadors, no trobant diferències significatives entre la utilització d'aquestes substàncies inhibidores i altres pràctiques de maneig de fertilització nitrogenada més "convencionals" (Blackmer i Sanchez., 1988; Buerkert *et al.*, 1995; Cerrato *et al.*, 1990). Com a via d'investigació

totalment innovadora a Espanya, es volen utilitzar aquestes substàncies inhibidores amb purins de porc utilitzats com a adob per obtenir el mateix efecte abans explicat. A Europa si que hi ha experiències realitzades (Corre i Zwart, 1995; Schröder *et al.*, 1993; Dittert *et al.*, 2001) però amb altres inhibidors diferents de l'utilitzat en el present treball. Altres autors a destacar en el tema dels inhibidors són Ball-coelho i Roy. (1999), Davies *et al.* (1995), Frye *et al.* (1989), Walters i Malzer (1990), Malzer i Randall (1985), Malzer *et al.* (1989), Martin *et al.* (1997), Trenkel (1997), Pasda *et al.* (2001), en els que s'avalua l'efecte dels IN, especialment respecte al rendiment de diferents cultius i respecte a la lixiviació de nitrats.

Dins el mateix marc de la fertilització nitrogenada i enfocant una de les problemàtiques més emblemàtiques de l'actualitat respecte als purins, s'introdueix una línia d'investigació amb una tendència més generalitzada respecte a les estratègies de l'ús dels nutrients. Per un costat, s'inicia una línia d'investigació centrada en la fertilització amb purins en un experiment a mig termini, ampliant l'estudi no tan sols en el tema del nitrogen sinó també amb altres nutrients de gran importància, com el fòsfor i el potassi (Guillaumes *et al.*, 2006). Per un altre costat, com una estratègia de fertilització, sempre pensant amb la millora de l'eficiència, es prossegueix amb les línies de treball amb l'inhibidor de la nitrificació DMPP (Carrasco i Villar, 2001; Guillaumes *et al.*, 2002; Guillaumes i Villar, 2004). Es diferencien dues línies de treball: el DMPP afegit a fertilitzants minerals (ENTEK 26®)² i el DMPP afegit a purins de porc. Els IN afegits a purins han estat objecte de nombrosos estudis. Alguns exemples són: Purins de vaca amb DCD (Schröder *et al.*, 1993; Corré i Zwart, 1995); dejeccions de vacú de llet i dejeccions de porcí amb NP (Schmitt *et al.*, 1995); dejeccions de porcí amb nitrapirina (McCormick *et al.*, 1984); purins de porc amb DCD (Wadman *et al.*, 1993; Tittarelli *et al.*, 1997); i orines d'una explotació de vacú de llet amb DCD (Di *et al.*, 1998).

Schröder *et al.* (1993) van observar que l'addició de DCD als purins de vaca no millorava suficientment la recuperació del nitrogen per part del panís (*Zea mays*, L.) per recomanar la seva justificació, i conclouïa que el risc de contaminació es podia atenuar limitant la dosi de N per sota dels nivells òptims. Schmitt *et al.* (1995) confirmaven el

² Fertilitzant que es comercialitza des de 1998. Es tracta de nitrosulfat amònic del 26 % de riquesa amb el DMPP injectat de fàbrica.

treball de McCormick *et al.* (1984) considerant millores inconsistentes en el rendiment del panís (*Zea mays*, L.) a l'afegir la NP als diferents tipus de dejeccions. Amberger (1990), en una visió global de l'ús de residus orgànics i medi ambient recomanava l'addició de IN per prevenir la contaminació de les aigües subterrànies especialment si el purí tenia que ser aplicat a finals de tardor o hivern.

3. OBJECTIUS GENERALS

3. OBJECTIUS GENERALS

Per abastar les necessitats alimentàries futures, partint de la premissa que hauran de produir major rendiment per unitat de temps i de superfície, ens cal esperar un augment de l'eficiència dels fertilitzants.

L'objectiu principal de la present tesi és el d'avaluar diferents estratègies en l'ús dels nutrients, tenint sempre com a nucli l'eficiència dels fertilitzants, tant orgànics com minerals.

Cal destacar altres objectius que es desencadenen en la tesi com:

- Estudi comparatiu de la fertilització amb purins i amb fertilitzants minerals en blat (*Triticum aestivum*, L.) i en panís (*Zea mays*, L.). Un dels aspectes importants a destacar, és la resposta a la fertilització en funció dels nivells de nutrients en el sòl.
- Avaluació de l'inhibidor de la nitrificació DMPP, en camp i en testos, a nivell productiu, econòmic i ambiental.
- Validació del model CropSyst amb les dades obtingudes en les experiències de camp, profunditzant en el mòdul de la fertilització orgànica.

Els diferents experiments que s'han portat a terme en camp i en testos són complementaris entre si. No obstant, per cada experiment hi ha uns objectius més específics que es defineixen més concretament en cada capítol d'aquesta tesi.

4. MATERIALS I MÈTODES

4. MATERIALS I MÈTODES

4.1. ÀREA D'ESTUDI

Els experiments de camp s'han portat a terme a la zona regable dels canals d'Urgell, concretament a la comarca del Pla d'Urgell (Fig. 4.1). Aquesta comarca està ubicada en una extensa plana de la depressió central catalana. Està situada en el sector oriental de la gran plana de Lleida, a llevant del riu Segre que constitueix el límit occidental. El límit septentrional són les serres de Bellmunt (379 m) i Almenara (459 m).

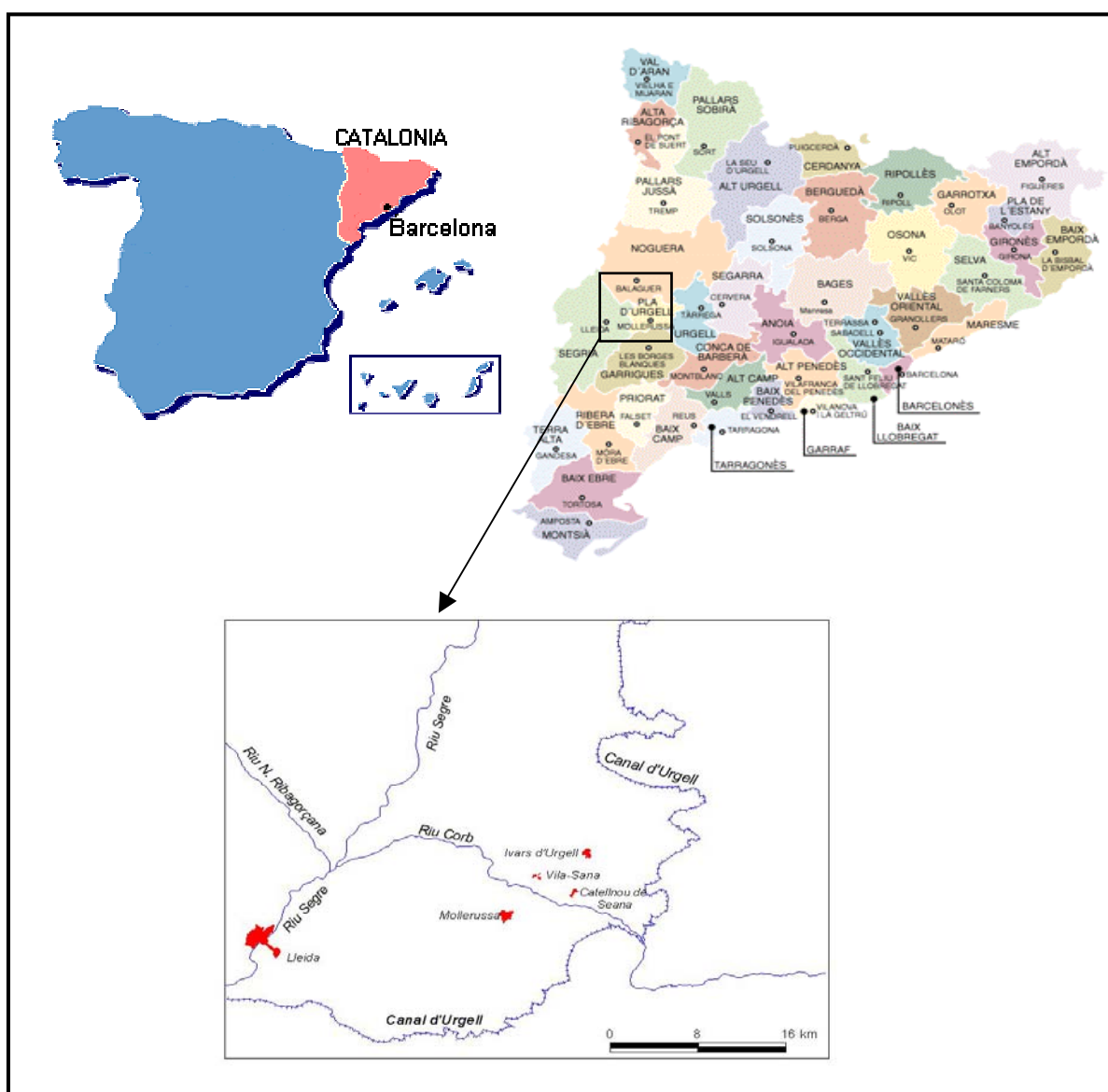


Fig. 4.1. Localizació de la zona d'estudi

Els principals cultius de la comarca són el panís (*Zea mays* L.), l'alfals (*Medicago sativa* L.), els fruiters (especialment pomera i perer), i el blat d'hivern (*Triticum aestivum* L.) amb aproximadament 12000, 6800, 5900 i 2200 ha, respectivament.

La zona es caracteritza per un clima de tipus mediterrani semiàrid continental. La tendència continental es notifica amb el contrast marcat entre hivern i estiu, i amb el contrast marcat entre el dia i la nit. La pluviometria és irregular, i a l'estiu les pluges són de caràcter tempestuós. La precipitació anual oscil·la entre 325 i 430 mm. Per una bona caracterització climàtica de la zona, es representen a les figures 4.2 i 4.3, la pluviometria i la termometria de dades mitjanes d'una sèrie de més de 30 anys de l'estació meteorològica de Mollerussa (Pla d'Urgell, Lleida)

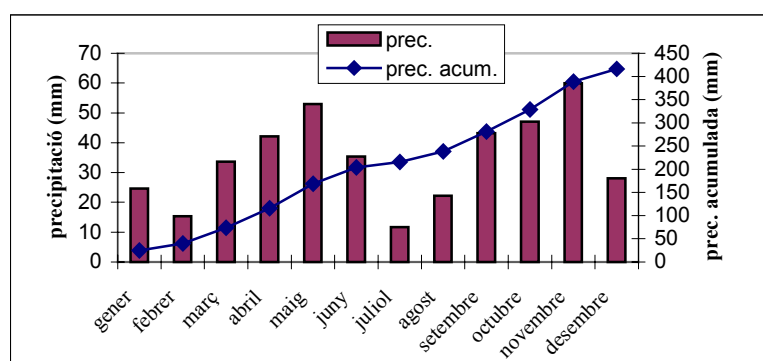


Fig. 4.2. Règim pluviomètric d'un any mig (1967-2002) registrat a l'observatori de Mollerussa (Lleida).

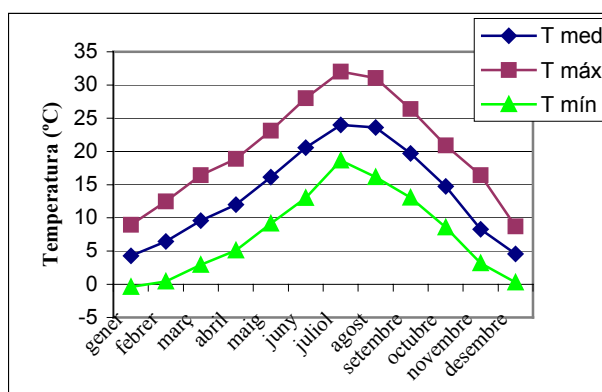


Fig. 4.3. Règim termomètric d'un any mig (1967-2002) registrat a l'observatori de Mollerussa (Lleida).

4.2 ÍNDEXS D'EFICIÈNCIA

El concepte de l'eficiència en l'ús del N va ser desenvolupat per Moll *et al.* (1982), però només es centrava amb els processos fisiològics de les plantes. Per aquest motiu, Huggins i Pan (1993) desenvolupaven i demostraven una nova tècnica per avaluar la eficiència del N partint les diferències en el rendiment i el N absorbit pel gra amb dos components de eficiència, un relacionat amb la planta i l'altre amb el sòl. Després d'una cerca bibliogràfica intensa de la utilització de diferents índexs de eficiència, s'observa molta variabilitat de definicions. El problema està en les determinacions de les variables utilitzades (N disponible al sòl, N subministrat, N absorbit per tota la planta, N absorbit per la part aèria, ...) pel càlcul d'aquests índexs. Per aquest motiu s'estableix una taula (Taula 4.1) dels índexs que s'utilitzaran amb la definició precisa.

Taula 4.1. Definició dels índexs d'eficiència en l'ús del nitrogen

Índex	Definició
FNAR - fracció de nitrogen aparentment recuperat (%)	Diferència del nitrogen absorbit per la part aèria d'un cultiu fertilitzat i un altre sense fertilitzar per unitat fertilitzant de N aplicat.
EA - eficiència agronòmica ($\text{kg}^{-1} \text{kg}^{-1}$)	Diferència del rendiment d'un cultiu fertilitzat i un altre sense fertilitzar per unitat fertilitzant de N aplicat.
LE - llindar econòmic (kg gra)	Valor del rendiment en gra que iguala el cost d'una unitat fertilitzant de N aplicat.
EUN - eficiència en l'ús del nitrogen ($\text{kg}^{-1} \text{kg}^{-1}$)	Rendiment per unitat fertilitzant de N aplicat.
EAN - eficiència en l'absorció de nitrogen ($\text{kg}^{-1} \text{kg}^{-1}$)	N absorbit en maduresa fisiològica per la part aèria del cultiu per unitat fertilitzant de N aplicat
EUtN - eficiència en la utilització del nitrogen ($\text{kg}^{-1} \text{kg}^{-1}$)	Rendiment en gra per N absorbit en maduresa fisiològica per la part aèria del cultiu.

En alguns casos, degut a que hi ha experiència a llarg termini i hi ha un cert efecte residual de les campanyes anteriors, es creu convenient calcular els índexs en funció del nitrogen disponible al sòl, entenent com a tal el nitrogen aplicat en forma fertilitzant més el nitrogen mineral (en forma de nitrats) continguts al sòl a l'inici de la campanya.

Les definicions d'aquests nous índexs es mostres a la taula 4.2.

Aquests índexs estan també defnints en alguns casos per altres nutrients, com per exemple el fòsfor (Pothuluri *et al.*, 1991)

Taula 4.2. Definició dels índexs d'eficiència utilitzats en funció del nitrogen disponible

Índex	Definició
FNARD - fracció de nitrogen aparentment recuperat del nitrogen disponible	Diferència del nitrogen absorbit d'un cultiu fertilitzat i un altre sense fertilitzar per unitat de N disponible.
EUND - eficiència en l'ús del nitrogen disponible	Rendiment per unitat de N disponible.
EAND - eficiència en l'absorció del nitrogen disponible	N absorbit en maduresa fisiològica per unitat de N disponible.

4.3. MOSTREIG DE SÒL

El mostreig de sòl té dues línies, una que té la finalitat de conèixer les propietats físiques i químiques del sòl de l'experiment, i l'altra, que està enfocada en el seguiment del contingut de nitrats i amoni durant el cicle del cultiu en el sòl per l'estudi de la dinàmica del nitrogen i en especial per determinar l'efecte del DMPP.

4.3.1. TÈCNIQUES DE MOSTREIG

Les mostres es van recollir amb una barrena manual (Fig 4.4). Aquesta barrena ha estat desenvolupada per causar un mínim d'alteració en la mostra recollida. D'aquesta manera s'aconsegueix un perfil de sòl molt precís.

Per conèixer les propietats més importants de la parcel·la o substrat experimental es va recollir una mostra composta de varies submostres recollides aleatòriament. En el cas dels assaigs de camp, es van recollir mostres a diferents profunditats, per caracteritzar tot el perfil.



Fig 4.4. Barrena manual

El seguiment de nitrogen mineral del sòl al llarg del cicle del cultiu ha de restringir-se en el cas dels assaigs de testos perquè es tracta d'un procediment destructiu i s'ha de mantenir el sòl en les condicions més intactes possibles. Es va prosseguir només amb un mostreig a mig experiment i un al final. En els experiments de camp es va procedir a un seguiment més continu del contingut de nitrats i amoni, especialment després de l'aplicació dels fertilitzants.

A partir de cert període de temps, l'amoni és casi despreciable perquè ha passat de forma natural a nitrats, i per tant en els últims mostrejors, es varen restringir els anàlisis a només nitrats. A la profunditat superficial la mostra es va compondre de 5 submostres de cada parcel·la elemental. En les profunditats subsuperficials la mostra es va compondre de 2 submostres per cada parcel·la elemental.

Altres paràmetres que es van mesurar, que són importants a l'hora d'uniformitzar les dades per fer balanços (on totes les variables solen estar expressades en kg ha^{-1}), van ser la pedregositat i la densitat aparent. La pedregositat es va mesurar separant amb un tamís de 2 mm, els elements grossos de les partícules fines, i la densitat aparent es va mesurar agafant una mostra de sòl, mirant el volum que aquesta ocupava amb aigua i posteriorment assecant i pesant la mostra al laboratori.

4.3.2. MÈTODES ANALÍTICS

Les mostres van estar analitzades al laboratori d'anàlisi i fertilitat de sòls (LAF) de Sidamon (Lleida). És un laboratori de qualitat contrastada i participa en el programa europeu WEPAL.

Els paràmetres analitzats van ser:

- Humitat: S'asseca la mostra a la estufa a 105 °C almenys 48 h.
- pH a l'aigua de suspensió 1:2,5. Mètode potenciomètric
- Conductivitat elèctrica (CE) a 25 °C amb un extracte 1:2,5. Mètode Conductimètric

- Matèria orgànica oxidable (m.o.) Mètode volumètric (Walkey-Black)
- Carbonat càlcic equivalent. Mètode mecànic-volumètric. Calcímetre de Bernard.
- Fòsfor extraïble mitjançant el mètode Olsen (extracció amb NaHCO_3 (0,5 M) a pH 8,5) i lectura espectrofotomètrica amb ultravioleta visible
- Potassi canviable. Extracció amb NH_4AcO (1 N) i pH 7 i lectura espectrofotomètrica amb ICP (Inducted Couple Plasma)
- Magnesi. Extracció amb NH_4AcO (1N) i pH 7 i lectura espectrofotomètrica amb ICP (Inducted Couple Plasma)
- Nitrogen nítric. Extracció amb H_2O i lectura espectrofotomètrica amb l'autoanalitzador de flux continu (F.I.A.)
- Nitrogen amoniacal. Extracció amb KCl i lectura espectrofotomètrica ultravioleta visible
- Textura. Mètode gravimètric. Sedimentació discontinua (TEXSOL)

4.4. MOSTREIG DE PLANTA

4.4.1. TÈCNIQUES DE MOSTREIG

En el mostreig de planta s'ha de diferenciar entre els cultius de camp (blat i panís) que són cultius anuals i el cultiu dels assaigs en testos (raigràs) que és plurianual.

En els cultius anuals es van realitzar tres mostrejors durant el cicle del cultiu: en els primers estadis (4-6 fulles), en floració i en collita. Els mostrejors de biomassa aèria en blat (*Triticum aestivum*, L.) consistien en una mostra de 0,5 m² presa a l'atzar en cada parcel·la elemental (Fig.4.5). Per la determinació del rendiment, es collia una mostra superior per augmentar la representativitat. Amb el panís (*Zea mays*, L.), que està sembrat a línies es mostrejaven les plantes que hi havia a cada costat de 1 m lineal (separació entre files 0,73 m) i que significaven 1,46 m² de superfície mostrejada. Dels diferents mostrejors realitzats al llarg del cultiu es separaven les diferents parts de la planta, sabent el percentatge que representa respecte a la biomassa total. A part s'analitzaven les diferents parts de la planta per saber el nitrogen absorbit parcial i total.

En alguns casos, del mostreig de collita, s'analitzaven també tots els macro i micronutrients absorbits pel gra o per les diferents parts.

Amb el raigràs, els mostrejos eren els diferents dalls que es realitzaven al llarg del cicle del cultiu i que depenien de la quantitat de biomassa que es produïa. Com que és una espècie que rebrota es dallava tota la superfície del test (Fig.4.6).



Fig. 4.5. Mostreig de biomassa en blat



Fig. 4.6. Mostreig de biomassa en raigràs

4.4.2. MÈTODES ANALÍTICS

Igualment que les mostres de sòl, les de plantes van ser analitzades al laboratori de anàlisis i fertilitat de sòls (LAF)

Les anàlisis que es van realitzar a la biomassa van ser:

- Humitat: es posa la mostra a la estufa a 65 °C almenys 48 h.
- Concentració de N: mètode Kjeldahl (destil·lació i valoració).
- Concentració de P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Cu, Fe, Na, B. Es fa una mineralització prèvia amb el microones i la lectura es espectrofotomètrica amb ICP (Inducted Couple Plasma).

4.4.3. SEGUIMENT DEL CONTINGUT DE LA CLOROFIL·LA EN FULLA.

En els experiments de camp, durant els dos primers mostrejos de planta es va aprofitar per controlar el contingut de clorofil·la en fulles mitjançant un equip portàtil de camp (SPAD-502 de Minolta, Fig. 4.7). Els valors mesurats corresponen a la intensitat de



Fig. 4.7. Lectura clorofil·la

verd que es correlaciona amb el contingut de clorofil·la present a la fulla de la planta. Els valors estan calculats a través de la quantitat de llum transmesa per la fulla en les dues regions de longitud d'ona en les quals l'absorbància de la clorofil·la és diferent. Aquesta mesura dona suport a

la inspecció visual en camp i dona una estimació de l'estat nutricional de la planta, ja que es pot correlacionar el contingut de clorofil·la dels teixits vegetals amb el contingut de nitrogen. Per obtenir una mesura de cada parcel·la elemental, es va registrar la mesura de 10 lectures preses dins la superfície de mostreig (0,5 m² en blat, 1,46 m² en panís). És important homogeneïtzar el lloc de la mesura degut a la seva sensibilitat. En el nostre cas es va mesurar a la part central, tan longitudinalment com transversalment, de la fulla més jove totalment desenvolupada. També és important mesurar sempre la part superior de la fulla i no l'anvers.

4.5. MOSTREIG PURÍ

4.5.1. TÈCNiques DE MOSTREIG

Com que el purí és un producte molt heterogeni és molt important agafar una mostra representativa per l'anàlisi. Per aquest motiu, es va recollir la mostra durant l'aplicació en camp, directament des de la cuba entre aplicacions de purí a les diferents parcel·les elementals.



Fig 4.8 Recollida mostra purí

4.5.2. MÈTODES ANALÍTICS

Una vegada es va recollir la mostra es va portar al laboratori abans esmentat (LAF) per analitzar-la, amb l'objectiu principal de saber la quantitat de nutrients aportats amb el purí. Aquesta informació és de màxim interès per l'avaluació de l'eficiència dels cultius amb respecte a l'ús de nutrients. Els paràmetres que es van analitzar van ser:

- Matèria seca: S'asseca la mostra a 105 °C durant almenys 48 h. Els nutrients que conté el purí estan expressats sobre matèria seca.
- N-kjeldahl: es fa una digestió prèvia i es prossegueix amb la lectura amb l'aparell Kjelttec® (mètode Kjeldahl). Si aquesta determinació es fa sobre mostra fresca determina el N-amoniacal més l'orgànic. Però generalment, per una qüestió d'homogenització de la mostra, aquesta determinació analítica es fa sobre mostra seca, i llavors el que determina és el N-orgànic.
- N-amoniacal: Mètode Kjeldahl sobre matèria fresca.
- Fòsfor i Potassi: es fa una mineralització prèvia amb el microones i es prossegueix amb una lectura espectrofotomètrica amb l'ICP (Inducted Couple Plasma)

4.6. MOSTREIG AIGUA

4.6.1. TÈCNIQUES DE MOSTREIG



Fig 4.9. Determinació analítica de nitrats a l'aigua amb Nitratecheck

Aquest apartat té molta importància en els experiments de tests ja que es van analitzar la concentració de nitrats i d'amoni en les aigües de drenatge, cosa que en camp és un paràmetre molt difícil de controlar. La freqüència de mostreig depèn de la pluviometria o de les condicions de reg que s'aplicaven. També s'analitzaven les aigües

de reg, tant en les experiències de camp com en testos, encara que en aquestes últimes es consideraven despreciables.

4.6.2. MÈTODES ANALÍTICS

Per les aigües de drenatge, les anàlisis van ser els següents:

- N-NO₃⁻: la lectura de la concentració de nitrats en aigua es va realitzar a través de l'autoanalitzador de fluxe continu (F.I.A.). També es van mesurar amb un equip portàtil Nitracheck® amb bandes per nitrats Merck® (Fig 4.9).
- N-NH₄⁺: la lectura de l'amoni es va realitzar amb el mètode espectrofotomètric d'ultravioleta visible.

Per les aigües de reg es van mesurar els nitrats amb l'aparell portàtil Nitracheck® abans mencionat.

4.7. CARACTERÍSTIQUES DEL INHIBIDOR DE LA NITRIFICACIÓ 3,4-DIMETILPIRAZOL FOSFAT (DMPP)

Per raons econòmiques i ecològiques s'ha d'incrementar l'eficiència dels fertilitzants nitrogenats, ja que en agricultura intensiva, la taxa d'utilització d'aquests fertilitzants és només un 50-70% del que s'aplica i en ocasions inclús més baix. Els IN són components que retarden l'oxidació bacteriològica de NH₄⁺ a NO₂⁻ en el sòl (Fig. 4.10).

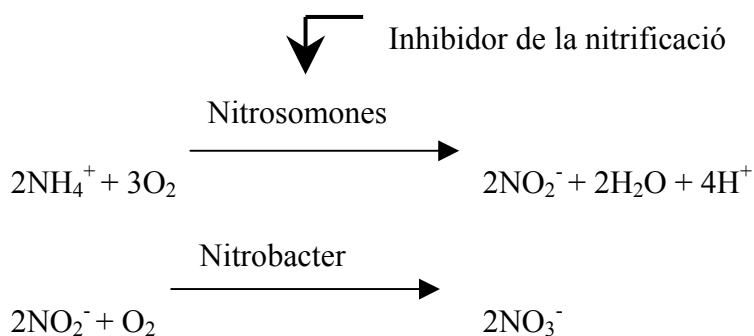


Fig 4.10. Influència específica de l'inhibidor de la nitrificació (3,4-dimetilpirazol fosfat) en el primer graó de la nitrificació.

La investigació per trobar substàncies inhibidores de la nitrificació (NI) va començar a finals dels 50. La recerca sobre aquests productes a principis dels anys 60 era restringida als estudis de laboratori. Com ja s'ha mencionat en la introducció, a principis de 1962 es van obtenir fruits de la investigació i s' introduïa la nitrapirina (NP) al mercat dels Estats Units (Goring, 1962a, Goring 1962b). Les investigacions de camp intenses s'emprenen a finals del 60 i 70, i tres societats americanes "American Society of Agronomy, Crop Science of America i Soil Science Society of America" realitzen un simposi al 1978 a Illinois (EUA), del qual es van publicar les actes al 1980 (Mesinger, 1980; citat per Prasad i Power, 1995). També és durant els anys 80 quan a Europa guanya importància al mercat una altra substància inhibidora de la nitrificació, la dicianidamida (DCD) (Solansky, 1982; citat per Zerulla *et al.*, 2001). Hi havia molts altres components de N amb propietats inhibidores de la nitrificació (McCarty, 1999; citat per Zerulla *et al.*, 2001), però no van adquirir importància comercial perquè no eren fàcils d'aplicar, a part presentaven problemes de toxicitat, o eren molt cars. Igualment va passar amb els components de S (Prasad i Ready, 1977; citat per Zerulla *et al.*, 2001), els derivats d'urea (Jung i Dressel, 1978; citat per Zerulla *et al.*, 2001), l'acetilè i els seus derivats (McCarty, 1999; citat per Zerulla *et al.*, 2001). Així es pot afirmar que només dos inhibidors havien guanyat importància en el mercat mundial dels fertilitzants, la DCD a Europa i a una part d'Estats Units i la NP als Estats Units. Davant de la pressió social que recau sobre l'agricultura com a provocadora de la contaminació ambiental dels aqüífers, i de l'interès dels inhibidors per incrementar l'eficiència en l'ús del N, l'empresa BASF, a principis dels 90, va desenvolupar un nou inhibidor de la nitrificació més eficaç que els seus predecessors: el 3,4-dimetilpirazol fosfat (abreviat com DMPP). Després d'anys d'investigació en el marc d'un projecte a Alemanya on participen, a més de la BASF, universitats i centres d'investigació, l'any 1998 es comencen a comercialitzar a Europa adobs minerals amb el DMPP com a inhibidor de la nitrificació sota el nom de ENTEC®. D'acord amb la legislació Europea el DMPP ha estat reconegut com una nova substància, i com a tal ha estat sotmesa a uns tests toxicològics i ecotoxicològics estàndard. En l'actualitat, a nivell europeu, existeix una gamma d'adobs amb DMPP, tant nitrogenats com complexes i blendings. Però l'ús del DMPP com a additiu als residus orgànics no ha passat de la recerca.

El DMPP presenta algunes avantatges respecte la DCD i la NP. Per una banda, la DCD resulta massa cara per ser utilitzada a gran escala en agricultura o en horticultura, ja que necessita una dosi d'aplicació alta (15-20 kg ha⁻¹) per obtenir una inhibició de la nitrificació adequada. Un altre inconvenient d'aquest inhibidor és que té una solubilitat alta amb aigua i pot estar subjecta a lixiviació (Abdel-Sabour *et al.*, 1990; citat per Barth *et al.*, 2001), mentre que el DMPP, observat en experiments amb lisímetres, no es detecta en els lixiviats per sobre de 0,1 µg L⁻¹ (Fettweis *et al.* 2001). La DCD en certes condicions agroclimatològiques pot causar problemes fitotòxics (Reeves i Touchton, 1986; citats per Zerulla *et al.*, 2001). Per una altra banda, la NP té una pressió de vapor relativament alta la qual cosa exclou la seva aplicació en fertilitzants sòlids i per tant la seva utilització queda limitada en aplicacions amb amoníac anhidric, fertilitzants líquids i purins. A més aquesta substància pertany al grup dels components organoclorats, agressius contra el medi ambient, a part de ser corrosiu, explosiu i amb certs problemes toxicològics (Trenkel, 1997).

El DMPP és efectiu a molt baixes dosis: una aplicació de 0,5-1,5 kg DMPP ha⁻¹ és suficient per inhibir la nitrificació de 4-10 setmanes en condicions de camp. El període efectiu d'aquest inhibidor depèn de les propietats del sòl, sobretot la temperatura (Vilsmeier, 1980; Slangen i Kerkhooff, 1984; Guiraud and Marol, 1992; citats per Zerulla *et al.*, 2001). En un estudi sense planta es va veure com el nitrosulfat amoni amb DMPP, amb unes condicions de temperatura de 5°C, pràcticament no patia nitrificació, és a dir que l'amoni no passava a nitrats. El mateix fertilitzant sense DMPP i sota la mateixa temperatura, va tardar a fer el procés complet de la nitrificació aproximadament 140 dies. I sota les mateixes condicions però amb una temperatura de 20 °C, la nitrificació era completada amb 40 dies en el primer cas i de 7-21 dies en el segon.

A part de la temperatura hi ha altres paràmetres del sòl que actuen sobre l'eficiència dels IN. Barth *et al.* (2001) van mostrar varies regressions múltiples que semblaven indicar una influència significant ($R^2=0,62$) de l'eficiència del DMPP tant amb el contingut en arena, com en la concentració de H⁺, com en els paràmetres microbiològics del sòl, com en l'activitat catalítica i la capacitat de nitrificació potencial. Amb experiments a curt termini, on es pot despreciar la degradació microbiològica del

DMPP, es demostra que amb una concentració de $5 \text{ mg DMPP kg}^{-1}$ sòl, quan més DMPP és adsorbit, especialment pels constituents inorgànics del sòl, menys efecte inhibitor de la nitrificació. En canvi, en experiments a llarg termini, on hem de tenir en compte la degradació microbiològica, quan més CIC té el sòl, més adsorció del DMPP, més protegit queda dels microorganismes i l'efecte inhibitor dura més temps (Barth *et al.*, 2001).

S'han realitzat alguns estudis sota condicions controlades de laboratori amb diferents inhibidors. A igual que en els assaigs en camp, primer es va començar a treballar amb la DCD (McCarty *et al.*, 1989; citat per Fettweis *et al.*, 2001) i més tard es troben estudis amb fertilitzants granulats i DMPP (Azam *et al.*, 2001). En aquest últim, es va trobar que dels tres components (DMPP, N-NH_4^+ i N-NO_3^-) del fertilitzant, els nitrats eren els més mòbils durant 10 dies d'incubació. Sota diferents condicions de temperatura i humitat, més del 80% del DMPP estava entre 0 i 5 mm al voltant del grànul, entre 5 i 20% a 5-10 mm i menys del 3% entre 25 i 40 mm. Incrementant la temperatura i la humitat es facilitava el moviment del DMPP. El NH_4^+ es difon més ràpid que el DMPP, i es separa de l'inhibidor en uns 10 dies.

S'han realitzat també estudis respecte les emissions de N_2O , i s'obtenen alguns resultats significatius, però s'ha de tenir en compte que es parla de quantitats molt petites i normalment expressades en $\text{g ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$, que potser no representen cap incidència a nivell de parcel·la però si que en poden tenir en una escala més gran. Segons Linzmeier *et al.* (2001), del total de les emissions el 10-40% és atribuït al fertilitzant nitrogenat i el 60-90% al N del sòl. En un assaig amb purí de boví, on es va marcar el N, es va veure que el DMPP només afectava a les emissions de $\text{N-N}_2\text{O}$ provinents del purí, mentre que les provinents del sòl eren similars en el tractament control que en el tractament amb DMPP (Dittert *et al.*, 2001). També s'atribueixen majors pèrdues de N_2O als fertilitzants nitrogenats amb més alt contingut amb NO_3^- respecte als fertilitzants més rics en NH_4^+ . Amb fertilitzants amb IN, utilitzant estratègies amb poques aplicacions i més aviat del normal, l'alliberació de N_2O és reduïda en un 20%. En altres estudis on es comparen els fertilitzants líquids respecte als granulats es veu com aquests últims tenen emissions més petites de N_2O (Linzmeier *et al.*, 2001). S'ha realitzat també un estudi a nivell d'emissions gasoses (N_2O , CO_2 , CH_4) (Weiske *et al.*, 2001) amb tres tipus

d'inhibidors, i comparteixen l'opinió de la disminució d'emissions de N_2O en els tractaments amb inhibidors, però aparentment sembla ser que el DMPP estimula la oxidació de CH_4 . Sorprenentment, aquestes dades suggereixen que els inhibidors afecten la mineralització del carboni, quantificat com a emissions de CO_2 . Aquestes es veuen disminuïdes en els tractaments amb inhibidors. En experiments de laboratori, amb el mateix sòl i els mateixos inhibidors, no confirmen els resultats obtinguts en camp, de manera que caldran més experiments, ja que no s'han trobat altres articles sobre fluxos de CO_2 en sòls tractats amb N mineral en combinació amb IN. No obstant, si el DMPP reduís l'emissió dels tres gasos (N_2O , CO_2 , CH_4) seria una estratègia útil i rendible per reduir els fluxos d'aquests gasos. Si s'expressa el potencial de l'escalfament global de la terra en funció de les emissions de CO_2 , es pot calcular com el DMPP el minimitza significativament ($p < 0,001$) en un 30% (Weiske *et al.*, 2001).

La duració de l'efecte inhibidor depèn de les condicions climàtiques (Pasda *et al.*, 2001), de les característiques del lloc (Pasda *et al.*, 2001; Barth *et al.*, 2001) i probablement del cultiu. El DMPP presenta diferents avantatges respecte altres inhibidors corrents, com dosis d'aplicació més baixes ($0,5-1,5 \text{ kg ha}^{-1}$) per obtenir el mateix efecte inhibidor i com menys risc de ser lixiviat a les aigües subterrànies. A més, es pot veure en alguns articles una reducció de les pèrdues en forma de N_2O (Skiba, 1993; citat per Zerulla *et al.*, 2001). Sembla no tenir efectes sobre l'oxidació del CH_4 a diferència de la DCD. Els fertilitzants amb DMPP poden arribar a millorar el rendiment (Trenkel, 1997; Wozniak *et al.*, 1997, citat per Zerulla *et al.*, 2001). En molts experiments amb vegetals, com a resultats de l'ús del DMPP s'observa una reducció de la concentració de NO_3^- en la matèria fresca, i les plantes tenien sovint un color verd més intens. L'efecte positiu també es pot trobar en cultius de fulla perenne com els cítrics (Serna *et al.*, 2000).

En la Taula 4.3 es poden observar algunes de les propietats del DMPP.

Taula 4.3. Estructura química, propietats físiques i químiques del 3,4-dimetilpirazol fosfat (DMPP). (Zerulla *et al.*, 2001)

Propietats	
Estructura química	<p style="text-align: center;"> H HC $\text{N.H}_3\text{PO}_4$ H_3C H_3C </p>
Nom químic	3,4-Dimetil-1H-pirazolium dihidrogenfosfat
Pes molecular	194,2 g mol ⁻¹
Punt de fusió	165°C
Densitat	1,51 g cm ⁻³ (20°C)
Densitat volumètrica	440 kg m ⁻³
Solubilitat en aigua	132 g L ⁻¹ (pH 3, 25°C) 46 g L ⁻¹ (pH 7, 20°C)
pH	2,5-3,0
Pressió de vapor	< 10 ⁻⁴ Pa (20°C) < 10 ⁻⁴ Pa (50°C)

5. CAPITOL 1

**EFFECTS OF DMPP ON THE GROWTH AND CHEMICAL
COMPOSITION OF RYEGRASS (*Lolium perenne* L.) RAISED ON
CALCAREOUS SOIL.**

Spanish Journal of Agricultural Research. 2004 2(4), 588-596

Guillaumes, E.; Villar J. M.

ABSTRACT

This paper reports a 406 day outdoor experiment (performed in pots) to determine the influence of the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), when added to pig slurry (PS), on the growth and chemical composition of ryegrass. Pots containing a loamy, calcareous soil were treated with either no PS or 73.7, 147.3 or 221 cm³ pot⁻¹, with or without DMPP, prior to seeding with ryegrass. The greatest quantity of above ground dry matter was obtained with the highest dose of PS + DMPP (36.3 g pot⁻¹) - 7.4% greater than that obtained for the same treatment without DMPP, and 46.1% greater than with the no PS treatment. The plants treated with the high and medium doses of PS + DMPP absorbed 70% of total N during the first quarter of the experimental season (104 days). Without DMPP, N uptakes were 55.7% and 63% for the high and medium treatments respectively. The inhibition of nitrification with DMPP increased agronomic efficiency and reduced N leaching by 17%.

Key words: pig slurry, nitrification inhibitor

RESUMEN

Efecto del DMPP sobre el crecimiento y la composición química del raigrás (*Lolium perenne* L.) en un suelo calcáreo

Se llevó a cabo un experimento de 406 días en macetas para evaluar el nuevo inhibidor de la nitrificación, 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP), añadido a purines de cerdo. Se utilizaron macetas que contenían tierra franca calcárea que fueron sujetas a los siguientes tratamientos: sin purín, 73,7; 147,3 y 221 cm³ de purín por maceta, todas con o sin tratamiento de DMPP. A los 18 días las macetas fueron sembradas con *Lolium perenne* L. El mayor rendimiento (36,3 g maceta⁻¹) se obtuvo para el tratamiento con la dosis superior de purín y DMPP, siendo un 7,4% superior al mismo tratamiento sin inhibidor y un 46,1% superior al tratamiento control. Las plantas tratadas con dosis alta y mediana, más el DMPP, absorbieron el 70% del total del N durante la primera fase del

experimento (104 días) mientras que sin inhibidor absorbieron el 55,3 y el 62% respectivamente. Se observó una reducción significativa del 17% en el N lixiviado en los tratamientos sin cultivo al aplicar DMPP. El inhibidor aumentó significativamente la eficiencia agronómica del purín (g materia seca g⁻¹ N aplicado).

Palabras clave: purín de cerdo, inhibidor de la nitrificación, experimento con macetas

1. INTRODUCTION

Catalonia has a total agricultural area of 0.94 million hectares, 62% of which is destined to arable crops (more than 60% is given over to barley, wheat, maize and alfalfa) (DARP, 1999). As in most areas of Europe, the agricultural soils of this region of NE Spain have received large quantities of animal manure, mainly pig slurry (PS). These increase the soil concentration of N, P, Zn and Cu, but in some cases the N and P surplus per hectare can be large, increasing N losses by leaching, runoff, volatilisation and denitrification, and increasing P losses by the first two of these phenomena.

In Catalonia, nearly 12 million pigs are sacrificed every year (DARP, 1999). There are around 11,800 pig production farms, almost half of which (4,665) are located in nitrate vulnerable zones (NVZs) (DARP, 1999). Based on Catalonian agricultural census data, it is estimated that about 9 million m³ of PS are produced every year, most of which is applied to the land. The present capacity of PS treatment plants is approximately 0.6 million m³ per year (7% of total production). PS has been recognised as a valuable source of N and P for crops, but the amounts applied are sometimes greater than those that might be considered appropriate agronomic doses (20-50 and even up to 200 m³ ha⁻¹ year⁻¹). The Catalonian autonomous government has adopted several measures to prevent the overuse of animal manures in line with European legislation. In 1998 a Code of Best Management Practices was passed (DOGC, 1998), and in 2001 a law was brought into force that obliges farmers to draw up N management plans (DOGC, 2001). The calendar for PS application in Catalonia depends on the crop. For example, in maize fields, PS is spread between February (two months before the sowing period) and July. The amount of N applied as PS is limited to 210 kg N ha⁻¹ per year (30 to 40 m³ ha⁻¹).

There is strong social pressure to reduce environmental pollution, although farmers also want to diminish the use of nitrates in order to reduce costs. In recent years, technological innovations in the fertiliser industry have sought to produce “eco-fertilisers” that are more compatible with the natural environment. Nitrification

inhibitors (NI) are compounds that delay the bacterial oxidation of ammonium ions to nitrite (and subsequently to nitrate) by suppressing the activity of *Nitrosomonas* spp. in the soil (Prasad and Power, 1995; Trenkel, 1997; Zerulla *et al.*, 2001). NI have been used to increase yields and to reduce nitrate leaching in several crops (Malzer and Randall, 1985; Frye *et al.*, 1989; Malzer *et al.*, 1989; Walters and Malzer, 1990; Serna *et al.*, 1994; Corré and Zwart, 1995; Davies and Williams, 1995; Martin *et al.*, 1997; Trenkel, 1997; Ball-Coelho and Roy, 1999; Pasda *et al.*, 2001).

The addition of NI to different types of slurry has been the subject of numerous studies. Schröder *et al.* (1993) observed that the addition of dicyandiamide (DCD) to cattle slurry did not sufficiently improve N recovery by silage maize to justify its recommendation, and concluded that the risk of pollution could only be limited by reducing the dose of N to rates below economically optimum levels. DCD has also been added to cattle slurry (Corré and Zwart, 1995), to pig slurry (Tittarelli *et al.*, 1997) and to the urine of dairy cattle (Di *et al.*, 1998). Schmitt *et al.* (1995) confirmed the results reported by McCormick *et al.* (1984), indicating that the effect of nitrapyrin on maize yield, when added to different types of manure (dairy and swine), was inconsistent. These yields increased at some sites while no response was seen at others where nitrapyrin was added to manure applied at different rates. Amberger (1990) recommended the addition of a NI to prevent groundwater pollution, especially if slurry is be applied in late autumn or winter.

In the USA, nitrapyrin is the most extensively used NI (Walters and Malzer, 1990), but in Europe the most used is probably DCD (Zerulla *et al.*, 2001).

The compound 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) is a new nitrification inhibitor developed by BASF (Germany) in cooperation with a number of universities and research institutes (Conrad, 2000; Zerulla *et al.*, 2001).

The main aim of this work was to assess the agronomic and environmental effects of DMPP when added to PS. The variables studied were the above ground dry matter yield of ryegrass grown in pots, the concentration of nutrients in these plants, the quantity of

N volatilised during the growth season, total absorbed nutrients, and the amount of nitrogen leached. A number of nitrogen use efficiency ratios were also calculated.

This work was part of a project to assess the behaviour of DMPP in calcareous soils in nitrate-sensitive areas using field and pot experiments (Carrasco i Villar, 2001).

2. MATERIALS AND METHODS

The outdoor trial was performed in pots over a period of approximately one year (June 2001 to September 2002). The pots were 25 cm in diameter and 23.5 cm deep, and were filled with 12.25 g of a loamy, calcareous soil taken from the surface layer of an arable area (see Table 5.1. for soil properties). These pots were assigned to receive one of the following treatments: no PS or either 73.7, 147.3 or 221 cm³ pot⁻¹, with or without DMPP. These quantities of PS corresponded to 57, 114, and 171 kg NH₄-N ha⁻¹, and 72, 144, and 216 kg N total ha⁻¹ respectively. The EC Nitrate Directive limits the annual application rate of organic manure to 170 kg N ha⁻¹ (European Community, 1991). A volume of 0.02 ml of a 25% DMPP solution was added to the assigned pots. The PS, with and without DMPP, was buried 5 cm under the soil surface 18 days (14th June) before sowing ryegrass seeds (*Lolium perenne* L.; 3.26 g pot⁻¹; 2nd July 2001) in the pots. Two more treatments were prepared but without the ryegrass: the low dose PS with and without DMPP. Each treatment was replicated four times according to a completely randomised design.

Table 5.1. Properties of the soil used in the experiment

Variable	Value
Organic C	11.6 g kg ⁻¹
Organic matter	20 g kg ⁻¹
pH (H₂O)	8.3
Electrical conductivity (1:5)	0.29 dS m ⁻¹ 25°C
Calcium carbonate	340 g kg ⁻¹
NO₃⁻-N	22 mg kg ⁻¹
Extractable P (Olsen met.)	49 mg kg ⁻¹
Extractable K (NH₄OAc)	133 mg kg ⁻¹
Texture-USDA	Loam
Sand	51.3%
Silt	28.5%
Clay	20.2%

The PS was collected from a collective slurry storage tank; Table 5.2 shows its composition. During the experimental period, the total rainfall was 405 mm; 380 mm of water were also supplied by irrigation.

Table 5.2. Chemical composition of the pig slurry

Variable	Value
Dry matter	70 g kg ⁻¹
pH	8.6
Total N Kjeldahl	4.83 g kg ⁻¹
NH ₄ -N	3.81 g kg ⁻¹
P	2.31 g kg ⁻¹
K	4.48 g kg ⁻¹

The ryegrass crop was hand-harvested 51, 78, 104, 208, 263, 356 and 406 days after sowing (22nd Aug., 19th Sept., 15th Oct., 12th Dec., 19th Apr., 26th Jul. and 3rd Sept.).

Plant samples were dried for 48 h at 65°C to determine their dry matter content (yield). Total N was analysed by the Kjeldahl method. Total P and K were determined by the ICP method, but only for the last four harvests. The above ground N, P and K uptakes were calculated by multiplying nutrient concentrations by total plant dry mass. Soil samples were collected on 3rd September 2002 to determine the residual nutrient content. Leachates were sampled to determine nitrate concentrations at different periods after irrigation. Nitrate concentrations were measured using the Nitrachek® meter quick test (Merck, Darmstadt, Germany).

The organic matter content of the initial soil sample was determined by the volumetric method (Walkey-Black). Soil pH was measured using a 1:2.5 soil/water weight ratio. P was determined by the Olsen method, using an UV-VIS spectrophotometer. K was extracted using ammonium acetate and measured by the ICP method. Nitrates were extracted using a 1:5 soil/water ratio and colorimetrically analysed using an ICA Autoanalyzer. P and K in PS were determined by the ICP method; total N also was determined by the Kjeldahl method. N-NH₃ volatilisation was measured using open static chambers (with oxalic acid traps); this began on the same day the PS was applied and continued for five days (Teira-Esmatges *et al.*, 2004).

Several nitrogen efficiency indices were used to evaluate plant response to the PS applied and to the nitrification inhibitor (Table 5.3). The apparent recovery of PS N by the ryegrass (NREC) was calculated as described by Greenwood and Draycott (1989). Physiological efficiency (PE) and agronomic efficiency (AE) were calculated as described by Yadvinder-Singh *et al.* (2004).

Table 5.3. Definition of N efficiency indices.

Indices	Definition	Calculated as
NREC	Apparent recovery of PS N (%)	$\frac{\text{N uptake}_{\text{fertilised crop}} - \text{N uptake}_{\text{unfertilised crop}}}{\text{N applied}} \times 100$
PE	Physiological efficiency (g biomass g ⁻¹ N uptake)	$\frac{\text{Yield}_{\text{fertilised crop}} - \text{Yield}_{\text{unfertilised crop}}}{\text{N uptake}_{\text{fertilised crop}} - \text{N uptake}_{\text{unfertilised crop}}}$
AE	Agronomic efficiency (g biomass g ⁻¹ N applied)	$\frac{\text{Yield}_{\text{fertilised crop}} - \text{Yield}_{\text{unfertilised crop}}}{\text{N applied}}$

All variables are expressed in g pot⁻¹. N applied was considered as total N PS (analysed by the Kjeldahl method).

The nitrogen balance was calculated based on the principle of the conservation of mass:

$$N \text{ inputs} - N \text{ outputs} = \text{the change in } N \text{ content in the pot}$$

N inputs were taken as the N levels in the soil at the beginning (N_{min} initial) and at the end of the experiment (N_{min} residual) plus the nitrogen applied with the PS (N applied with irrigation was negligible). N outputs were taken to be N uptake, N volatilised after slurry application, and leached N. The N unaccounted for corresponds to mineralised N (input) and N₂O emissions (output).

The data were examined by analysis of variance (ANOVA) and orthogonal contrast. All statistical analyses were undertaken using the Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999).

3. RESULTS

Above ground dry matter yield

The mean dry matter yields were 6.3, 5.6, 3.8, 3.2, 2.7, 4.3, and 3.1 g pot⁻¹ for the seven harvests respectively. A positive response to the application of PS was seen. The accumulated dry matter yield ranged from 24.8 g pot⁻¹ for the no PS treatment to 33.8 g pot⁻¹ for the high PS dose without DMPP treatment (Table 5.4) - an increase of 36%. The effect of adding the DMPP was also positive. The greatest amount of above ground dry matter was obtained with the highest dose of PS + DMPP (36.3 g pot⁻¹), 7.4% greater than the same treatment without DMPP and 46.1% greater than the no PS treatment. The quantity obtained with the medium PS dose + DMPP (33.3 g pot⁻¹) was 17.4% higher than the same treatment without DMPP. Finally, the low PS dose with DMPP (28.9 g pot⁻¹) produced 17.8% more above ground dry matter than the same treatment without DMPP. Statistical analysis showed the effect PS to be significant (see Table 5.5).

Table 5.4. Average dry matter yield, average N leaf concentration, total N uptake, and partial N, P and K uptake (Mean \pm SD, n=4).

Treatment	Yield (g pot ⁻¹)	N Conc. (%)	N uptake in the first 104 days vs. total N uptake (%)	Uptake			
				In the 406 days	In the last 302 days		
					N (g pot ⁻¹)	N (g pot ⁻¹)	P (g pot ⁻¹)
No PS	24.8 \pm 2.4	3.16 \pm 0.10	64.8 \pm 6.2	0.78 \pm 0.07	0.28 \pm 0.07	0.047 \pm 0.007	0.29 \pm 0.07
L	24.5 \pm 3.0	3.38 \pm 0.08	62.8 \pm 9.4	0.83 \pm 0.11	0.32 \pm 0.11	0.042 \pm 0.011	0.28 \pm 0.10
L + DMPP	28.9 \pm 3.8	2.66 \pm 0.12	66.0 \pm 5.6	0.77 \pm 0.07	0.26 \pm 0.07	0.057 \pm 0.014	0.30 \pm 0.09
M	28.4 \pm 4.7	3.32 \pm 0.02	63.0 \pm 9.6	0.94 \pm 0.16	0.36 \pm 0.16	0.045 \pm 0.013	0.32 \pm 0.13
M + DMPP	33.3 \pm 3.1	3.01 \pm 0.05	70.3 \pm 5.3	1.00 \pm 0.08	0.30 \pm 0.08	0.067 \pm 0.011	0.36 \pm 0.08
H	33.8 \pm 2.6	3.38 \pm 0.17	55.7 \pm 5.4	1.14 \pm 0.11	0.51 \pm 0.11	0.055 \pm 0.006	0.39 \pm 0.11
H + DMPP	36.3 \pm 6.1	3.12 \pm 0.12	70.9 \pm 9.5	1.13 \pm 0.15	0.34 \pm 0.15	0.067 \pm 0.021	0.38 \pm 0.15

L: Low, M: Medium, H: High

The inhibition of nitrification also resulted in significant increases in yield (Table 5.5). The differences between the low and the medium and high PS doses were significant, both with and without DMPP.

Table 5.5. Statistical analysis using contrasts.

Contrast	Yield (g pot ⁻¹)	N Conc. (%)	N uptake in the first 104 days vs. total N uptake (%)	Uptake			
				In the 406 days	In the last 302 days		
					N (g pot ⁻¹)	N (g pot ⁻¹)	P (g pot ⁻¹)
No PS vs. PS	**	ns	ns	***	ns	ns	ns
DMPP vs. No DMPP	**	***	**	ns	*	**	ns
L vs. M & H	**	ns	ns	**	ns	ns	ns
M vs. H	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
L + DMPP vs. M + DMPP & H + DMPP	**	***	ns	***	ns	ns	ns
M + DMPP vs. H + DMPP	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*, **, *** Significant at the 0.1, 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. ns not significant at α =0.10.

N uptake and interaction with other nutrients

The application of PS with or without DMPP significantly increased N uptake (Table 5.5). This ranged from 0.78 g pot⁻¹ for the no PS treatment to 1.14 g N pot⁻¹ for the highest PS dose without DMPP (Table 5.4), an increase of 46%. The increments associated with the high PS dose compared to the low and medium doses were 37% and 21% respectively. The inhibition of nitrification did not influence the total accumulated N uptake. However, when the low dose was compared with the medium and high dose, the differences were even more significant when DMPP was present. Moreover, when the velocity of N absorption was analysed, the influence of nitrification inhibition was clearly evident. The high and medium dose treatments of PS + DMPP absorbed 70% of

the total N by the third harvest (i.e., during the first 104 days of the experiment), while the treatments without DMPP absorbed 55.7% and 63% respectively (Table 5.4).

The inhibition of nitrification significantly affected the plant N concentration. This concentration ranged from 3.3 to 3.4% in treatments without DMPP, and from 2.7 to 3.1% in treatments with DMPP. The lower values in the DMPP treatments were due to a dilution effect. In all cases, an increase in yield due to the inhibition of nitrification was associated with a lower plant N concentration.

Phosphorus uptake during the last 302 days of the experiment was significantly greater in the nitrification inhibitor treatments (Tables 5.4 and 5.5). No significant effect was observed on potassium uptake.

Nitrogen use efficiencies

The NREC of PS N increased with the amount of N applied, ranging from 13% to 34% in treatments without DMPP (Table 5.6). These values are relatively low, probably because of initially high soil N levels (Table 5.1). The low N uptake in the low dose + DMPP treatment (0.77 g pot^{-1}) resulted in a negative NREC. The inhibition of nitrification had no effect on NREC (Table 5.7). NREC increased significantly with the medium PS dose + DMPP and the high dose + DMPP compared to the low dose + DMPP. The agronomic efficiency (AE) was similar ($10.7 - 11.9 \text{ g biomass g}^{-1} \text{ N uptake}$) among DMPP treatments. The addition of DMPP significantly affected agronomic efficiency (Table 5.7). Physiological efficiency (PE) also varied among treatments but the differences were not significant.

Table 5.6. N use efficiency indices: apparent recovery of pig slurry N by ryegrass (NREC), agronomic efficiency (AE), and physiological efficiency (PE). These indices were calculated from accumulated values.

Treatment	NREC	AE	PE
	(%)	(g biomass g⁻¹ N uptake)	(g biomass g⁻¹ N applied)
No PS	-	-	-
L	13	-1	23
L + DMPP	-5	11	16
M	22	5	16
M + DMPP	31	12	39
H	34	8	25
H + DMPP	32	11	32

Table 5.7. Statistical analysis using contrasts.

Contrast	NREC	AE	PE
DMPP vs. No DMPP	ns	**	ns
L vs. M & H	ns	ns	ns
M vs. H	ns	ns	ns
L + DMPP vs. M + DMPP & H + DMPP	**	ns	ns
M + DMPP vs. H + DMPP	ns	ns	ns

*. **. *** Significant at the 0.1, 0.05 and 0.01 probability levels respectively.
ns not significant at $\alpha = 0.10$.

Residual nutrients in the soil

The soil N, P and K contents were measured at the end of the experiment (Table 5.8). Only the no PS treatment had a significantly lower soil N content (Table 5.9). This implies that PS had a clear effect on residual N in the soil. The residual amounts of N in the soil at the end of the experiment were 0.11 g N pot⁻¹ on average, 55% less than at the beginning of the experiment (0.25 g N pot⁻¹). Similar results were found for residual K. Unlike N and K, the levels of residual P at the end of the experiment did not differ between treatments.

Table 5.8. Residual soil N, P and K at 7th October 2002

Treatment	N (g pot⁻¹)	P (g pot⁻¹)	K (g pot⁻¹)
No PS	0.067	0.659	1.868
L	0.096	0.575	1.876
L + DMPP	0.177	0.626	2.072
M	0.142	0.713	2.269
M + DMPP	0.065	ND	ND
H	0.132	0.625	2.421
H + DMPP	0.091	0.627	2.202

ND: no data

Table 5.9. Statistical analysis using contrasts.

Contrast	N _{soil}	P _{soil} ⁽¹⁾	K _{soil} ⁽¹⁾	N _{leached}	N _{unaccount}
No PS vs. PS	*	ns	*	***	***
DMPP vs. No DMPP	ns	ns	ns	ns	ns
L vs. M & H	ns	ns	ns	***	**
M vs. H	ns	ns	ns	ns	ns
L + DMPP vs. M + DMPP & H + DMPP	**	ns	ns	**	***
M + DMPP vs. H + DMPP	ns	-	-	ns	**

*, **, *** Significant at the 0.1, 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. ns, not significant at $\alpha = 0.10$.

(1) No data in treatment medium dose + DMPP.

Leached nitrogen

When ryegrass was present, the amount of N leached was significantly lower in the no PS treatment than when PS was added. The quantities leached increased with PS dose (Tables 5.9 and 5.10). The N leached increased until reaching approximately 15 mm (measured linearly) of the cumulative drainage volume corresponding to the first six leachates. From this point, the nitrate content in the drainage volume diminished abruptly. A dose-dependent effect of PS was clear (Fig.5.1).

Of the available N, 22.5% was leached in the no PS treatment, 14.5% in the low dose treatment, 16.3% in the medium dose treatment, and 13.4% in the high dose treatment. However, the effect of the nitrification inhibitor was only apparent with the high PS dose. The N leached was equivalent to 11.8% of available N for the high dose + DMPP - a reduction of some 15% compared to the high dose without DMPP. The apparent N leached from the PS applied ($[\text{N}_{\text{leached fert. crop}} - \text{N}_{\text{leached for unfert. crop}}] * 100 / \text{N applied}$) was 11.9% for the high dose and 9.3% for the high dose + DMPP.

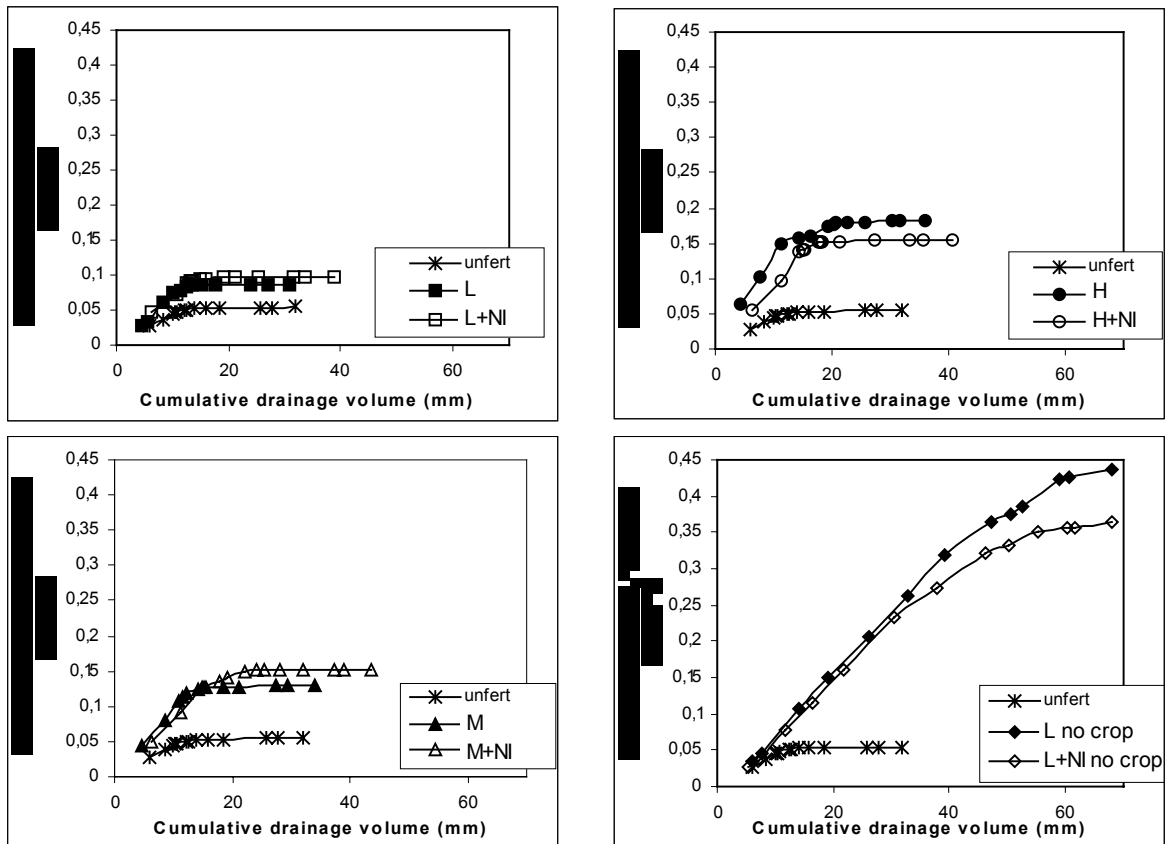


Figure 5.1. Cumulative N-NO_3^- leached in cumulative drainage volume from different treatments

The concentrations of nitrate in the first six leachates were high. The highest values ranged from $479 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ in the no PS treatment to $1124 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ in the high PS dose treatment. At the end of the sampling period, nitrate concentrations were below $10 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ for treatments with ryegrass and above $100 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ for treatments without the crop.

It is important to highlight the values obtained for the treatments in which there was no ryegrass, especially the low dose PS without DMPP (Table 5.11). The N leached was 75% of that available (applied + initial mineral soil N content) for the low dose without the ryegrass but only 15% for the low dose with the crop. The N leached was reduced to 63% of the available N for the low dose + DMPP without the crop. This implies a significant reduction of 17% in the N leached when using the nitrification inhibitor (Table 5.11).

Table 5.11. Accumulated N leached expressed as g N pot⁻¹.

Treatment	N _{leached}
L	0.087 c
L + DMPP	0.098 c
L (without crop)	0.436 a
L + DMPP (without crop)	0.364 b

Values followed by the same letter do not differ significantly (P<0.1) (Duncan's multiple range test).

Nitrogen balance

Table 5.10 shows a simplified N balance. On average, the initial soil N content was 0.24 g N pot⁻¹ (22 ppm NO₃-N). The available nitrogen (applied + initial mineral soil N content) increased with increasing PS dose. Mean ammonia emissions were 0.003 g N pot⁻¹ (equivalent to less than 1 kg N ha⁻¹). The residual N in the soil was 0.11 g N pot⁻¹. The levels of unaccounted N depended on the treatments in question. The negative values for unaccounted N imply that some input N was not taken into account, e.g., the mineralisation or denitrification of organic matter.

Table 5.10. Nitrogen mass balance for a 406 day period expressed as g N pot⁻¹.

Treatment	N_{soil}	N_{slurry}	N_{volat}	N_{uptake}	N_{leached}	N_{residual}	N_{unaccounted}
No PS	0.24	0	0.0020	0.78	0.054	0.067	-0.662
L	0.24	0.36	0.0028	0.83	0.087	0.096	-0.419
L + DMPP	0.24	0.36	0.0026	0.77	0.098	0.177	-0.447
M	0.26	0.71	0.0022	0.94	0.130	0.142	-0.250
M + DMPP	0.24	0.71	0.0040	1.00	0.153	0.065	-0.272
H	0.24	1.07	0.0025	1.14	0.181	0.132	-0.149
H + DMPP	0.24	1.07	0.0033	1.13	0.154	0.091	-0.064

4.- DISCUSSION

Dry matter yield significantly increased with increasing PS dose. This confirms the observations of Adeli *et al.* (2003) who worked with swine effluent and Bermuda grass. Pasda *et al.* (2001) performed several field-experiments under different soil and climatic conditions and with different crops, and concluded that DMPP had a positive effect on yields. Possible explanations for the higher yields obtained with NH_4^+ -N fertilisers supplemented with NI should be understood in terms of the reduction in N leaching and volatilisation losses, the partial nutrition of plants with NH_4^+ , and the improved N supply resulting from fertiliser application. Williamson *et al.* (1998), who worked with perennial ryegrass, observed an increase in dry matter yield that accounted for the N prevented from leaching due to the use of DCD.

Nitrous oxide emissions produced by denitrification were not measured in this study. Ditter *et al.* (2001) showed that when DMPP is added to cattle slurry it efficiently reduces N_2O emissions. Emissions from the slurry pool ranged from 0.93 kg N_2O ha⁻¹ (without DMPP) to 0.50 kg N_2O ha⁻¹ (with DMPP), equivalent to 1.45 and 0.78% of the slurry applied respectively. N_2O emissions can also be reduced by using N fertilisers with DMPP (Linzmeier *et al.*, 2001; Weiske *et al.*, 2001).

The velocity of N absorption was enhanced with DMPP. Williamson *et al.* (1998) observed that the inhibition of nitrification contributes to the enhancement of plant N uptake. Greater P uptakes due to DMPP (an indirect advantage of its use) might be explained by the fact that DMPP improves the mobilisation and uptake of phosphates from the rhizosphere, probably due to the presence of ammonium ions in the soil solution (which might reduce soil pH) (Pasda *et al.*, 2001). However, an unknown mechanism may also be at work.

Adding DMPP to the medium dose PS significantly increased NREC (from 22 to 31%), but no such effects were associated with other doses. Schröder *et al.* (1993) observed an increase in NREC following the addition of DCD to cattle slurry. Williamson *et al.*

(1998) found that 32% of the N applied in farm effluent was recovered, compared to 42% of the same effluent when DCD was added.

There were no significant differences between treatments in terms of soil residual phosphorous at the end of the experiment because the initial P content was very high (49 ppm, equivalent to 0.543 g P pot⁻¹). The quantities of P applied ranged from 0.168 g P pot⁻¹ to 0.508 g P pot⁻¹. At the end of the experiment, the mean P content was 57 ppm (0.632 g P pot⁻¹).

The initial soil K content was low (133 ppm, equivalent to 1.47 g K pot⁻¹). The quantities of K applied ranged from 0.327 g K pot⁻¹ to 0.985 g K pot⁻¹; at the end of the experiment the average K content was 187 ppm (2.08 g K pot⁻¹).

More N was leached in the treatments without the ryegrass than in the treatments with the crop. Beckwith *et al.* (1998) also reported that the presence of a growing crop reduced N leaching following the application of manure.

As expected, in treatments with the ryegrass, the highest PS dose led to the leaching of more accumulated N. However, if the percentage of leached N is compared to the N applied, the former appears to diminish with increasing PS dose (from 24% to 17%). Nevertheless, inhibiting nitrification appeared to have no effect except with the high dose treatment, and even then it was small, as Corr e and Zwart (1995) found with DCD. Shepherd (1996), using liquid digested sludge, found that the addition of DCD decreased N leachate losses from the October application.

The effect of PS on the net amount of N mineralised from the soil organic matter was unknown; this represented an important amount of N that remained unaccounted for in the experiment. Unaccounted N (N₂O emission and N mineralised from organic matter) decreased with increasing PS dose.

Contrary to the “priming effect”, the simplified apparent N mass balance for the 406 day period shows that the addition of PS (with or without DMPP) seems to reduce the net amount of N mineralised from the soil.

The results of this experiment provide preliminary information on the performance of DMPP in irrigated calcareous soils. Further research is needed to confirm and extend these interesting agronomic and environmental results.

5.- ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Ministry of Science and Technology of Spain for its financial support of this work (projects AGL2000-1363 and AGL2001-1323). E. Guillaumes was the recipient of a pre-doctoral grant from the University of Lleida. Dr. I. Romagosa (University of Lleida) made invaluable comments regarding the statistics used. The authors express their gratitude to Mr. Israel Carrasco of COMPO Agricultura S.L., who provided the DMPP solution, Dr. Rosa Teira (University of Lleida), who measured the ammonia emissions, and Dr. Pere Villar and Mr. Miquel Aran from the Soil Fertility and Analysis Laboratory (Diputació de Lleida) for their comments.

6.- REFERENCES

ADELI, A.; VARCO, J.J.; ROWE, D.E. 2003. Swine effluent irrigation rate and timing effects on Bermudagrass growth, nitrogen and phosphorus utilization, and residual soil nitrogen. *J Environ Qual* 32, pp. 681-686.

AMBERGER A. 1990. Use of organic wastes as fertilizers and its environmental implications. In: *Fertilization and the Environment* (Merckx, R., Vereecken, H., Vlassak, K. ed). Leuven University Press, Louvain, Belgium. pp. 314-329.

BALL-COELHO, B.R.; ROY, R.C. 1999. Enhanced ammonium sources to reduce nitrate leaching. *Nutr Cycl Agroecosys* 54, pp. 73-80.

BECKWITH, C.P.; COOPER, J.; SMITH, K.A.; SHEPHERD, M.A. 1998. Nitrate leaching loss following application of organic manures to sandy soils in arable cropping. I. Effects of application time, manure type, overwinter crop cover and nitrification inhibition. *Soil Use Manage* 14, pp. 123-130.

CARRASCO, I.; VILLAR, J.M. 2001. Field evaluation of DMPP as a nitrification inhibitor in the area irrigated by the Canal d'Urgell (Northeast Spain). In: *Plan nutrition-food security and sustainability of agro-ecosystems. Developments in Plant and Soil Sciences 92* (W.J. Horst *et al.*, eds). Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp. 764-765.

CONRAD, J. 2000. Eco-efficient fertilizers: an environmental innovation organised by a corporation and promoted by technology policy. *Forschungsstell für Umweltpolitik-report 00-03*. Frei Universität Berlin, Germany.

CORRÉ, W.J.; ZWART, K.B. 1995. Effects of DCD addition to slurry on nitrate leaching in sandy soils. *Neth J Agr Sci* 45, pp. 195-204.

DARP. 1999. *Estadístiques agràries i pesqueres de Catalunya*. Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya. Spain.

DAVIES, D.M.; WILLIAMS, P.J. 1995. The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide on nitrate leaching and ammonia volatilization: A UK nitrate sensitive areas perspective. *J Environ Manage* 45, pp. 263-272.

DI, H.J.; CAMERON, K.C.; MOORE, S.; SMITH N.P. 1998. Nitrate leaching and pasture yield following the application of dairy shed effluent or ammonium fertilizer under spray or flood irrigation: results of a lysimeter study. *Soil Use Manage* 14, pp. 209-214.

DITTERT, K.; BOL, R.; CHADWICK, D.; HATCH D. 2001. Nitrous oxide emissions from injected ¹⁵N-labelled cattle slurry into grassland soil as affected by DMPP nitrification inhibitor. In: Plan nutrition-food security and sustainability of agroecosystems. Developments in Plant and Soil Sciences 92 (W.J. Horst *et al.* ed.). Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp. 768-769.

DOGC. 1998. Ordre 22/10/98. Codi de Bones Pràctiques Agràries. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya No. 2761, 9/11/1998.

DOGC. 2001. Decret 220/2001. Gestió de les dejeccions ramaderes. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya No. 3447, 7/8/2001.

EUROPEAN COMMUNITY. 1991. Council Directive of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. 91/677/ECC, Legislation 1375/1-1375/8, European Community.

FRYE, W.W.; GRAETZ, D.A.; LOCASCIO, S.J.; REEVES, D.W.; TOUCHTON, J.T. 1989. Dicyandiamide as a nitrification inhibitor in crop production in the southeastern USA. *Commun Soil Sci Plant Anal* 20, pp. 1969-1999.

GREENWOOD, D.J.; DRAYCOTT, A. 1989. Experimental validation of an N-response model for widely different crops. *Fertil Res* 18, pp. 153-174.

LINZMEIER, W.; GUTSER, R.; SCHMIDHALTER, U. 2001. Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biol Fertil Soils* 34, pp. 103-108.

MALZER, G.L.; KELLING, K.A.; SCHMITT, M.A.; HOEFT, R.G.; RANDALL, G.W. 1989. Performance of dicyandiamide in north central states. *Commun Soil Sci Plant Anal* 20, pp. 2001-2022.

MALZER, G.L.; RANDALL, G.W. 1985. Influence of nitrification inhibitors, N source, and time of N application on yield and N utilization of maize. *J Fert Issues* 2, pp. 117-123.

MARTIN, H.W.; GRAETZ, D.A.; LOCASCIO, S.J.; HENSEL, D.R. 1997. Dicyandiamide effects on nitrification and total inorganic soil nitrogen in sandy soils. *Commun Soil Sci Plant Anal* 28, pp. 613-633.

MCCORMICK, R.A.; NELSON, D.W.; SUTTON, A.L.; HUBER D.M. 1984. Increased N efficiency from nitrapiryn added to liquid swine manure used as a fertilizer for maize. *Agron J* 76, pp. 1010-1014.

PASDA, G.; HÄHNDEL, R.; ZERULLA, W. 2001. Effect of fertilisers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpirazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol Fertil Soils* 34, pp.85-97.

PRASAD, R.; POWER, J.F. 1995. Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment. *Adv Agron* 54, pp. 233-281.

SAS INSTITUTE. 1999. SAS user's guide. Version 8. SAS Inst. Cary, NC.

SCHMITT, M.A.; EVANS, S.D.; RANDALL, G.W. 1995. Effect of liquid manure application methods on soil nitrogen and maize grain yields. *J Prod Agric* 8, pp. 186-189.

SCHRÖDER, J.J.; TEN HOLTE, L.; VAN KEULEN, H.; STEENVOORDEN, J.H.A.M. 1993. Effects of nitrification inhibitors and time and rate of slurry and fertilizer N application on silage maize yield and losses to the environment. *Fertil Res* 34, pp. 267-277.

SERNA, M.D.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E. 1994. Efficacy of dicyandiamide as a soil nitrification inhibitor in citrus production. *Soil Sci Soc Am J* 58, pp. 1817-1824.

SHEPHERD, M.A. 1996. Factors affecting nitrate leaching from sewage sludges applied to a sandy soil in arable agriculture. *Agric Ecosyst Environ* 58, pp. 171-185.

TEIRA-ESMATGES, M.R.; PAGANS-MIRÓ, E.; VILLAR-MIR, J.M. 2004. Effect of 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) addition on ammonia volatilisation from organic residues applied to soil. *Biol Fertil Soils* In press.

TITTARELLI, F.; CANALI, S.; BERTI, C.; BENEDETTI, A. 1997. Effects of dicyandiamide on nitrification in soil amended with animal slurries. *Agr Med* 127, pp. 44-48.

TRENKEL, M.E. 1997. Improving fertilizer use efficiency: controlled-released and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris. 151 pp.

YADVINDER-SINGH; BIJAY-SINGH; LADHA, J.K.; KHIND, C.S.; KHERA, T.S.; BUENO, C.S. 2004. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice-wheat rotation. *Soil Sci Soc Am J* 68, pp.854-864.

WALTERS, D.T.; MALZER, G.L. 1990. Nitrogen management and nitrification inhibitors effects on nitrogen-15 urea: II. Nitrogen leaching and balance. *Soil Sci Soc Am J* 54, pp. 122-130.

WEISKE, A.; BENCKISER, G.; HERBERT, T.; OTTOW J.C.G. 2001. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biol Fertil Soils* 34, pp. 109-117.

WILLIAMSON, J.C.; TAYLOR, M.D.; TORRENS, R.S.; VOJVODIC-VUKOVIC, M. 1998. Reducing nitrogen leaching from dairy farm effluent-irrigated pasture using dicyandiamide: a Lysimeter study. *Agric Ecosyst Environ* 69, pp. 81-88.

ZERULLA, W.; BARTH, T.; DRESSEL, J.; ERHARDT, K.; HORCHER VON
LOCQUENGIEN, K.; PASDA, G.; RÄDLE, M.; WISSEMEIER, A.H. 2001. 3,4-
dimethylpirazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and
horticulture. Biol Fertil Soils 34, pp. 79-84.

6. CAPITOL 2

**AVALUACIÓ DE L'EFECTE DEL INHIBIDOR DE LA
NITRIFICACIÓ DMPP UTILITZANT ELS TESTOS
MITSCHERLICH**

1. INTRODUCCIÓ

Degut a que les experiències de camp plantegen dificultats pel que fa al seguiment del N al sòl, es recorre als experiments amb testos. En els experiments amb testos, ens trobem davant d'un sistema menys complex, degut a la seva magnitud, que permet un major control del balanç de N. Es va portar a terme un primer assaig amb testos en raigràs (*Lolium perenne* L.) per tal d'avaluar l'efecte del DMPP en diferents dosis d'aplicació de purins de porc (Guillaumes i Villar, 2004). El raigràs és una espècie que cobreix el sòl amb rapidesa i que ens permet fer varis dalls podent avaluar així la seva resposta als diferents tractaments al llarg del temps.

Aquest experiment es planteja per tal de corroborar els resultats obtinguts en Guillaumes i Villar (2004) i incorporar altres tractaments, com l'aplicació de DMPP al sòl directament i els tractaments amb fertilitzant mineral. Per tal de verificar i ampliar informació sobre aquest inhibidor, a Espanya i Portugal, COMPO Agricultura S.L. ha estat i és la responsable de continuar les línies de treball del Centre de Limburgerhof mitjançant la posada en marxa d'una ampla xarxa d'assajos d'investigació agrària amb universitats i centres d'investigació.

Les variables estudiades per avaluar l'efecte del DMPP a nivell agronòmic i mediambiental, en aquest experiment amb testos, han estat: el rendiment del raigràs, la concentració de nutrients a la planta, els índexs d'eficiència en l'ús del N, la quantitat de nitrogen total lixiviat i el contingut de nitrats i d'amoni al sòl.

Els testos Mitscherlich, molt utilitzats en estudis de nutrició, sobretot a Alemanya són adients per aquest tipus d'investigació. La seva configuració, amb un plat estanc a sota del test permet mesurar la quantitat d'aigua drenada i la seva qualitat. D'aquesta manera es pot determinar la concentració de nitrogen en forma de nitrats i d'amoni i per tant el nitrogen mineral total que s'ha lixiviat. Això és fonamental per avaluar l'efecte dels inhibidors de la nitrificació, ja que aquesta és probablement la seva principal avantatge davant dels fertilitzants sense NI.

Per això s'ha plantejat aquesta investigació que té com a finalitat avaluar els efectes del DMPP. Els objectius d'aquest experiment amb testos són:

- Determinar els efectes del DMPP aplicat als purins de porc en la dinàmica del N i en el comportament del cultiu
- Determinar els efectes del DMPP en fertilitzants minerals en la dinàmica del N i en el comportament del cultiu.
- Determinar els efectes del DMPP aplicat directament al sòl en la dinàmica del N i en el comportament del cultiu

2. MATERIALS I MÈTODES

Aquest experiment amb testos es va portar a terme entre el 25 d'abril de 2003 i 18 d'agost del 2004. Les dimensions dels testos experimentals Mitscherlich, són de 20 cm



Fig 6.1. Visió de l'experiment de testos Mitscherlich

de diàmetre i 21 de profunditat (Fig 6.1). Van ser reomplerts amb terra d'un horitzó superficial d'un sòl calcari franc arenós. Algunes de les propietats físiques i químiques d'aquest sòl van ser analitzades al laboratori d'anàlisis i fertilitat de sòls de Sidamon (LAF) i es mostren a la Taula 6.1. El contingut en matèria orgànica va ser determinat mitjançant el mètode volumètric de Walkey- Black. El pH va ser mesurat

utilitzant la proporció en pes de 1:2,5 sòl/aigua. La conductivitat elèctrica va ser mesurada utilitzant la proporció 1:5 sòl/aigua. El carbonat càlcic equivalent va ser determinat amb el calcímetre de Bernard. El nitrat va ser extret utilitzant una proporció 1:5 sòl /aigua i es va fer la seva lectura amb l'autoanalitzador ICA (mètode colorimètric). L'amoni va ser extret amb KCl i determinat amb un espectofotòmetre d'ultravioleta visible. El P va ser determinat pel mètode Olsen, utilitzant també l'espectofotòmetre d'ultravioleta visible. El K, el Mg, el Ca, i el Na van ser extrets amb acetat amònic i mesurats amb el mètode ICP. Aquest substrat va ser sotmès a tres rentats abans de l'aplicació de fertilitzants, per tal de reduir el contingut de sals. El volum mig acumulat dels lixiviats va ser de 1466 mL i la mitjana de les pèrdues de N totals van ser de $0,18 \text{ g N test}^{-1}$, equivalent a 31,7 ppm.

Taula 6.1. Propietats inicials de la terra utilitzada en l'experiment amb testos

Paràmetres		Unitats
Matèria orgànica	29	g kg ⁻¹
pH (H ₂ O)	8,0	
Conductivitat elèctrica (1:5)	0,42	dS m ⁻¹ (25°C)
Carbonat Càlcic	150	g kg ⁻¹
NO ₃ ⁻ -N	59	mg kg ⁻¹
NH ₄ ⁺ -N	2	mg kg ⁻¹
P extraïble (mètode Olsen)	42	mg kg ⁻¹
K extraïble (NH ₄ -OAc)	214	mg kg ⁻¹
Mg extraïble (NH ₄ -OAc)	433	mg kg ⁻¹
Ca extraïble (NH ₄ -OAc)	5294	mg kg ⁻¹
Na extraïble (NH ₄ -OAc)	66	mg kg ⁻¹
Textura-USDA	Franc Arenós	
Sorra	62,2	%
Llim	21,2	%
Argila	16,6	%

Els 8 tractaments van ser:

- Control (C): sense aplicació de fertilitzants
- Control amb inhibidor de la nitrificació (C+IN): sense aplicació de fertilitzants, però amb l'aplicació de DMPP (Dosis equivalent a 4 L de solució 25% DMPP ha⁻¹, dosis recomanada per la BASF)
- Dosis baixa de purí (DB): aplicació de purins de porc equivalent a 30 m³ ha⁻¹

- Dosis baixa de purí amb inhibidor de la nitrificació (DB+IN): aplicació de purins de porc equivalent a 30 m³ purí ha⁻¹ més l'aplicació de DMPP (Dosis equivalent a 4 L de solució 25% DMPP ha⁻¹, dosis recomanada per la BASF)
- Dosis alta de purí (DA): aplicació de purins de porc equivalent a 60 m³ purí ha⁻¹
- Dosis alta de purí amb inhibidor de la nitrificació (DA+IN): aplicació de purins de porc equivalent a 60 m³ purí ha⁻¹ més l'aplicació de DMPP (Dosis equivalent a 4 L de solució 25% DMPP ha⁻¹, dosis recomanada per la BASF)
- Nitrosulfat amònic del 26 % (NSA) (Taula 6.2): aplicació de nitrosulfat amònic equivalent a 210 kg N ha⁻¹
- ENTEC del 26 % (ENTEC) (Taula 6.2): aplicació de nitrosulfat amònic amb DMPP (commercialment conegut en el mercat com ENTEC) equivalent a 210 kg N ha⁻¹

Taula 6.2. Riquesa del NSA (www.fertiberia.es) i de l'ENTEC ® 26 % (www.compo.es)

Riquesa garantitzada	NSA 26	ENTEC ® 26
Nitrogen total	26 %	26 %
Nitric	6,5 %	7,5 %
Amoniacal	19,5 %	*18,5 %

* Contingut en DMPP: 0.8 % respecte el N amoniacal.

Hi van haver dues aplicacions, una abans de sembrar, el 23 de maig de 2003, i l'altra just després del tercer dall, a l'1 de març del 2004. El purí va ser recollit d'una bassa de purins i es va analitzar prèviament a la seva aplicació. La seva composició i nutrients totals aportats es mostra a la Taula 6.3. La matèria seca es va determinar assecant el purí fresc a 105 °C almenys 48 h. El N-NH₄⁺ es va determinar sobre matèria fresca mitjançant el mètode Kjeldahl. El N-orgànic es va determinar amb el mètode Kjeldahl sobre matèria seca. El P i K van ser determinats mitjançant el mètode ICP, fent una digestió prèvia al microones.

Taula 6.3. Composició química del purí i nutrients totals aplicats en els diferents tractaments i aplicacions.

Composició	Primera aplicació (g test ⁻¹) 72 g m.s./ kg ⁻¹ purí fresc					Segona aplicació (g test ⁻¹) 123 g m.s./ kg ⁻¹ purí fresc				
	N _{tot} -N	NH ₄ -N	P	K	S	N _{tot} -N	NH ₄ -N	P	K	S
(expressat sobre m.s.)	135 g/kg ⁻¹	101 g/kg ⁻¹	22 g/kg ⁻¹	85 g/kg ⁻¹		70 g/kg ⁻¹	43 g/kg ⁻¹	14 g/kg ⁻¹	50 g/kg ⁻¹	
Tractament	Nutrients totals aplicats (g test⁻¹)									
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C+IN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DB	0,91	0,68	0,16	0,82	NA	0,81	0,50	0,16	0,58	NA
DB + IN	0,91	0,68	0,16	0,82	NA	0,81	0,50	0,16	0,58	NA
DA	1,83	1,37	0,31	1,64	NA	1,61	1,00	0,33	1,15	NA
DA + IN	1,83	1,37	0,31	1,64	NA	1,61	1,00	0,33	1,15	NA
NSA	0,66	0,49	-	-	0,38	0,66	0,49	-	-	0,38
ENTEC	0,66	0,47	-	-	0,33	0,66	0,47	-	-	0,33

En la primera aplicació es va mesurar el pH, la CE (1:5) i la matèria orgànica del purí, essent 7,7; 10,18 dS/m⁻¹ i 700 g/kg⁻¹ respectivament.

NA: no analitzat

Entre la primera i la segona aplicació es va analitzar el contingut de nitrats i amoni en l'aigua de drenatge. El nitrat va ser analitzat utilitzant l'autoanalitzador ICA, i l'amoni va ser determinat per l'espectrofotòmetre d'ultravioleta visible. Els lixiviats es van recollir el mateix dia de l'aplicació, i el dies 6, 21, 38, 48, 59, 69, 90, 117,150 i 180 després de l'aplicació.

Després de la segona aplicació la concentració de nitrats en l'aigua de drenatge va ser mesurada utilitzant un equip portàtil, el Nitratech® (Merck, Darmstadt, Alemanya).

Els lixiviats es van recollir els dies 22, 43, 56, 100, 114 i 169 després de la segona aplicació.

Després de 5 dies de la primera aplicació es va analitzar el contingut de nitrats i amoni dels primers 5 cm de sòl per observar l'efecte del DMPP. Degut a que la superfície de mostreig és petita ($0,0314 \text{ m}^2$) i que es tracta d'un mètode destructiu, el mostreig consisteix en agafar tres mostres en els primer 5 cm amb una barrena manual, per no crear vies preferent de l'aigua. Just abans de la segona aplicació es va tornar a mostrejar i es va analitzar el contingut de nitrats. Al final de l'experiment, es va mostrejar en tot el perfil del test (20 cm aprox.) i es va analitzar el contingut residual de N-NO_3^- , P, K, Cu, Zn, Mg, Ca i Na.

El cultiu utilitzat va ser el raigràs anglès (*Lolium perenne* L.) per ser un cultiu de germinació ràpida i en el que es poden fer varis dalls per veure l'efecte en el temps. El raigràs va ser dallat manualment amb tisores als dies 70, 131 i 215 després de la primera aplicació, i els dies 57, 115 i 170 després de la segona aplicació. Les mostres de biomassa van ser assecades a 65°C almenys 48 h. per determinar la matèria seca. La concentració de N va ser analitzada amb el mètode Kjeldahl, i els altres macro i micronutrients (P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, B, Na, Mn) mitjançant el mètode ICP.

Els índexs d'eficiència en l'ús del N que s'utilitzen en aquest capítol es defineixen a la taula 6.4, i són: el N aparentment recuperat (NREC) del raigràs, calculat com descriuen Greenwood *et al.* (1989), l'eficiència fisiològica (EF) i l'eficiència agronòmica (EA), calculats com descriuen Yadvinder-Singh *et al.* (2004). Pel càlcul d'aquests índexs les variables utilitzades són el rendiment de la part aèria, expressada en g matèria seca per test, el N absorbit per la part aèria de la planta, expressat en g N per test, i el N aplicat, com a N-NO_3^- i el N-NH_4^+ pels fertilitzants minerals i N-NH_4^+ i N-Kjeldahl pels purins, expressats en g N per test.

Taula 6. 4. Definició d'índexs d'eficiència del N utilitzats.

Índexs	Definició	Fòrmula
NREC	N aparentment recuperat (%)	$\frac{\text{N absorbit tract. fertilit.} - \text{N absorbit tract. control}^*}{\text{N aplicat}} \cdot 100$
EA	Eficiència Agronòmica (g biomassa g ⁻¹ N aplicat)	$\frac{\text{Rendiment tract. fertilit.} - \text{Rendiment tract. control}}{\text{N aplicat}}$
EF	Eficiència fisiològica (g biomassa g ⁻¹ N absorbit)	$\frac{\text{Rendiment tract. fertilit.} - \text{Rendiment tract. control}}{\text{N absorbit tract. fertilit.} - \text{N absorbit tract. control}}$

Amb totes les dades obtingudes es fa un balanç aproximat del nitrogen, tenint en compte la següent fórmula. Tots els components s'expressen en g N test⁻¹.

$$N_{\text{sòl inici}} + N_{\text{aplicat}} + N_{\text{mineralitzat}} = N_{\text{absorbit}} + N_{\text{lixiviat}} + N_{\text{sòl final}} + N_{\text{no comptabilitzat}}$$

Com a N no comptabilitzat es consideren les variables no mesurades com el N mineralitzat, les pèrdues per volatilització i les pèrdues per desnitrificació. Per tal de poder obtenir un ordre de magnitud d'aquestes variables, es considera que en el tractament control, el N volatilitzat i el desnitrificat són insignificants, de manera que obtenim un valor orientatiu del N mineralitzat, que es pot considerar similar en tots els tractaments. D'aquesta manera s'obté un ordre de magnitud de les pèrdues per volatilització i desnitrificació dels diferents tractaments.

Les dades van ser analitzades estadísticament mitjançant un anàlisi de variances (ANOVA) i es va fer una separació de mitjanes segons els test de Duncan, amb un nivell de significació del 5 %, utilitzant el sistema d'anàlisi estadístic SAS (SAS Intitute,1999)

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

Rendiment

Els rendiments obtinguts es mostren a la Fig 6.2. Cal destacar dos aspectes: la dosi de N aplicada i el tipus de fertilitzant que s'aplica. Hi ha un increment del rendiment respecte al control d'un 111 i d'un 170 % per la dosi baixa i alta de purins, respectivament. L'eficiència en l'ús del N és més alta en els fertilitzants minerals que en els purins, perquè tot i aportant un 23 % menys de N respecte a la dosi baixa de purí, els rendiments són superiors en un 12 %, essent la diferència significativa entre els tractaments de dosi baixa de purí i el tractament de l'ENTEC

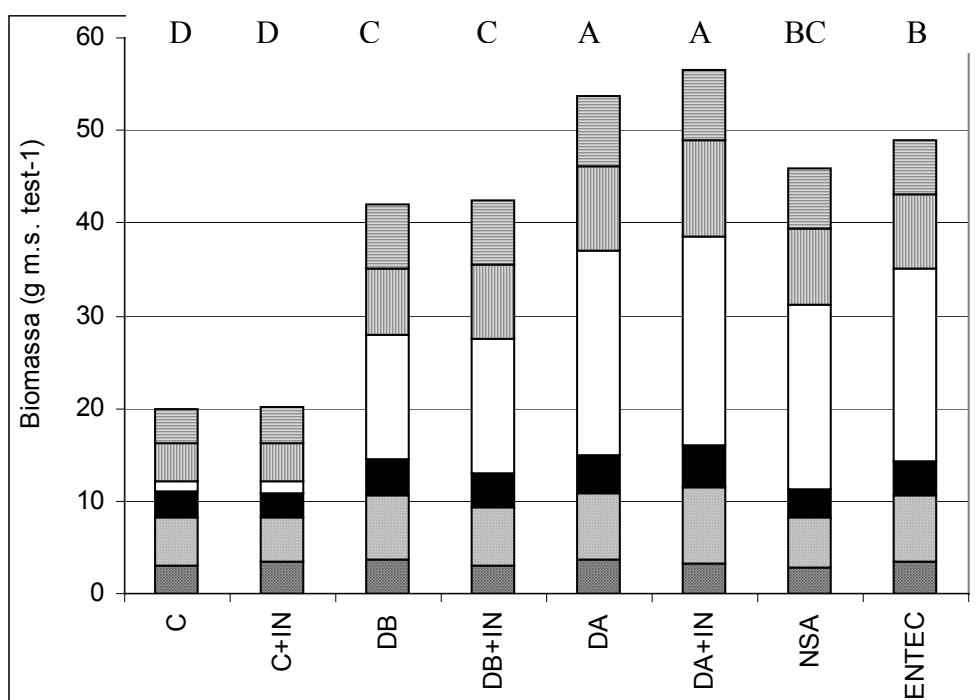


Fig. 6.2. Producció de biomassa acumulada en els diferents dalls, expressat en g de matèria seca test⁻¹ (quadrats: primer dall; diagonals: segon; negre: tercer; blanc: quart; vertical: cinquè; horitzontal: sisè). Les columnes encapçalades per diferents lletres, difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

El quart dall es dona just després de la segona aplicació de fertilitzant. Com es pot veure el cultiu aprofita ràpidament el fertilitzant ja que es troba en condicions idònies de temperatura i humitat (entrant a la primavera). A excepció del control, la biomassa recollida en el quart dall suposa un gran percentatge respecte a la biomassa total.

Concretament suposa un mitjana del 6,2 %, del 33,0%, del 41,6 i del 43,2 % de la biomassa total recollida en el tractament controls (C i C+IN), dosis baixa de purí (DB i DB+IN), dosis alta de purí (DA i DA+IN) i fertilitzants minerals (NSA i ENTEC), respectivament. No hi ha diferències significatives entre els mateixos tractaments amb inhibidor i sense.

Absorció de macro i micronutrients

La Fig. 6.3 mostra els resultats de l'absorció total de N,P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, B, Na i Mn, expressada en g nutrient test⁻¹. La concentració de nutrients a la planta durant l'experiment es mostra gràficament a la Fig. 6.4, i els valors de la concentració en cada dall es mostren a les taules 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 i 6.16 de l'Annex 1.

Les tendències del N absorbit total en cada dall i l'acumulat total, es veuen més influïdes pels rendiments, que per la concentració. La concentració mitjana de tots els tractaments en el primer dall és pràcticament el doble que en la resta dels dalls.

En tots els dalls, exceptuant el 5è, a més rendiment més concentració de nitrogen. S'ha de considerar que el raigràs és una espècie molt exigent en aigua i nitrogen. A nivell de N absorbit total acumulat (g N test⁻¹) es poden diferenciar significativament quatre grups a l'igual que el rendiment.

La mitjana de les extraccions totals acumulades en els sis dalls són de 0,73 g N test⁻¹, 0,15 g P test⁻¹, i 0,35 g K test⁻¹. La mitjana de les concentracions de N, P i K respecte a la matèria seca acumulada en els sis dalls és de 1,75 % pel N, 0,37 % pel P, i 2,5 % pel K. El nivell de concentració de N en planta crític indicador de deficiències de N és del 2 % en fulla

(http://www.concienciarural.com.ar/Articulos/Ganaderia/Verdeos_de_raigras_anual_/Art37.aspx). Les concentracions dels diferents macro i micronutrients durant els diferents dalls es mostren a l'annex d'aquest apartat.

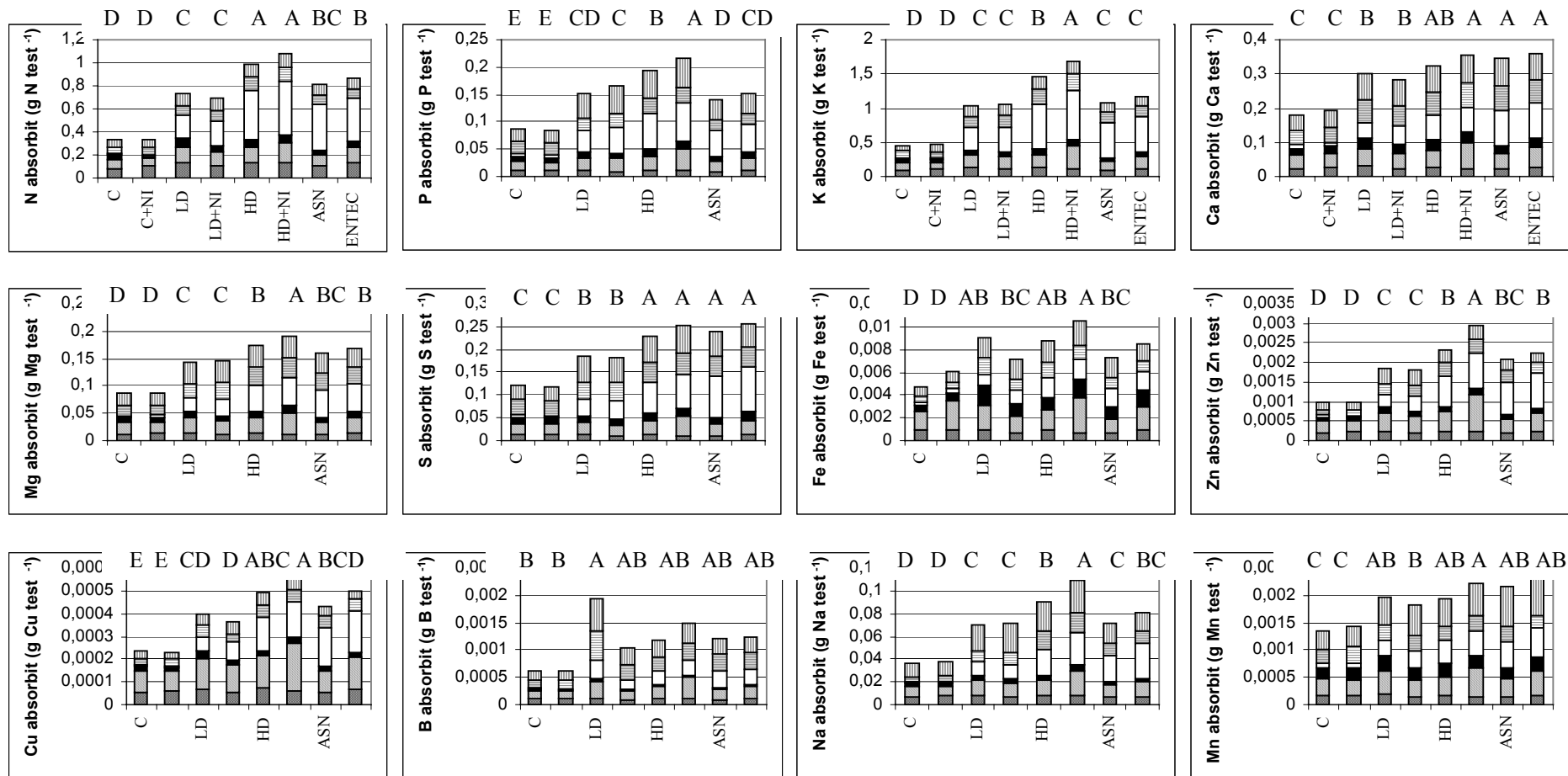


Fig. 6.3. Macro i micro nutrients absorbits acumulats en els diferents dalls (g test⁻¹) (quadrats: primer dall; diagonals: segons; negre: tercer; blanc: quart; vertical: cinquè; horitzontal: sisè) . Les columnes encapçalades per diferents lletres, difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

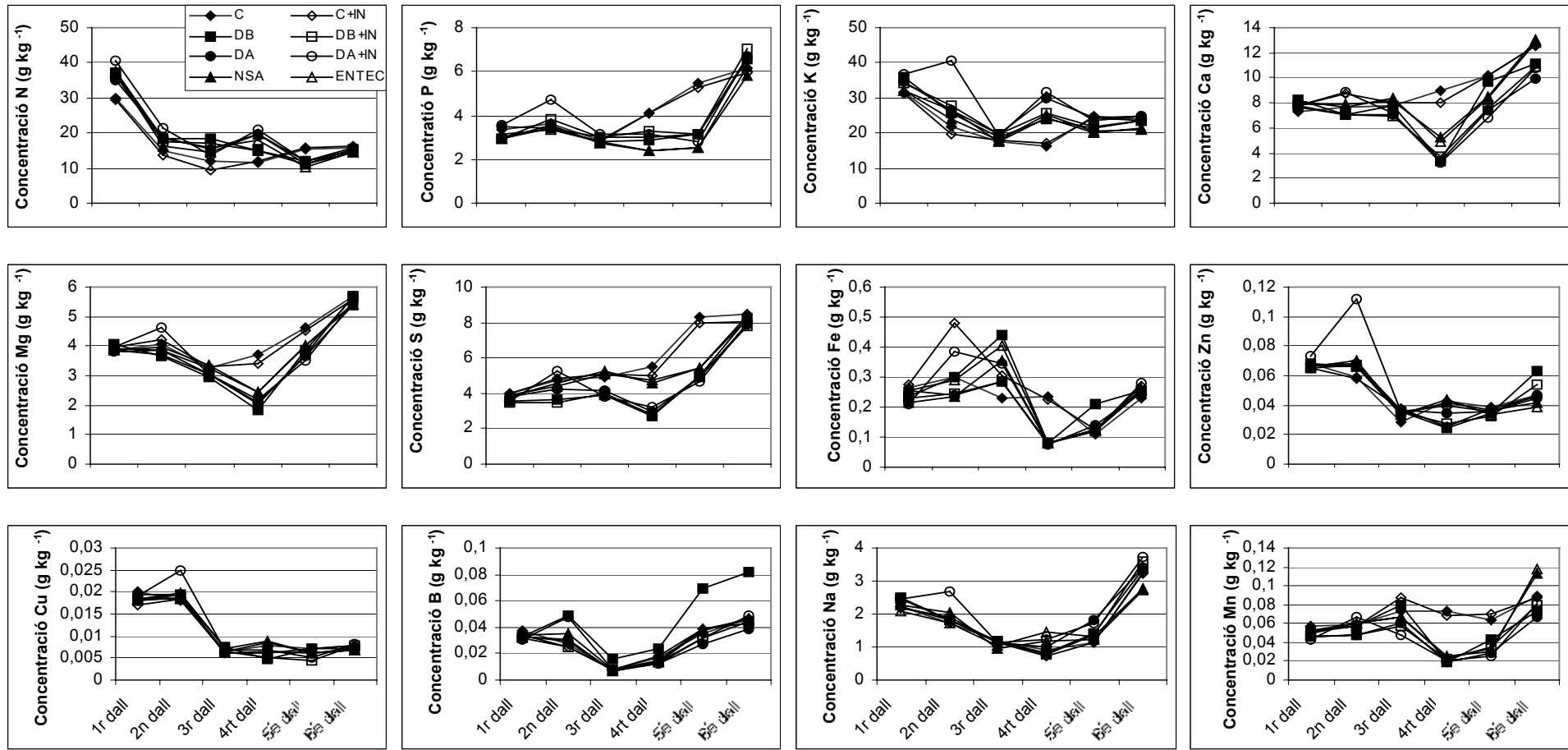


Fig. 6.4. Evolució de la concentració de macro i micronutrients (g kg⁻¹) en els diferents tractaments.

A la taula 6.5. es mostren els continguts de proteïna en els diferents tractaments i dalls. El contingut de proteïna crua s'estima per la tècnica de Kjeldahl (concentració nitrogen total * 6,2). Els efectes de la fertilització nitrogenada tenen un efecte important en el contingut de proteïna (Minson, 1990). Això es veu clarament després de la segona aplicació (dall 4). Garcia *et al.* (2002) mencionen que durant el període hivern-principis de primavera és el moment crític en la disponibilitat de N per la pastura i és quan es registra una important resposta a la fertilització nitrogenada. Aplicacions més tardanes, com va ser el cas de la primera aplicació, resulten en menors eficiències de l'ús del N aplicat.

El promig anual de proteïna crua en un estudi realitzat per Velasco-Zebadúaa *et al.* (2005) va ser de 20,3 % i conclouen que aquesta disminueix al augmentar l'interval entre dalls de 2 a 6 setmanes. La freqüència entre dalls del present experiment és molt més espaiat, disminuint de manera considerable el contingut de proteïna.

Taula 6.5. Contingut de proteïna al raigràs (g proteïna/100 g m.s).

Tractament	Dall 1	Dall 2	Dall 3	Dall 4	Dall 5	Dall 6
C	18,7 bc	9,3 cd	7,4 cd	7,2 d	9,6 a	9,9 a
C+IN	18,3 c	8,6 d	5,8 d	7,3 d	9,8 a	10,2 a
DB	23,1 a	11,4 abc	11,4 a	9,1 c	7,5 b	9,4 a
DB + IN	22,4 ab	11,0 bc	10,6 ab	9,2 c	7,0 b	9,5 a
DA	21,7 abc	11,7 abc	9,7 ab	12,2 ab	7,5 b	9,3 a
DA + IN	25,3 a	13,3 abc	8,4 bc	12,9 ab	7,3 b	9,9 a
NSA	23,0 a	10,0 bcd	9,1 bc	12,3 ab	6,8 b	9,0 a
ENTEC	23,4 a	11,3 abd	9,9 ab	11,2 a	6,4 b	9,1 a

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

Pasda *et al.* (2001) exposen que el DMPP millora la disponibilitat d'aquells elements que són transportats fins a la superfície de les arrels, com el P, Fe, Zn, Cu i Mn, ja que es produeix una acidificació a la zona de la rizosfera. En els tres primers dalls es veu un efecte clar d'aquesta millora de la disponibilitat de P en el tractament de DA+IN, essent en el segon dall diferent significativament de la resta dels tractaments. En el quart dall, 57 dies després de la segona aplicació, també es veuen diferències significatives en l'absorció de P entre el tractament de DB i DB+IN. A excepció del tractament C, en el P total absorbit (Fig. 6.3) es veu clarament un efecte positiu de l'addició del DMPP. En el cas del tractament DA+IN les diferències són significatives estadísticament.

En el sisè dall, es veu clarament que en els tractaments on no s'ha aportat fòsfor (C, C+IN; NSA i ENTEC) baixa relativament l'absorció total de fòsfor. En aquest mateix dall, la concentració de fòsfor mitjana de tots els tractaments, exceptuant els C i C+IN, és gairebé el doble que en els altres dalls.

En el cas del Zn també hi ha una millora significativa entre el tractament DA i DA+IN degut a l'addició del DMPP. No obstant, no és així en els altres tractaments. En el cas del Fe, del Cu i del Mn no es pot veure aquesta millora degut a l'addició de DMPP ni en l'absorció total (g test^{-1}), ni en la concentració (g kg^{-1}).

En l'absorció total acumulada de K es diferencien significativament quatre grups, els tractaments control (C i C+IN), el DA, el DA+IN, i la resta. En tots els casos els tractaments amb DMPP són lleugerament superiors, encara que només hi ha diferències significatives en el tractament DA+IN. S'aprecia l'aportació de potassi en la fertilització orgànica, sobretot en la concentració de K que es dona en el quart dall, després de la segona aplicació, en el tractament de DA i DA+IN. L'absorció total de K en els tractaments de DB i DB+IN és similar als tractaments amb fertilització mineral malgrat tenir uns rendiments lleugerament inferiors.

En el quart dall, després de la segona aplicació, s'observen clarament els efectes de la fertilització. La fig. 6.4 i annex 1, mostra com la concentració de Ca i Mg manifesten un

efecte antagònic amb el K (Havlin *et al.*, 2005). Les concentracions dels tractaments control són les més altes si es compara amb els altres tractaments. A nivell d'absorció total no es veu la diferència ja que el rendiment emmascara aquests resultats.

En el cas del Mg total absorbit, malgrat que en els diferents dalls no hi ha diferències significatives entre els tractaments amb DMPP i sense, sí que es veuen aquestes diferències entre el total acumulat de la DA+IN i la DA.

Pel que fa a l'absorció total acumulada de S, es pot veure com els tractament dels fertilitzants minerals s'equiparen al tractament de DA+IN i DA, degut a l'aportació de S, no gens despreciable, que reben els tractaments amb fertilitzants minerals (120 kg S ha⁻¹ en el cas del NSA i 105 kg S ha⁻¹ en el cas de l'ENTEC). En quan a la concentració de S en fulla en els diferents dalls, aquesta aportació de S s'aprecia respecte als altres tractaments, sobretot a partir de la segona aplicació de fertilitzants, a excepció del control, on degut a que els rendiments són molt baixos hi ha una gran concentració d'aquest element.

Si analitzem el Bor, tant en el contingut total absorbit com en la concentració, es veu un augment desmesurat en el tractament de DB en el cinquè i sisè dall. Això és degut a una de les repeticions, que ens dona valors de 170 ppm aproximadament. Comparat amb les altres repeticions, tenim un coeficient de variació del 98 i 73 % de manera que es pot considerar que hi ha hagut una contaminació de la mostra. Sense considerar aquest valor el coeficient de variació de la resta de testos no supera en aquests dos dalls el 20% el que indica que els valors són bastant similars en tots els tractaments.

Les diferències significatives entre l'absorció de Na total acumulada dels diversos tractaments són molt similars a les del K i es poden apreciar diferències significatives entre el tractament de DA i DA+IN. L'evolució de la concentració del Na es dispara en l'últim dall, com en el cas del P i del Mg.

Índexs d'eficència

Per l'avaluació de la resposta de les plantes a l'aplicació dels fertilitzants i a l'addició de l'inhibidor de la nitrificació DMPP es calculen diversos índexs d'eficiència definits en la Taula 6.4.

A la taula 6.6. s'observa com l'eficiència del N (NREC) dels fertilitzants minerals és millor que en els tractaments amb diferents dosis de purí donant valors pròxims al 40 %. Són valors relativament baixos comparats amb valors esmentats en la bibliografia per a farratges (Altom *et al.*, 1996; citat per Healthier *et al.*, 1998), essent valors fins i tot superiors al 60-70 %. En un experiment amb ^{15}N , el N recuperat del purí de porc pel cultiu de raigràs va ser del 29 % (Morvan *et al.*, 1997).

No hi ha diferències entre els tractaments amb fertilitzants minerals i fertilització amb purins en l'eficiència agronòmica (EA) ja que els valors són similars en tots els tractaments. Tot i així, es veu en tots els tractaments, una millora de l'EA degut a l'addició del DMPP, sobretot en els tractaments amb fertilitzant mineral. Això podria ser degut a la coexistència durant més temps de les formes nítrica i amoniacal al sòl. El creixement de la majoria de cultius es veu afavorit quan en el sòl preexisteixen ambdues formes de nitrogen (Maschner, 1995). La relació entre ambdues formes vé determinada per l'espècie, la varietat i l'edat de les plantes (Prasad i Power, 1995). Els millors resultats d'eficiència fisiològica (EF) es donen en els tractaments de dosi baixa de purí, essent $6,8 \text{ g m.s. g}^{-1}$ N absorbit superior quan s'afegeix el DMPP.

Taula 6.6. Resultats dels índexs d'eficiència en l'ús dels nutrients, calculats a partir de les mitjanes de cada tractament.

Tractament	NREC	EA	EF
	(%)	(g m.s. g⁻¹ N aplic.)	(g m.s. g⁻¹ N absor.)
C+IN	-	-	41,2
DB	23,5	12,9	54,7
DB + IN	21,4	13,2	61,5
DA	19,1	9,8	51,3
DA + IN	21,9	10,7	48,7
NSA	36,9	19,7	53,3
ENTEC	40,5	22,1	54,6

Lixiviació del nitrogen

Els resultats del contingut en N-NO_3^- i de N-NH_4^+ acumulat en els lixiviats es mostren a les fig. 6.5 i 6.6, respectivament. A la fig. 6.5. es veu com les pèrdues més significatives en els diferents tractaments són a l'inici de la implantació del cultiu, atribuïts a l'alta concentració de nitrats en el sòl degut a l'aplicació dels fertilitzants, juntament amb la baixa capacitat d'absorció del cultiu en aquest període. De fet, el contingut mitjà de nitrats recollits en els primers vuit lixiviats és el 92,25 % del total. Degut a aquest motiu, i que a partir d'aquest lixiviats comencen a faltar dades degut a la manca de drenatge en molts testos, s'expressen els resultats i l'anàlisi estadístic dels valors acumulats de nitrats i amoni recollits en aquest primers vuit lixiviats a la taula 6.7.

Taula 6.7. Resultats dels nitrats i amoni lixiviats acumulats fins al 8è lixiviat.

Tractament	Nitrats (g N test ⁻¹)	Amoni (g N test ⁻¹)
C	0,1142 DE	0,0011 B
C+IN	0,0877 E	0,0011 B
DB	0,2691 BC	0,0136 AB
DB + IN	0,1897 CD	0,0036 B
DA	0,3592 A	0,0135 AB
DA + IN	0,2500 C	0,0213 A
NSA	0,3648 A	0,0115 AB
ENTEC	0,3501 AB	0,0109 AB

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

La reducció del nitrogen lixiviats, degut a l'addició del DMPP és de 23,2; 29,5; 30,4 i 4,0 % pels tractaments C, DB, DA, i NSA, respectivament. Els resultats són significativament molt diferents a la DA+IN, suposant 32,3 kg N ha⁻¹ menys de pèrdues respecte al tractament sense inhibidor.

El N (nitrats+amoni) aparentment rentat en els primers 8 lixiviats respecte al N aplicat en la primera aplicació $[(N_{\text{lixiviat cultiu fertilit.}} - N_{\text{lixiviat cultiu control}}) * 100 / N_{\text{aplicat}}]$, va ser de 18,4; 8,6; 14,1; 8,5; 39,5 i 37,2 % per DB, DB+IN, DA, DA+IN, NSA i ENTEC, respectivament. En primer lloc es poden destacar els valors superiors al 35 % del N rentat respecte al N aplicat en els fertilitzants minerals. És sobretot en els dos primers lixiviats, on les pèrdues ja superen el 30 % del N total aplicat. En canvi, en els purins, sobretot en els tractaments sense inhibidor, els valors comencen a guanyar importància en el tercer

mostreig. Cal destacar que hi ha una millora significativa d'aquest índex degut a l'aplicació del DMPP en la fertilització amb purins.

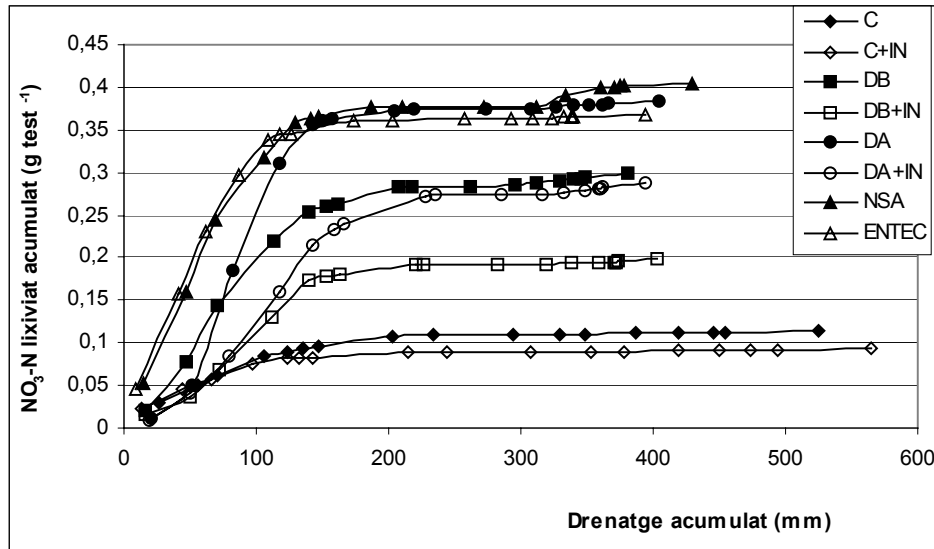


Figura 6.5. N-NO_3^- llixiviats acumulats a l'aigua de drenatge.

Quant a la figura 6.6 cal destacar l'escala respecte als nitrats, essent el resultat poc representatiu respecte a les pèrdues totals de N. No obstant, es creu important destacar els valors obtinguts d'amoni als llixiviats en el tractament de DA+IN que despunta especialment del tractament DA, a partir del tercer i quart llixiviats degut a l'acció de l'inhibidor de la nitrificació, essent 21 i 38 dies, respectivament, després de l'aplicació dels purins.

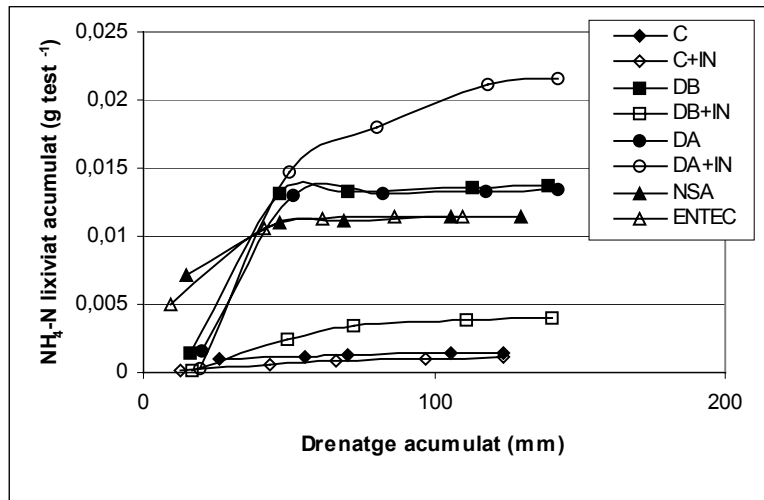


Figura 6.6. N-NH_4^+ llixiviada acumulada a l'aigua de drenatge

Contingut de nutrients al sòl

Els continguts de nitrats i d'amoni al sòl, 5 dies després de la primera aplicació es mostren a la taula 6.8. En el contingut de nitrats es diferencien clarament els fertilitzants minerals de la resta degut a l'aportació de N en forma de nitrats. I tot i que l'ENTEC té un percentatge lleugerament superior de N en forma nítrica que el NSA (taula 6.2) es veu com el procés de la nitrificació és més lent, ja que el contingut de nitrats al sòl és significativament inferior al cap de 5 dies després de la seva aplicació. Zerulla *et al.* (2001), van demostrar que es mantenia més temps el N-NH_4^+ pel fet d'afegir DMPP, i segons les condicions, l'efecte es veia fins a 10 setmanes després de l'aplicació. Pels resultats obtinguts es podria estimar que el procés de nitrificació en el cas dels purins és més lent que en el cas de la fertilització mineral. Pel que fa als tractaments amb purins, malgrat no haver-hi diferències significatives entre tractaments amb o sense inhibidor, crida l'atenció que els continguts de nitrats i d'amoni fossin lleugerament inferiors en els tractaments amb inhibidor. En el cas dels nitrats, s'explicaria per l'efecte de l'inhibició de la nitrificació, però semblaria que s'hauria de veure contrastat per uns nivells d'amoni lleugerament superiors, i aquest fenomen no s'aprecia.

Taula 6.8. Contingut de nitrats i amoni al sòl 5 dies després de la primera aplicació.

Tractament	Nitrat i amoni (ppm) 5 dies després 1a aplicació	
	NO ₃ -N	NH ₄ -N
C	15,0 CD	2,1 E
C+IN	11,6 CD	3,6 E
DB	25,4 C	268,2 BC
DB + IN	13,3 CD	192,6 BCD
DA	20,9 CD	432,0 A
DA + IN	8,5 D	330,6 AB
NSA	94,0 A	83,2DE
ENTEC	60,1 B	117,2 CDE

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

Abans de la segona aplicació de fertilitzants la mitjana de tots els tractaments del contingut de nitrats al sòl és de 2,3 ppm, sense diferències significatives entre els tractaments ja que el cultiu es troba en vigorós creixement.

A la taula 6.9 també s'observen els valors dels continguts de N-NO₃⁻, P, K, Na, Cu, Zn, Mg i Ca residual al sòl després de l'últim dall.

Taula 6.9. Contingut de N, P, K Cu, Zn, Mg i Ca residual al final de l'experiment.

Tractament	Contingut residual (ppm)							
	NO ₃ -N	P	K	Na	Cu	Zn	Mg	Ca
C	2,8 A	41,5 C	168,0 BC	77,0 B	26,3 AB	108,8 A	458,50 A	6468,8 A
C+IN	2,8 A	38,5 C	121,0 CD	80,0 B	24,8 B	100,5 A	415,50 AB	6201,3 AB
DB	2,8 A	48,8 B	193,0 AB	97,3 A	26,5 AB	105,8 A	417,25 AB	5962,0 AB
DB + IN	3,0 A	56,0 A	180,8 AB	103,8 A	28,8 A	106,5 A	410,25 AB	5716,0 BC
DA	2,5 A	54,8 AB	230,8 A	107,8 A	29,3 A	107,0 A	410,75 AB	5593,8 BC
DA + IN	2,8 A	52,0 AB	214,3 AB	103,5 A	29,0 A	110,5 A	410,25 AB	5259,5 C
NSA	2,8 A	28,5 D	83,5 D	67,8 B	24,3 B	120,0 A	350,0 C	5746,3 BC
ENTEC	3,0 A	27,8 D	83,0 D	74,3 B	24,8 B	103,5 A	371,75 BC	5920,3 AB

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

Amb l'aplicació de purins, a part de N, s'aporten altres elements, alguns dels quals es troben representats a la taula 6.9. En general, es veuen diferències significatives entre els tractaments amb purins i la resta en quan al P, al K, al Na i al Cu. En els tractaments amb fertilitzants minerals, hi ha una disminució considerable del contingut de P, de K, i de Mg en el sòl al final de l'experiment respecte als nivells inicials (Taula 6.1)

Balanç de nitrogen

A la taula 6.10 s'expressa un balanç estimatiu del N. L'ordre de magnitud del N no comptabilitzat, és molt superior en els tractaments amb purí que en els tractaments amb fertilitzants minerals, i es pot atribuir bàsicament a les pèrdues per volatilització i

desnitrificació, no mesurades. Segurament es deu a unes pèrdues majors per volatilització perquè just després de la primera aplicació s'enterra el purí a uns 5 cm, però durant la segona aplicació no es pot enterrar perquè ja hi ha el cultiu implantat. No es detecten grans diferències entre els tractaments amb DMPP i sense. Les pèrdues en funció de N aplicat són de l'ordre del 67,4; 74,3; 73,4; 73,4; 41,8 i 41,8, % pels tractaments de DB, DB+IN, DA, DA+IN, NSA i ENTEC, respectivament.

Taula 6.10. Balanç de nitrogen expressat en g N test⁻¹.

Tractament	N _{inicial}	N _{aplicat}	N _{absorbit}	N _{lixiviati}	N _{residual}	N _{min} ⁽¹⁾	N _{unaccounted}
C	0,3292	0,0000	0,3295	0,1148	0,0151	0,1303	0
C+IN	0,3454	0,0000	0,3358	0,0944	0,0161	0,1303	0,0293
DB	0,3572	1,7200	0,7334	0,2984	0,0167	0,1303	1,1589
DB + IN	0,3412	1,7200	0,6979	0,1979	0,0174	0,1303	1,2783
DA	0,3426	3,4400	0,9880	0,3847	0,0146	0,1303	2,5256
DA + IN	0,3406	3,4400	1,0825	0,2868	0,0158	0,1303	2,5257
NSA	0,3383	1,3200	0,8168	0,4046	0,0158	0,1303	0,5514
ENTEC	0,3458	1,3200	0,8639	0,3687	0,0176	0,1303	0,5460

(1) N min es calcula considerant que en el tractament control el N no comptabilitzat, o sigui les pèrdues per volatilització i desnitrificació bàsicament, són nul·les. I també es considera que N min és igual per tots els tractaments

4. CONCLUSIONS

Els rendiments i els macronutrients absorbits pel raigràs responen clarament a la quantitat de N aplicat independentment de la seva forma. No es mostra cap efecte considerable en les diferents variables estudiades pel fet d'aplicar el DMPP en el tractament control. L'efecte del DMPP és significatiu en la reducció de les pèrdues per lixiviació en els tractaments amb purí, sobretot en el tractament de DA. No obstant, l'efecte del DMPP no és consistent en altres components com la producció de biomassa, l'absorció de nutrients i els índexs d'eficiència. En alguns tractaments es pot observar com el DMPP dona un efecte positiu en la biomassa, el N i el P absorbit i la interacció N/K. Es pot destacar una millor eficiència dels fertilitzants minerals respecte al purins, mostrant-se millor NREC, EA i EF i menys $N_{\text{no comptabilitzat}}$ en el balanç. No hi ha diferències significatives en les variables estudiades entre els tractaments amb DMPP i sense, a partir de la segona aplicació de fertilitzants. No hi ha un efecte acumulatiu de l'acció del DMPP. És més, en el cas del lixiviats, no s'aprecien diferències entre els tractaments a partir de la segona aplicació perquè el cultiu està implantat i les pèrdues per lixiviació són mínimes. Si es detecten diferències significatives en el N absorbit acumulat en els últims tres dalls (posteriors a la segona aplicació) pel raigràs entre el tractament DA i DA+NI. L'efectivitat dels inhibidors de la nitrificació, incloent el DMPP, està fortament lligada a la temperatura del sòl (Zerulla *et al.*, 2001). Això pot haver influït en els resultats de l'experiment, ja que la primera aplicació es fa al maig i la segona al març.

5.- REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

GARCÍA, F.; MICUCCI, F.; RUBIO, G.; RUFFO, M.; DAVEREDE, I. 2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). (<http://www.agro.uba.ar/~garbulsk/PublicacionPasturas1Mar02.pdf>)

GREENWOOD, D.J.; DRAYCOTT, A. 1989. Experimental validation of an N-response model for widely different crops. *Fertil Res* 18, pp. 153-174

GUILLAUMES, E.; VILLAR, J.M. 2004. Effects of DMPP on the growth and chemical composition of ryegrass (*Lolium perenne* L.) raised on calcareous soil. *Spanish journal of agricultural research*. Vol 2(4), pp. 588-596

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 2005. *Soil Fertility and Nutrient Management: An Introduction to Nutrient Management*. 7th Edition. 515 p. Pearson/Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.

HEALTHER, L.; TAYLOR, S.; LaRUFFA, J.; THOMASON, W. *Soil-plant cycling and environmental quality*. OSU 1998

MASCHNER, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. Academic Press, New York

MINSON, D.J. 1990 *Forage in ruminant nutrition*. Academia Press Inc., San Diego, California, USA. 483 pp.

MORVAN, T.; LETERME, P.; ARSÈNE, G.G.; MARY, B. 1997. Nitrogen transformations after the spreading of pig slurry on bare soil and ryegrass using ¹⁵N-labelled ammonium. *Eur. J. Agron.* 7, pp. 181–188

PASDA, G.; HÄHNDEL, R.; ZERULLA, W. 2001. Effect of fertilisers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimetilpirazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol Fertil Soils* 34, pp. 85-97

PRASAD, R.; POWER, J.F. 1995. Nitrification Inhibitors for agriculture, health, and the environment. *Adv. in Agron.* 54, pp. 233-281

SAS Institute, 1999. *SAS user's guide*. Version 8. SAS Inst. Cary, NC.

VELASCO-ZEBADÚAA, M.E.; HERNÁNDEZ-GARAYB, A; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V.A. 2005. Rendimiento y valor nutritivo del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. *Técnica Pecuària México* 43(2) pp. 247-258

YADVINDER-SINGH; BIJAY-SINGH; LADHA, J.K.; KHIND, C.S.; KHERA, T.S.; BUENO, C.S., 2004. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice-wheat rotation. *Soil Sci Soc Am J* 68, pp. 854-864

ZERULLA, W.; BARTH, T.; DRESSEL, J.; ERHARDT, K.; HORCHER VON LOCQUENGHEN, K.; PASDA, G.; RÄDLE, M.; WISSEMEIER, A.H. 2001. 3,4-dimethylpirazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biol Fertil Soils* 34, pp.79-84

ANNEX 1

Taula 6.11. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del primer dall

Tractament	Concentració (%)						Concentració (ppm)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	B	Na	Mn
C	3,01 bc	0,34 abc	3,15 c	0,73 a	0,39 a	0,40 a	263,25 a	68,00 a	20,25 a	37,25 a	2241,75 a	56,50 a
C+IN	2,95 c	0,30 bc	3,10 c	0,78 a	0,40 a	0,40 a	277,25 a	65,25 a	17,00 a	34,25 a	2176,25 a	51,50 ab
DB	3,73 a	0,29 c	3,60 ab	0,82 a	0,41 a	0,35 a	236,00 a	68,00 a	18,00 a	32,75 a	2495,00 a	52,25 ab
DB + IN	3,62 ab	0,29 c	3,41 ab	0,78 a	0,39 a	0,35 a	232,25 a	65,00 a	18,00 a	32,00 a	2445,75 a	45,75 b
DA	3,50 abc	0,35 ab	3,46 ab	0,76 a	0,38 a	0,38 a	255,25 a	67,50 a	19,50 a	32,50 a	2243,75 a	46,25 ab
DA + IN	4,08 a	0,36 a	3,67 a	0,78 a	0,40 a	0,36 a	207,75 a	73,25 a	19,25 a	31,25 a	2457,00 a	42,50 b
NSA	3,71 a	0,29 c	3,22 bc	0,79 a	0,39 a	0,38 a	217,25 a	66,25 a	18,25 a	34,25 a	2266,25 a	50,00 ab
ENTEC	3,78 a	0,31 abc	3,23 bc	0,82 a	0,39 a	0,39 a	254,50 a	66,75 a	18,50 a	33,00 a	2102,25 a	52,00 ab

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

Taula 6.12. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del segon dall

Tractament	Concentració (%)						Concentració (ppm)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	B	Na	Mn
C	1,51 cd	0,36 ab	2,19 b	0,76 a	0,41 a	0,48 ab	301,50 a	59,25 b	18,00 b	26,75 a	1725,25 b	59,25 a
C+IN	1,38 c	0,34 b	1,95 b	0,87 a	0,42 a	0,48 ab	478,25 a	58,00 b	18,50 b	25,25 a	1901,25 b	58,00 a
DB	1,84 abc	0,34 b	2,58 b	0,71 a	0,37 a	0,36 b	301,25 a	66,00 b	19,50 b	49,25 a	1818,50 b	56,50 a
DB + IN	1,77 bc	0,38 ab	2,76 b	0,71 a	0,37 a	0,35 b	244,25 a	67,50 b	18,75b	24,50 a	1825,00 b	48,00 a
DA	1,88 ab	0,35 b	2,65 b	0,70 a	0,39 a	0,43 ab	240,50 a	68,25 b	19,50 b	29,25 a	1834,75 b	48,25 a
DA + IN	2,14 a	0,47 a	4,06 a	0,89 a	0,46 a	0,52 a	386,75 a	111,50 a	24,75 a	48,25 a	2667,50 a	67,00 a
NSA	1,62 bcd	0,35 b	2,40 b	0,80 a	0,40 a	0,46 ab	232,75 a	69,75 b	18,25 b	34,75 a	2026,75 b	60,50 a
ENTEC	1,82 abc	0,33 b	2,63 b	0,77 a	0,39 a	0,44 ab	288,50 a	65,75 b	19,75 b	31,25 a	1708,25 b	61,25 a

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

Taula 6.13. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del tercer dall

Tractament	Concentració (%)						Concentració (ppm)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	B	Na	Mn
C	1,19 cd	0,29 bc	1,74 c	0,78 ab	0,33 ab	0,49 a	230,25 c	28,75 b	6,50 bc	8,00 ab	1165,00 a	72,75 ab
C+IN	0,93 d	0,28 bc	1,78 bc	0,80 a	0,33 a	0,51 a	303,50 bc	37,50 a	6,25c	8,00 ab	1144,75 a	87,75 a
DB	1,85 a	0,28 bc	1,88 ab	0,78 ab	0,30 b	0,39 b	442,00 a	35,75 a	7,50 a	15,75 a	1179,25 a	80,00 ab
DB + IN	1,71 ab	0,30 ab	1,96 a	0,69 c	0,31ab	0,40 b	285,00 bc	35,75 a	6,50 bc	7,75 ab	1166,25 a	58,00 bc
DA	1,56 ab	0,30 ab	1,95 a	0,71 bc	0,31 ab	0,42 b	285,50 bc	36,50 a	6,00 c	7,00 b	1156,25 a	60,25 bc
DA + IN	1,36 bc	0,32 a	1,94 a	0,72 bc	0,31 ab	0,38 b	345,50 abc	35,75 a	6,75 abc	8,00 ab	1150,50 a	47,50 c
NSA	1,47 bc	0,28 c	1,81 bc	0,81 a	0,34 a	0,53 a	352,75 abc	33,50 ab	6,50 bc	8,00 ab	956,00 a	66,75 abc
ENTEC	1,60 ab	0,28 bc	1,75 c	0,83 a	0,33 ab	0,51 a	403,25 ab	34,00 ab	7,25 ab	6,75 b	1053,75 a	66,75 abc

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

Taula 6.14. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del quart dall

Tractament	Concentració (%)						Concentració (ppm)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	B	Na	Mn
C	1,17 d	0,41 a	1,64 c	0,89 a	0,37 a	0,55 a	234,25 a	42,25 a	7,75 abc	16,75 a	920,25 cde	73,00 a
C+IN	1,18 d	0,41 a	1,71 c	0,81 b	0,34 b	0,50 b	225,25 a	25,25 b	6,25 abc	18,50 a	714,75 e	68,25 a
DB	1,48 c	0,29 c	2,40 b	0,34 d	0,19 e	0,28 c	77,75 b	24,75 b	4,75 c	24,00 a	824,50 de	19,25 b
DB + IN	1,48 c	0,33 b	2,55 b	0,37 d	0,20 de	0,28 c	81,25 b	27,00 b	5,25 bc	13,25 a	790,25 de	22,75 b
DA	1,97 ab	0,30 bc	2,98 a	0,33 d	0,21 de	0,30 c	77,00 b	35,00 a	6,50 abc	12,25 a	1014,00 bcd	19,00 b
DA + IN	2,08 a	0,31 bc	3,15 a	0,33 d	0,22 d	0,32 c	79,00 b	40,00 a	6,75 abc	12,00 a	1235,50 ab	20,25 b
NSA	1,98 ab	0,24 d	2,53 b	0,53 c	0,25 c	0,46 b	80,50 b	42,00 a	8,50 ab	14,75 a	1174,00 bc	24,25 b
ENTEC	1,80 b	0,24 d	2,44 b	0,49 c	0,24 c	0,48 b	79,00 b	43,50 a	8,75 a	14,00 a	1456,50 a	25,75 b

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

Taula 6.15. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del cinquè dall

Tractament	Concentració (%)						Concentració (ppm)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	B	Na	Mn
C	1,55 a	0,55 a	2,48 a	1,01 a	0,46 a	0,83 a	110,50 b	38,75 a	7,00 ab	35,50 ab	1146,75 c	64,25 a
C+IN	1,59 a	0,53 a	2,44 ab	1,02 a	0,46 a	0,80 a	125,75 b	38,00 a	7,00 ab	39,00 ab	1157,50 c	70,50 a
DB	1,21 b	0,32 b	2,15 bc	0,97 ab	0,39 bc	0,50 b	209,75 a	34,25 a	7,25 a	69,50 a	1413,75 b	43,00 b
DB + IN	1,13 b	0,32 b	2,17 bc	0,76 bc	0,37 bc	0,49 b	124,50 b	32,75 a	4,50 b	32,25 ab	1372,75 bc	34,25 b
DA	1,21 b	0,31 b	2,44 ab	0,74 c	0,37 bc	0,49 b	141,50 b	35,75 a	6,25 ab	27,75 b	1814,00 a	28,00 b
DA + IN	1,18 b	0,28 b	2,34 ab	0,69 c	0,35 c	0,47 b	120,00 b	35,25 a	5,25 ab	31,50 ab	1740,25 a	25,25 b
NSA	1,09 b	0,25 b	2,05 c	0,86 abc	0,40 b	0,55 b	125,50 b	36,75 a	6,25 ab	38,25 ab	1208,00 bc	33,50 b
ENTEC	1,04 b	0,26 b	2,02 c	0,83 abc	0,40 b	0,54 b	119,50 b	33,25 a	6,00 ab	38,00 ab	1325,25 bc	30,50 b

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

Taula 6.16. Concentració en planta, expressat en percentatge o en ppm, del sisé dall

Tractament	Concentració (%)						Concentració (ppm)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	B	Na	Mn
C	1,60 a	0,62 a	2,39 ab	1,26 a	0,57 a	0,85 a	227,75 a	47,25 bc	8,00 a	46,50 b	3268,75 ab	89,50 abc
C+IN	1,64 a	0,60 a	2,33 abc	1,25 a	0,56 a	0,81 a	269,00 a	46,25 bc	7,75 a	43,75 b	3237,00 ab	87,75 abc
DB	1,51 a	0,66 a	2,37 abc	1,12 b	0,56 a	0,82 a	253,50 a	63,25 a	7,25 a	81,50 a	3348,25 ab	73,00 c
DB + IN	1,53 a	0,71 a	2,34 abc	1,09 b	0,57 a	0,78 a	252,25 a	53,75 b	7,75 a	44,00 b	3577,75 a	80,25 bc
DA	1,50 a	0,67 a	2,50 a	1,00 b	0,54 a	0,79 a	252,25 a	45,25 bc	7,25 a	39,00 b	3411,50 a	67,50 c
DA + IN	1,60 a	0,67 a	2,47 a	1,07 b	0,55 a	0,80 a	279,25 a	47,25 bc	8,25 a	48,75 b	3723,50 a	80,50 bc
NSA	1,45 a	0,58 a	2,11 c	1,30 a	0,54 a	0,82 a	261,50 a	41,75 c	6,75 a	45,25 b	2734,25 b	113,00 ab
ENTEC	1,46 a	0,62 a	2,15 bc	1,28 a	0,54 a	0,84 a	252,75 a	38,50 c	6,75 a	46,50 b	2765,50 b	118,25 a

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

Taula 6.17. Biomassa aèria produïda, expressat en g test-1, dels diferents dalls.

Tractament	Primer dall (g test-1)	Segon dall (g test-1)	Tercer dall (g test-1)	Quart dall (g test-1)	Cinqué dall (g test-1)	Sisé dall (g test-1)
C	3,01 a	5,19 bc	2,74 bc	1,20 e	4,00 d	3,75 d
C+IN	3,50 a	4,72 c	2,50 c	1,30 e	4,25 d	3,88 d
DB	3,61 a	7,04 abc	3,90 a	13,51 d	7,13 c	6,83 ab
DB + IN	3,00 a	6,40 abc	3,63 ab	14,43 d	8,13 bc	6,95 ab
DA	3,66 a	7,19 ab	4,02 a	22,09 ab	9,25 ab	7,45 ab
DA + IN	3,21 a	8,26 a	4,51 a	22,65 a	10,38 a	7,58 a
NSA	2,83 a	5,48 bc	2,85 bc	20,10 c	8,13 bc	6,45 bc
ENTEC	3,49 a	7,14 ab	3,58 ab	20,88 bc	8,13 bc	5,83 c

Les lletres entre columnes són diferents si els tractaments difereixen significativament segons el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

ANNEX 2

Using Mitscherlich Pots to assess the use of Nitrification Inhibitors in Mineral Fertilizers and on Pig Slurry

Extended abstract in 15 th NITROGEN WORKSHOP. TOWARDS A BETTER EFFICIENCY IN N US (pendent de publicació).

Elisenda Guillaumes, Gemma Murillo, Marta Marco, Josep M Villar
Environment and Soil Science Department. University of Lleida. jmvillar@macs.udl.es

Abstract

This paper reports an outdoor experiment (performed in pots) to determine the influence of the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), when added to pig slurry or mineral fertiliser, on the growth and chemical composition of ryegrass, and on the N leached. Treatments were unfertilised control (C), unfertilised control + 4 L DMPP ha⁻¹ (C+NI), pig slurry, 30 m³ ha⁻¹, (LD), pig slurry, 30 m³ ha⁻¹, + 4 L DMPP ha⁻¹ (LD+NI), pig slurry, 60 m³ ha⁻¹, (HD), pig slurry, 60 m³ ha⁻¹, + 4 L DMPP ha⁻¹, (HD+NI), ammonium sulphate-nitrate (26%N, 15%S) 210 kgNha⁻¹, (ASN), ENTEC (ASN + DMPP) (26%N), 210 kg N ha⁻¹, (ENTEC). Mineral fertiliser treatments (total applied 420 kgNha⁻¹) obtained an increasing of 12 % yield than pig slurry fertiliser (total applied in LD treatment: 467 kgNha⁻¹). There were no significant differences in yield for DMPP addition. The inhibition of nitrification with DMPP reduced N leaching by 20%.

Keywords: DMPP, ryegrass, N leaching, nutrient uptake

Background and Objectives

The compound 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) is a new nitrification inhibitor developed by BASF (Germany) in cooperation with a number of universities and research institutes (Zerulla *et al.*, 2001). A preliminary pot experiment was carried out from June 2001 to September 2002 to assess the agronomic and environmental effects of DMPP when added to Pig Slurry (Guillaumes and Villar, 2004). The main objective of this work was to assess the effect of DMPP added to either N mineral fertiliser or pig slurry on ryegrass biomass yield, nutrient uptake and N leaching.

Material and Methods

The experiment was performed using Mitscherlich pots (Stoma, Germany) and conducted from May 2003 to August 2004. Pots containing a loam sandy calcareous soil. The treatments were: Unfertilised control (C), Unfertilised control + 4 L DMPP ha⁻¹ (C+NI), Pig slurry, 30 m³ ha⁻¹, (LD), Pig slurry, 30 m³ ha⁻¹, + 4 L DMPP ha⁻¹ (LD+NI), Pig slurry, 60 m³ ha⁻¹, (HD), Pig slurry, 60 m³ ha⁻¹, + 4 L DMPP ha⁻¹, (HD+NI), Ammonium sulfate-nitrate (26%N, 15%S) 210 kg N ha⁻¹, (ASN), ENTEC (ASN + DMPP) (26%N), 210 kg N ha⁻¹, (ENTEC). Each treatment was replicated four times according to a completely randomised design. Ryegrass was sown on 28th May 2003 (3.26-g pot⁻¹). Treatments were applied, on 23rd May 2003 and 1st March 2004. The ryegrass crop was hand-harvested six times. Plant samples were dried for 48 h at 65 °C to determine their dry matter content (yield), and macro and micronutrients were

analysed after each cut. Total N was analysed by Kjeldahl method. Other nutrients were determined by the ICP method. Initial and final N-NO₃ soil content was determined. Leached N was determined after each irrigation (17 in total). Nitrate and ammonium concentration was analysed using ICA autoanalyser, and UV-VIS spectrophotometer. Several nitrogen efficiency indexes were used to evaluate plant response to the PS applied and to the nitrification inhibitor. The apparent recovery of PS N by the ryegrass (NREC) was calculated as described by Greenwood and Draycott, 1989. Agronomic efficiency (AE) and Physiological efficiency (PE) were calculated as described by Yadvinder-Singh *et al.*, 2004. Analysis of variance was performed using the Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999). Means were separated using Duncan's multiple range tests (significant at 0.05 probability level).

Results and discussion

The mean dry matter yields are shown in Table 1. A positive response to the application of PS dose was seen, being increased 111 and 170 % for low and high dose respectively. N use efficiency was better in mineral fertiliser, because yield was 12 % more than low dose of PS, being N applied 23 % lower. There weren't significant difference due to nitrification inhibitor application. In HD treatments, greater P uptakes due to DMPP (an indirect advantage of its use) might be explained by the fact that DMPP improves the mobilisation and uptake of phosphates from the rhizosphere, probably due to the presence of ammonium ions in the soil solution (which might reduce soil pH) (Pasda *et al.*, 2001). However, an unknown mechanism may also be at work. A similar effect was shown in total uptake of micronutrients that acidification improve its availability as Fe, Zn, Cu and Mn.

Table 1. Average dry matter accumulated yield (g pot⁻¹), total macro and micronutrient uptake (g pot⁻¹)

Treat.	Yield	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe ¹	Zn ¹	Cu ¹	B ¹	Na	Mn ¹
C	19.89	0.33	0.09	0.46	0.18	0.09	0.12	0.47	0.10	0.02	0.06	0.04	0.14
C+NI	20.15	0.34	0.08	0.46	0.19	0.09	0.12	0.61	0.10	0.02	0.06	0.04	0.14
LD	42.00	0.73	0.15	1.03	0.30	0.14	0.18	0.90	0.19	0.04	0.19	0.07	0.20
LD+NI	42.53	0.70	0.17	1.06	0.28	0.15	0.18	0.72	0.18	0.04	0.10	0.07	0.18
HD	53.65	0.99	0.19	1.47	0.32	0.17	0.23	0.87	0.23	0.05	0.12	0.09	0.19
HD+NI	56.57	1.08	0.22	1.68	0.36	0.19	0.25	1.05	0.30	0.06	0.15	0.11	0.22
ANS	45.84	0.82	0.14	1.08	0.35	0.16	0.24	0.73	0.21	0.04	0.12	0.07	0.22
ENTEC	49.04	0.86	0.15	1.16	0.36	0.17	0.25	0.85	0.22	0.05	0.12	0.08	0.23

1. Multiplied per 100

N use efficiency indices were calculated with average values (Table 2). The values are relatively low, probably because of initially high soil N levels (59 ppm). NREC were better in mineral fertiliser treatments. Table 3 shows a simplified N balance.

The effect of DMPP addition was clearly shown in nitrate leached accumulated (Figure 1). Average ammonium leached was only 3,6 % of average nitrate leached. In the first eight leaching measurement there were analysed the 95,25 % of total nitrate leached. N reduction due to DMPP application was 23.2, 29.5, 30.4 i 4.0 % for C, LD, HD and NSA treatments, respectively. There was significant difference in HD treatments due to DMPP application. The apparent leached N (first eight leaching) respect only to the first application of fertilisers [$(N_{\text{leached in a fertilised treatment}} - N_{\text{leached in control treatment}}) * 100 / N_{\text{applied}}$], were 18.4, 8.6, 14.1, 8.5, 39.5 and 37.2 % for LD, LD+NI, HD, HD+NI, NSA and ENTEC, respectively. Denitrification and volatilisation were estimated at between 16 and 46% of N applied.

Table 2. N efficiency indexes. NREC (g kg⁻¹), AE (g biomass g⁻¹ N applied), PE (g biomass g⁻¹ N uptake)

Treat.	NREC	AE	PE
LD	235	12,9	54,7
LD+NI	214	13,2	61,5
HD	191	9,8	51,3
HD+NI	219	10,7	48,7
ANS	369	19,7	53,3
ENTEC	405	22,1	54,6

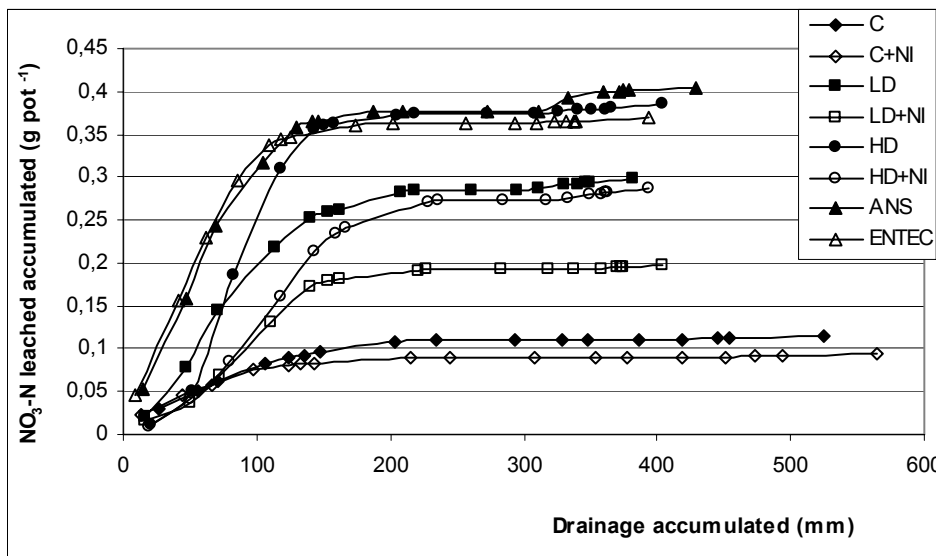


Figure 1. Cumulative N-NO₃ leached in cumulative drainage volume from different treatments.

Table 3. Nitrogen balance (g N pot⁻¹).

Treatment	N_{initial}	N_{applied}	N_{uptake}	N_{leached}	N_{residual}	N_{min}	N_{unaccounted}
C	0,3292	0,0000	0,3295	0,1148	0,0151	0,1303	0
C+NI	0,3454	0,0000	0,3358	0,0944	0,0161	0,1303	0,0293
LD	0,3572	1,7200	0,7334	0,2984	0,0167	0,1303	1,1589
LD + NI	0,3412	1,7200	0,6979	0,1979	0,0174	0,1303	1,2783
HD	0,3426	3,4400	0,9880	0,3847	0,0146	0,1303	2,5256
HD + NI	0,3406	3,4400	1,0825	0,2868	0,0158	0,1303	2,5257
ANS	0,3383	1,3200	0,8168	0,4046	0,0158	0,1303	0,5514
ENTEC	0,3458	1,3200	0,8639	0,3687	0,0176	0,1303	0,5460

Conclusions

The ryegrass crop clearly responded (biomass and macronutrient uptake) to the amount of N applied independently of its form. When comparing mineral fertilisers, the effect of DMPP was significant in reducing N leaching. Nevertheless, the effect of DMPP was not consistent on other components such as biomass production, nutrient uptake, and N efficiency indexes. In some treatments we observed that DMPP had a positive effect on biomass, N uptake, P uptake and N/K interaction.

Acknowledge

The authors would like to thank the Ministry of Science and Technology of Spain for its financial support of this work (project AGL2001-1323). E. Guillaumes was the recipient of a pre-doctoral grant from the University of Lleida. The authors express their gratitude to Mr. Israel Carrasco of COMPO Agricultura S.L., who provided the DMPP solution, Dr. Rosa Teira (University of Lleida), who measured the ammonia emissions, and Dr. Pere Villar and Mr. Miquel Aran from the Soil Fertility and Analysis Laboratory for their comments.

References

GREENWOOD, D.J.; DRAYCOTT, A. 1989. Experimental validation of an N-response model for widely different crops. *Fertil Res* 18, pp. 153-174

GUILLAUMES, E.; VILLAR, J.M. 2004. Effects of DMPP on the growth and chemical composition of ryegrass (*Lolium perenne* L.) raised on calcareous soil. *Spanish journal of agricultural research*. Vol 2(4), pp. 588-596

PASDA, G.; HÄHNDEL, R.; ZERULLA, W. 2001. Effect of fertilisers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpirazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol Fertil Soils* 34, pp. 85-97

SAS Institute, 1999. SAS user's guide. Version 8. SAS Inst. Cary, NC.

YADVINDER-SINGH; BIJAY-SINGH; LADHA, J.K.; KHIND, C.S.; KHERA, T.S.; BUENO, C.S., 2004. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice-wheat rotation. *Soil Sci Soc Am J* 68, pp. 854-864

ZERULLA, W.; BARTH, T.; DRESSEL, J.; ERHARDT, K.; HORCHER VON LOCQUENGIEN, K.; PASDA, G.; RÄDLE, M.; WISSEMEIER, A.H. 2001. 3,4-dimethylpirazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biol Fertil Soils* 34, pp.79-84

7. CAPITOL 3

**RESPONSE OF WHEAT TO ADDITIONAL NITROGEN
FERTILIZER APPLICATION AFTER PIG SLURRY ON OVER-
FERTILIZED SOILS.**

Agronomy for sustainable development (2006) 26, 127-133

Guillaumes, E.; Carrasco, I.; Villar, J.M

ABSTRACT

Pig slurry is a valuable nutrient resource but constitutes a waste disposal problem in areas of high animal density. In the semiarid area of Pla d'Urgell, in the Ebro Valley (North-East Spain), irrigated crops receive large amounts of nutrients in the form of manure and/or mineral fertilizers. We studied the effect of pig slurry and additional side-dress mineral fertilizers on irrigated wheat, *Triticum aestivum* L., on a coarse loam soil, with high soil P and K levels. Yields increased by 62.3% when using pig slurry. Application of ammonium sulfate nitrate sidedress did not significantly increase wheat production. Average apparent recoveries were higher for potassium (88.7 %) than for nitrogen (51.3 %) and phosphorus (36.3 %). Greater amounts of soil NO₃-N were measured over the four growing seasons, which was consistent with the amount of N applied. Macronutrient and micronutrient uptake was significantly higher for pig slurry treatments, but only small differences were found between the pig slurry and pig slurry plus ammonium sulfate nitrate treatments. The unfertilized treatment showed significantly lower soil P, K, Cu and Zn content than pig slurry treatments; 34%, 21%, 34%, and 26 % respectively. These findings could be used to develop a nutrient management plan based on knowledge of soil test results and crop nutrient removal. This could help to improve the use of pig slurry and mineral fertilizers on limited available land areas and prevent the accumulation of potentially toxic elements in soils and the export of nutrients through agricultural drainage.

Key words: over-fertilized soils, irrigated wheat, nutrient uptake, nutrient recovery, pig slurry.

1. INTRODUCTION

Intensive swine production is the most important livestock activity in Catalonia (Spain). There are around 6 million heads of pig and 7,900 pig farms in Catalonia, which produce more than 8,000,000 m³ of pig slurry per year. About 265,000 ha of agricultural land are irrigated in Catalonia, with the majority of this being surface irrigation. A significant percentage of this land receives pig slurry, which has a clear effect on non-point source water pollution and water quality. Large quantities of pig slurry are applied in the irrigated area of the Pla d'Urgell and subsequently drain off into the Segre River (Ebro Valley, North-East Spain). The area suffers problems due to over-fertilization and many soils do not respond to N applied as was reported by Villar-Mir et al. (2002). Wheat and corn are the primary crops in the area that receives these slurries. As in other areas (Fleming et al., 1998) pig slurry applications are largely subject to the proximity of available land, due to transport costs. Due to the limited land availability, applications are often not based on crop nutrient requirements. Pig slurry contains high concentrations of N and P and due to the feed additives involved, it may also contain relatively high concentrations of copper (Cu), manganese (Mn), and zinc (Zn) (Hsu and Lo, 2000). As a consequence, over-application of N, P, Zn, and Cu results in their accumulation in soil. Even so, some farmers apply pig slurry based on the N needs of crops such as corn and wheat.

Wheat production in irrigated areas of the Ebro Valley involves the addition of N fertilizers and/or manures. In the case of wheat, pig slurry N and P applications are in general higher than N and P uptake while K applications are lower than K uptake. The tendency is therefore, for the N and P content of the soil to increase while the K soil content decreases. Changes over time in average soil test P and soil test K will reflect the P and K balance. Long-term pig slurry applications, without any strategy or plan, will have a negative effect upon environmental quality and crop production. A soil testing survey carried out in the area (Pla d'Urgell, Lleida, Spain) reported that 68% of 72 soils resulted in soil test P (Olsen Method) (0-30 cm) > 25 mg P kg⁻¹, with an average of 53 mg P kg⁻¹; interpreted as a very high or even excessive concentration. At a sampling depth of 30-60 cm, average soil test P was 37 mg P kg⁻¹; interpreted as very

high. This enrichment at a depth of 30-60 cm suggested P movement in calcareous soils in an area with already elevated pH values. Spain has not assigned an environmental soil test P threshold to improve pig slurry management and little field research has so far been done in this area. For example, in Colorado State the threshold soil test P (Olsen method) level has been established at 100 mg P kg⁻¹. Sharpley and Tunney (2000) reported soil test P values and P management recommendations for several USA states. Idaho State, for example, established an agronomic soil test P (Olsen method) threshold of 12 mg P kg⁻¹ and an environmental soil test P value of 50 mg P kg⁻¹ for sandy soils and 100 mg P kg⁻¹ for silt loam soils. In Ireland it is not permitted to apply pig manure when the soil test P (Olsen method) is above 60 mg P kg⁻¹.

Pig slurry is treated as a waste disposal problem, although it is also a valuable nutrient resource in our area. In addition to pig slurry, local farmers also use excessive quantities of mineral fertilizers (Villar-Mir et al, 2002). There is no nutrient management program in the area of the type defined by VanDyke et al. (1999) that specifically focuses on pig slurry and other types of manure. Maximum total quantities of N recommended for wheat in the area are 250 kg N ha⁻¹. Maximum quantities of N from organic fertilizers must be less than 210 kg N ha⁻¹ per year.

Nutrient management planning is an accepted strategy for optimizing economic returns from nutrients while minimizing their negative impact on the environment, especially from diffuse sources (Beegle et al., 2000). At present there is insufficient information on nutrient uptake to develop a viable strategy. Nitrogen fertilizer needs to be adjusted for already N applied as animal manure. To establish such a nutrient management plan, several field research experiments need to be conducted and action must be taken to persuade farmers that it is possible to manage the application of nutrients on a yearly basis in order to achieve the expected yield goals and to minimize adverse environmental side-effects. Hansen et al (2004) showed the importance of nitrates soils testing for ability to predict corn yield responses to fertilizer N applied after animal manure. The effects of excess quantities of N and P and heavy metals in agricultural systems have been well documented (Ferm, 1998; Rochette et al., 2000; Krebs et al., 1998). Nutrient (pig slurry and commercial fertilizers) applications should be managed to maintain the goal of attaining high yields and improving environmental quality while

reducing nutrient losses from soils. The main objective of the paper was to determine whether additional mineral N fertilizer is necessary when using pig slurry on over-fertilized soils. We evaluated the effects of applying pig slurry and additional mineral nitrogen fertilizer to irrigated wheat on calcareous soils with particular reference to yield, recovery and residual nutrients. A second objective was to contribute to the development of a nutrient management plan for the area.

2. MATERIALS AND METHODS

This study was conducted from 1999 through 2003 at a commercial farm (41°39' N, 00°57' E; elev. 264 m), in an area with a mean annual rainfall of 377 mm. The farm was located in the irrigated area served by Urgell Channel. The main criteria for selecting this commercial farm as an experimental site were that it had received no organic manure applications in the previous three years (to avoid any possible residual effects) and had not grown alfalfa either (to avoid potential N credits). Other criteria were that the farm did not reuse irrigation water (which contained salts and nitrates) and did not use water mixed with well water (which was high in nitrates in this area). The soil type was a Seana loam series (loamy, calcareous, mixed, mesic, shallow Xerollic Paleorthid) (USDA-NRCS, 1998, Herrero et al., 1993), Calcisol petric (FAO, 1998) with a petrocalcic horizon within 60 cm of the surface (effective soil depth). There were no salinity problems. The soil texture was loam (USDA) (clay 240 g kg⁻¹ and sand 418 g kg⁻¹). The main hydraulic characteristics were low water holding capacity (80mm), high infiltration and rapid drainage. Soil water characteristics for texture were defined using the functions developed by Saxton et al. (1986). This soil was representative of coarse medium textured soils in the Ebro Valley with moderate potential yields. Wheat was continuously produced over a period of four years for the experiment.

The experimental design was a randomized complete block with three replications. Individual plots were 10 m wide and 30 m long. The rates of fertilizer application varied from year to year. Treatments were: (1) unfertilized control, (2) pig slurry (32, 21, 15, 20 m³ ha⁻¹, for 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002, and 2002-2003, respectively), and (3) pig slurry plus ammonium sulfate-nitrate (26%N, 15%S) (50 kg N ha⁻¹ in the first year, and 75 kg N ha⁻¹ in the second, third and fourth years). The pig slurry contained 12.8%, 7.2%, 2.6%, and 6.9 % of dry matter respectively. Pig slurry was broadcast over the soil surface before planting using a spreading machine (Nov 10th, Nov 22nd, Nov 23rd and Oct 24th, in the respective years) and immediately incorporated (15-20 cm) using a field cultivator. Uniform broadcast applications of ammonium sulfate nitrate as a side-dress fertilizer was carried out by hand (Feb 2nd, Feb 21st, Feb 18th, and Mar 3rd). The respective quantities of nutrients applied (pig slurry and pig slurry plus side-dress

ASN) are shown in Table 7.1. Total N in pig slurry was the Kjeldahl N. $\text{NH}_4\text{-N}$ content represented as 65%, 70.6%, 67.8%, and 70 % of total N.

Table 7.1. Treatments and quantity of nutrients applied each year.

Treatment	1999-2000 kg ha ⁻¹			2000-2001 kg ha ⁻¹			2001-2002 kg ha ⁻¹			2002-2003 kg ha ⁻¹			Cumulative NPK applied kg ha ⁻¹		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Pig slurry	298	63	153	194	32	108	29	5	69	145	22	55	666	122	385
Pig slurry + ASN	348	63	153	269	32	108	104	5	69	220	22	55	941	122	385

Soils on which plots were established were sampled (10 cores) to determine initial soil fertility (0-30 cm) prior to planting; in autumn 1999 (Nov 10th). The Soil Testing Laboratory (LAF) at Sidamon (Lleida, Spain) performed all soil and plant analyses. Soil samples were collected from all plots twenty times in total year during the four-yr period. All samples were extracted with water (1:5 soil/water ratio per solution) and colorimetrically analyzed for $\text{NO}_3\text{-N}$ using a Technicon Autoanalyzer (Ansol 4P2S1BM2P, ICA Instruments, Tonbridge, Kent, UK). Organic matter was determined by the Walkley-Black procedure. Soil pH was measured at a soil/water ratio of 1:2.5. Soil P was extracted with NaHCO_3 according to Olsen et al., 1954. Soil K was extracted with 1 M ammonium acetate ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$). Soil bulk density was measured as 1.4 Mgm^{-3} . The soil gravel contents > 2mm in volume were 39.8%, 33.5%, and 37.5 % at depths of 0-20, 20-40, and 40-60 cm respectively. The $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration data (mg kg^{-1}) were multiplied by bulk densities of 0.84, 0.93, and 0.87 Mgm^{-3} for 0-20, 20-40, and 40-60 cm respectively, in order to calculate the quantity of $\text{NO}_3\text{-N}$ (in kg ha^{-1}) present within the profile. NH_3 volatilization was measured (data not shown), but the values obtained were very low because pig slurry was immediately buried.

Winter wheat (cv. Anza for the first and second yrs and cv. Bancal for the third and fourth yrs) was planted on Nov 24th, Dec 14th, Nov 30th, and Nov 16th, in the four successive campaigns. Harvest occurred on Jun 23rd, Jun 26th, July 3rd, and Jun 26th, in successive campaigns. Anza and Bancal have similar yield responses in irrigated fields in the area. Anza is used as a check variety in official wheat field trials (IRTA-UdL, <http://www.irta.es/cat/que/xarxes/varietats/xarxa.html>). All plots were irrigated to field

capacity by flooding three times per season. Irrigation doses were between 700 and 800 m³ ha⁻¹. The plots were mechanically harvested. Grain weights were adjusted for moisture of 120 g kg⁻¹. All plant samples were dried at 65°C for 2 d in a forced-air dryer and then weighed. Harvested plant samples were separated into leaves, stems and grain for subsequent nutrient total analysis. Nitrogen concentration was determined by Kjeldhal digestion. P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn and Na were analyzed by ICP. Dry matter accumulation and harvest index, were determined but data are not shown. Some of this information will be used for modeling purposes. Annual nutrient removal was calculated by multiplying dry mass by nutrient concentration. Apparent nutrient recovery was calculated on the basis of the following relationship:

$$\text{Nutrient Recovery} = (\text{Nutrient Uptake from treated plot} - \text{Nutrient Uptake from unfertilized control plot}) * 100 / \text{Nutrient Applied.}$$

Some authors also refer to this index as apparent nutrient use efficiency (Eghball and Power, 1999). This index was evaluated for nitrogen, phosphorus and potassium. During the survey, weather conditions were recorded by an automated station (Campbell Sci., Logan, UT) located at El Poal (41°40' N, 00°51' E; elev. 227 m) (Weather stations network, DARP, Generalitat of Catalunya) and within 5 km of the experimental site. Analysis of variance was performed using the Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999). Means were separated using Duncan's multiple range test.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Soil fertility and meteorological conditions

Rainfall from November through to June 15th (wheat growing season) was respectively 245, 235, 302 and 270 mm for the four years of the study. Accumulated reference evapotranspiration (ET_o) from March to June 15th was 332, 373, 321 and 376 mm, respectively for the 1st, 2nd, 3rd, and 4th growing seasons. The irrigation schedule in this area is not flexible, and so fortnightly turns are generally established. Rainfall and available water capacity are also important variables in irrigated areas where traditional methods are applied. In autumn 1999, the upper 30 cm of the soil profile contained 26 g of organic matter kg⁻¹, which is a relatively high value for irrigated semiarid land: there was also 17 mg of NO₃-N kg⁻¹, which constitutes a high nitrate content. The soil pH was 8.2 and the CO₃Ca equivalent was 240 g kg⁻¹. The soil test P value was very high (44 mg P kg⁻¹), while the soil test K value was interpreted as normal-high (253 mg K kg⁻¹) according to Cottenie (1980). The nutrient application rate criterion for P drawdown and K maintenance can be established for soil fertility levels above sufficiency criteria, especially for P.

Wheat grain yield

In all four years, pig slurry significantly increased wheat grain yields with respect to the unfertilized control (Table 7.2). Continuous wheat cropping resulted in lower yields for all treatments. The unfertilized treatment resulted in a 56% decline in yield over the years in question. Average wheat grain yield for the unfertilized control was 3,580 kg ha⁻¹. The pig slurry treatment resulted in similar wheat grain yields (5,810 kg ha⁻¹) to those obtained with the pig slurry plus side-dress ASN (6,270 kg ha⁻¹). The side-dress fertilizer effect was apparent but not significant in the third year when low N content pig slurry was used. The lowest yields were obtained during the fourth growing season. In this season, lower yields were observed across the whole area due to the meteorological conditions during the grain filling period (the highest ET_o and lowest precipitation were registered during the second half of May). In the fourth year

irrigation was applied on March 20th, April 22nd, and May 6th (12 days earlier than in other years) and the lowest rainfall was registered in March, April, and June. Seasonal precipitation makes a significant contribution to water requirements in semiarid irrigated areas, while water deficits after anthesis limit yields. Air dryness was most pronounced in the last growing period and resulted in grain filling problems. High temperatures, large vapor pressure deficits and high values for solar radiation resulted in the highest ETo values being recorded in the fourth growing season. Our results indicated that pig slurry applications prior to planting provided a similar quantity of the nutrients required by the wheat crop to that provided by the treatment with additional side-dress N. Similarly, after research with corn, Van de Woestyne and Blackmer (2002) concluded that it is not profitable to apply nitrogen fertilizer when liquid swine manure was injected into soil. Declining yields are expected when wheat is continuously grown on the same soil due to pathological problems. Even so, no such problems were clearly apparent in the fields in the study area. Declining soil nitrate levels in subsequent years can produce a positive response to side-dress application, but no such tendency was observed in the course of our four-yr experiment. Only the mineral nitrogen soil test can help in taking appropriate decisions. The dose of pig slurry to be used should be calculated before application and should take into account the results of N soil tests as suggested by Diez et al. (2001).

Table 7.2. Wheat grain yield response to three fertilizer treatments

Treatment	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	Average grain yield Mg ha ⁻¹
	Grain yield Mg ha ⁻¹	Grain yield Mg ha ⁻¹	Grain yield Mg ha ⁻¹	Grain yield Mg ha ⁻¹	
Unfertilized control	4.88 (0.39) b	3.91 (0.67) b	3.37 (0.31) b	2.15 (0.39) b	3.58 b
Pig slurry	7.63 (0.52) a	7.70 (0.26) a	4.89 (0.55) a	3.02 (0.40) ab	5.81 a
Pig slurry + ASN	8.28 (0.68) a	7.61 (0.11) a	5.82 (0.24) a	3.37 (0.09) a	6.27 a

Within columns, means followed by the same letter do not significantly differ from each other at 0.05 probability. Duncan's multiple range test. Values in parenthesis are standard deviations of replicate analyses (n=3).

Soil NO₃-N and NH₄-N levels

Pig slurry treatments resulted in higher soil NO₃-N at the end of the growing season, but values were always below 20 mg kg⁻¹ (0-20 cm). Measurements of soil NO₃-N showed significant differences at a depth of 0-20 cm (Fig. 7.1). A similar pattern resulted from the natural N soil cycle and initially high soil organic matter content (2.6%). Mineral soil N (NO₃-N and NH₄-N) came from soil organic matter mineralization and from crop stubble and root decomposition. Maximum N uptake in spring resulted in the sharply declining slopes in Figure 7.1. During the period between harvest and the beginning of the next crop season, N rose, as shown in Figure 7.1. The critical preplant nitrate test (PPNT) and pre-sidedress nitrate test (PSNT) established for irrigated wheat in our semiarid environment are 30 and 20 mg N kg⁻¹, respectively, for the 0-30 cm soil sampling depth. NH₄-N contribution to total mineral N was significantly lower than that of NO₃-N. The unfertilized treatments resulted in nitrate tests values below the critical limits in all four growing seasons for depths of 0-20 and 0-60 cm. NO₃-N kg⁻¹ (preplant nitrate test) values for the pig slurry treatment ranged between 20.7 and 51.9 mg for the 0-20 cm soil sampling depth. Values for the pig slurry plus ASN treatment ranged between 27.7 and 47.5 mg NO₃-N kg⁻¹ (preplant nitrate test) for the 0-20 cm soil sampling depth. The significant differences in soil NO₃-N between harvest and pig slurry application is one of the most important issues and is difficult to explain without applying the isotope N technique. Soil organic matter mineralization, NH₄ soil fixation, soil microbial immobilization, soil watering, and crop and organic residue mineralization are some of the main processes taking place in these soils. All of this nitrate plus the N applied in autumn can be leached down to a fluctuating water table before significant crop N uptake takes place. The lowest values corresponded to the third growing season in which the pig slurry used had very low dry matter content and a low N content. Soil nitrate levels before side-dress were always higher than critical pre-sidedress nitrate test values. The amount of residual NO₃-N in the soil profile (0-60 cm) at the end of the 4 yr study was directly related to the quantity of N applied. The unfertilized treatment had a lower N content than the pig slurry treatments. The treatment consisting of pig slurry plus ASN produced a significant higher quantity of NO₃-N than the pig slurry treatment alone.

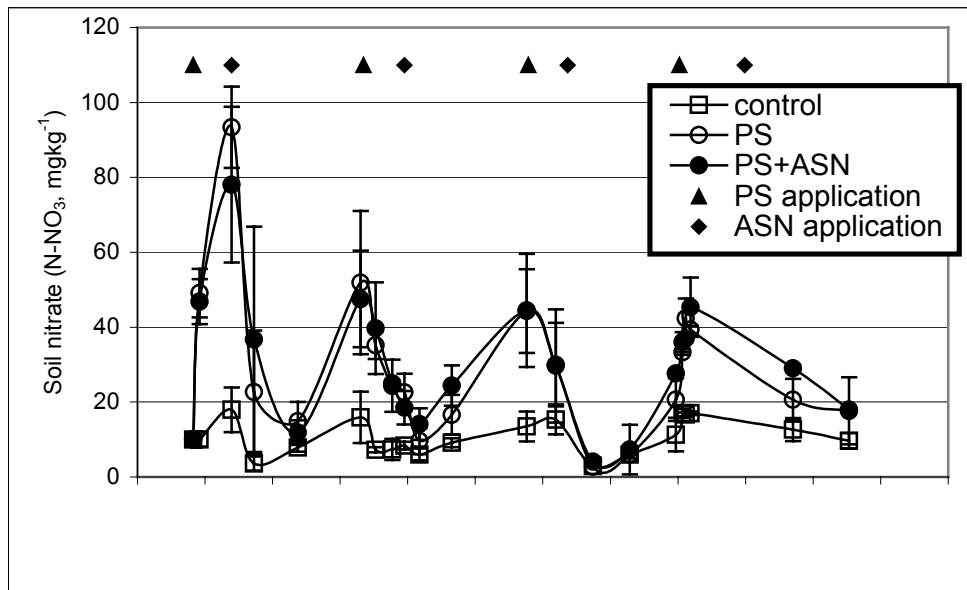


Fig. 7.1. Soil nitrate evolution in the surface horizon during the experiment. (PS- pig slurry)

Nutrient above ground biomass and recovery

Total NPK above ground biomass was significantly lower for the unfertilized treatment in all of the growing seasons (Table 7.3). No significant differences were found between the pig slurry treatment and pig slurry plus ASN treatment, other than differences in N in the first yr. Commercial fertilizer increased the quantity of N applied by 41.3%. Accumulated total N above ground biomass for the pig slurry treatment was 653 kg N ha^{-1} , while that for pig slurry plus ASN was 743 kg N ha^{-1} . This represented an increase of 14.4%. These results clearly show the low crop N removal in response to the extra amount of N provided; 1 kg of N was removed out of each 3 kg N applied. This constitutes an inefficient use of mineral N fertilizer. Total P above ground biomass on wheat included uptake from residual soil P and applied P. The total quantity of P removed from wheat grain and straw over the 4 yr period for the unfertilized treatment was 75 kg P ha^{-1} . The total amount of P removed during the 4 yr study was 120 kg P ha^{-1} for the pig slurry treatments, with and without mineral fertilizer, and similar to the quantity of P applied (122 kg P ha^{-1}). The total amount of K removed from wheat grain and straw during the 4 yr period was $297.7 \text{ kg K ha}^{-1}$ for the unfertilized treatment. The total quantity of K removed from wheat grain and straw during the 4 yr study was 639 kg K ha^{-1} for the pig slurry treatment, which was greater than the total quantity of K

applied (385 kg K ha^{-1}). The total quantity of K removed was 719 kg K ha^{-1} for the pig slurry plus ASN treatment.

Recovery varied widely over the growing seasons mainly due to the different quantities of slurry applied each year (Table 7.4). The greater nutrient quantities applied in the first year resulted in lower recovery. Under the conditions of the experiment, N recovery was greater in the second and third years than in the first. This was due to the smaller quantities of N applied, and the availability of nutrients from the application of pig slurry in the previous year. Average apparent N recoveries for the four yr period were 51.3% and 45.9 % for pig slurry and pig slurry plus ASN, respectively. Average apparent P recoveries for the same period were 36.3% and 36.8 % for pig slurry and pig slurry plus ASN, respectively. Greater P recovery was registered in the third year (over 100%) due to the very small quantity of P applied with the slurry and probably also to the residual effect of the previous year's application. Average apparent four yr K recovery was 88.7% and 109 %, for pig slurry and pig slurry plus ASN, respectively.

The aboveground removal ratio for N:P:K was 5:1:5. The ratio for N:P:K in the pig slurry (cumulative applied values) used in the experiment was 5.5:1:3. There was therefore no over-application of P and K during the experiment. In our area, the normal ratio for N:P:K in pig slurry is 4:1:2.9. If farmers applied pig slurry based on N levels and used the same aboveground removal that we obtained, this would result in a slight over-application of P and a shortage of K, but not to the degree registered in our experiment.

Table 7.3. Total N, P and K above ground biomass

Treatment	1999-2000 Total content kg ha ⁻¹			2000-2001 Total content kg ha ⁻¹			2001-2002 Total content kg ha ⁻¹			2002-2003 Total content kg ha ⁻¹			Total uptake over the 4 yr period kg ha ⁻¹		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Control	85.4 (3.8)c	22.8 (1.5)b	95.6 (10.6)b	68.2 (9.6)b	18.7 (7.1)b	60.9 (16.2)b	78.3 (7.6)b	14.1 (0.6)a	96.8 (22.8)a	79.1 (15.8)b	19.8 (4.5)b	44.4 (8.8)b	311.0 c	75.4 b	297.7 b
Pig slurry	172.8 (14.7)b	37.6 (2.8)a	215.1 (22.3)a	201.5 (26.2)a	32.4 (9.5)a	170.0 (24.2)a	129.2 (23.6)a	19.2 (3.7)a	141.2 (39.9)a	148.8 (24.9)a	30.5 (4.4)a	113.0 (26.0)a	652.7 b	119.7 a	639.3 a
Pig slurry + ASN	207.0 (5.8)a	39.9 (1.5)a	250.7 (16.8)a	211 (10.9)a	29.7 (7.1)a	187.7 (31.8)a	153.0 (2.6)a	19.1 (1.5)a	148.3 (15.7)a	171.8 (36.1)a	31.7 (7.5)a	132.7 (34.4)a	742.8 a	120.4 a	719.4 a

Within columns, means followed by the same letter do not significantly differ from each other at 0.05 probability applying Duncan's multiple range test. Values are means. Values in parenthesis are standard deviations for three replicate plots.

Table 7.4. Apparent recovery of total N, P, and K

Treatment	1999-2000 Total recovery %			2000-2001 Total recovery %			2001-2002 Total recovery %			2002-2003 Total recovery %		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Pig slurry	29.3	23.4	78.1	68.7	42.8	101.0	175.5	102.0	64.3	48.1	48.6	124.7
Pig slurry + ASN	34.9	27.1	101.4	53.1	34.3	117.4	71.8	100.0	74.6	42.1	54.1	160.5

Residual nutrients in the soil

The addition of nutrients that were not recovered by the wheat crop resulted in their evident accumulation in the soil. Residual levels of phosphorus, potassium, copper and zinc found in the surface layer (depth of 0-20 cm) at the end of the experiment are presented in Table 7.5. The unfertilized treatment depleted soil test K by 27.2%, with a reduction from 253 to 184 mg K kg⁻¹ (69 mg K kg⁻¹). 1 mg kg⁻¹ soil test K is equivalent to 2.8 kg K ha⁻¹. Over the four year period, the total accumulated K uptake was 298 kg K ha⁻¹ for the unfertilized treatment. Soil K depletion (69*2.8 = 193 kg K ha⁻¹) was smaller than K removal, which indicated that we need to consider other sources of K (crop residues, soil mineral weathering, and fixed K). The unfertilized treatment depleted soil test P by 37%, from 44 to 27.7 mg P kg⁻¹ (16.3 mg P kg⁻¹). 1 mg kg⁻¹ soil test P is equivalent to 2.8 kg P ha⁻¹. Soil P depletion (16.3*2.8 = 45.6 kg P ha⁻¹) was smaller than P removal (75.4 kg P ha⁻¹). Other sources of P included soil organic matter mineralization, crop residues and sorption-desorption P balance over the four growing seasons. P and K soil content at the end of the experiment in the unfertilized treatment had diminished by 34% and 21%, respectively, compared with pig slurry and pig slurry + ASN treatments (average values). The fast drawdown of P and K in the unfertilized treatment reflected the negative nutrient balance. Total applied P was 122 kg P ha⁻¹, which was similar to crop P removal after the 4-yr experiment, and resulted in a similar soil test P at the end of the experiment. Total accumulated K uptake for the pig slurry and pig slurry plus ASN treatments was 639.3 and 719.4 kg K ha⁻¹ respectively. That difference of 80 kg K ha⁻¹ in K uptake corresponded to a soil test K difference of 20.7 mg K kg⁻¹. Cu and Zn soil content increased by 33.3% and 26.5 % respectively for the pig slurry and pig slurry plus ASN treatments when compared with the unfertilized control. No significant differences were found between the pig slurry and pig slurry plus side-dress ASN application. Some soils in the area receive higher annual quantities of pig slurry than those referred to in this research (20-40 m³ ha⁻¹). Farmers need to consider soil testing as a means of controlling and assessing the risks associated with continuous pig slurry applications. Long-term applications of pig slurry would produce significant increases in Cu and Zn soil content. Pig slurry applied without commercial PK fertilizers would maintain appropriate P and K soil levels. Using similar

management criteria to those used in this experiment, it would take several years for soil test P to reach the sufficiency level (around 20 mg P kg⁻¹). The application of greater doses of pig slurry (and larger dry matter contents) would increase soil test P. Soils with high soil tests P as a result of long-term over fertilization and/or excessive use of organic wastes constitutes just one of the situations in which a significant export of P is associated with agricultural drainage (Sims et al., 1998). The Cu and Zn soil content thresholds for soils with pH > 7.0 are 210 and 450 mg kg⁻¹ respectively. It would take several years to reach these levels applying these quantities of pig slurry.

Table 7.5. Residual P, K Cu and Zn present in soil at the end of the experiment (0-20 cm)

Treatment	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Control	27.7 (2.1)b	184.3 (31.8)b	24.0 (2.0)b	73.3 (8.4)a
Pig slurry	42.0 (1.0)a	243.7 (19.8)a	31.7 (4.0)a	89.7 (11.7)a
Pig slurry + ASN	41.3 (5.7)a	223.0 (5.6)ab	32.3 (2.1)a	95.7 (15.0)a

Within columns, means followed by the same letter do not significantly differ from each other at 0.05 probability applying Duncan's multiple range test. Values in parenthesis are standard deviations for three replicate plots.

4. CONCLUSIONS

The quantities of pig slurry used in this experiment should be considered low or moderately low in comparison with the quantities used by farmers in this intensive livestock production area and the limited land available. This research shows that the benefits of side-dress mineral fertilizer application are not apparent when pig slurry is applied before planting. Furthermore, the use of mineral fertilizer when they are not required only increases costs. Better management of pig slurry on this semiarid irrigated land could help to avoid over-fertilization. To improve nutrient management (thereby maintaining yields and reducing nutrient impact), it is necessary to adopt measures that takes into consideration all sources of nutrients and nutrient removal by crops in the area. An important question when using pig slurry is to measure the nutrient content (especially total N, P and K) and dry matter content. Soil testing is needed to control P accumulation and K depletion and also the accumulation of heavy metals associated with the use of pig slurry. Soil nitrate tests should be used on semiarid irrigated lands to adjust the supplemental need for N in the pre-sidedress period. In the case of the pig slurry treatments, equivalent quantities of P applied and removed after 4 growing seasons resulted in similar soil tests P at the end of the experiment as at the beginning. In all treatments, the quantity of K removed was greater than that applied. Thus, P and K levels were not excessive for our application rates. An important depletion of P and K resulted from the unfertilized treatment. A significant soil accumulation of Cu and Zn was measured in the pig slurry treatment both with and without side-dress N fertilizer. When soil nitrate levels are very low at planting or at pre-side-dress it is possible to obtain an economical positive response to sidedress N application. Using a crop system model can help to provide an appropriate answer. Quantities of between 20 and 30 m³ ha⁻¹ of pig slurry tend to be equilibrated with respect to P balance. Thus, when soils cannot supply sufficient N and K to equilibrate their N and K balances without causing further increases in soil test P, it is necessary to replace organic manure top dressings with mineral fertilizers. This is particularly true for over-fertilized soils.

5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank agricultural engineers Dr. P. Villar, Mr F. Calvet and Mr. M. Arán (LAF, Soil testing laboratory, Sidamon) for their help with soil sampling, analyses and interpretation. Dr. M. R. Teira measured NH₃ volatilization. Students from the University of Lleida who have also contributed to this project include Mr. X. Gonzalez, Mr. J. Verdes, and Mr. X. Diez. We acknowledge Catalana de Farratges S.L. for their support (Mr Gaset, Mr. Reñe and Mr. Pascual). Mr. M. Hayes is thanked for his help in improving the scientific English. This research was financed by research projects AGL 2000-1363 and AGL2001-1323 (Spain's Ministerio de Educación y Ciencia).

6. REFERENCES

BEEGLE, D.B.; CARTON, O.T.; BAILEY, J.S. 2000 Nutrient management planning: Justification, theory, practice. *J. Environ. Qual.* 29, pp. 72-79.

COTTENIE A. (1980) Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations. *FAO Soils Bull.* 38/2. FAO, Rome.

DIEZ J.A., DE LA TORRE A.I., CARTAGENA M.C., CARBALLO M., VALLEJO A., MUÑOZ M.J. (2001) Evaluation of the Application of Pig Slurry to an Experimental Crop Using Agronomic and Ecotoxicological Approaches. *J. Environ. Qual.* 30, 2165-2172.

EGHBALL B., POWER J.F. (1999) Phosphorus- and nitrogen- based manure and compost applications: corn production and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 895-901.

FAO (1998) World reference base for soil resources. 84 World Soil Resources Reports, Rome.

FERM M. (1998) Atmospheric ammonia and ammonium transport in Europe and critical loads: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 5-17.

FLEMING R., BABCOCK B., WANG E. (1998) Resource or waste? The economics of swine manure storage and management. *Review of Agric. Econ.* 20, 96-113.

HANSEN D.J., BLACKMER A.M., MALLARINO A.P., WUEBKER M.A. (2004) Performance-based evaluations of guidelines for nitrogen fertilizer application after animal manure. *Agron. J.* 96, 34-41.

HERRERO C., BOIXADERA J., DANÉS R., VILLAR J.M. (1993) Mapa de sòls de Catalunya 1:25.000. Full núm. 360-1-2 (65-28) Bellví. Generalitat de Catalunya, Barcelona, Spain.

HSU J.H., LO S.L. (2000) Characterization and extractability of copper, manganese, and zinc in swine manure composts. *J. Environ. Qual.* 29, 447-453.

KREBS R., GUPTA S. K., FURRER G., SCHULIN R. (1998) Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge-amended soils. *J. Environ. Qual.* 27, 18-23.

OLSEN S.R., COLE C.V., WATANABE F.S., DEAN L.A. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extracting with sodium bicarbonate. *USDA Circ.* 939. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.

ROCHETTE P., DENIS A., ANGERS D.A., COTE D. (2000) Soil carbon and nitrogen dynamics following application of pig slurry for the 19th consecutive year. I. Carbon dioxide fluxes and microbial biomass carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1389-1395.

SAS Institute. 1999. The SAS system for Windows. Version 8.02. SAS Inst., Cary, NC.

SAXTON K.E., RAWLS W.J., ROMBERGER J.S., PAPENDICK R.I. (1986) Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 1031-1036.

SHARPLEY A., TUNNEY H. (2000) Phosphorus research strategies to meet agricultural and environmental challenges of the 21st century. *J. Environ. Qual.* 29, 176-181.

SIMS J.T., SIMARD R.R., JOERN B.C. (1998) Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *J. Environ. Qual.* 27, 277-293.

USDA-Natural Resources Conservation Service (1998) Keys to soil taxonomy. Eighth Edition. Washington, D.C.: U.S Government Printing Office.

VAN DE WOESTYNE B., BLACKMER A. (2002) Should nitrogen fertilizer be applied after injected swine manure?. *Integrated crop management*. Iowa State University.

VANDYKE L.S., PEASE J.W., BOSCH D.J., BAKER J.C. (1999) Nutrient management planning on four Virginia livestock farms: Impacts on net income and nutrient losses. *J. Soil and Water Conservation.* 54 (2), 499-505.

VILLAR-MIR J.M., VILLAR-MIR P., STOCKLE C.O., FERRER F., ARAN M. (2002) On-Farm Monitoring of Soil Nitrate-Nitrogen in Irrigated Cornfields in the Ebro Valley (Northeast Spain). *Agron. J.* 94, 373-380.

8. CAPITOL 4

**UTILITZACIÓ DE L'INHIBIDORS DE LA NITRIFICACIÓ DMPP
PER MILLORAR L'EFICIÈNCIA EN L'ÚS DEL NITROGEN EN
BLAT DE REGADIU EN UN SÒL CALCARI.**

1. INTRODUCCIÓ

En els capítols 1 i 2 s'ha estudiat el comportament de l'inhibidor de la nitrificació en testos. En l'experiment en testos i amb raigràs l'addició de DMPP afegit als purins de porc suposa un increment en l'eficiència agronòmica i una reducció de la quantitat de nitrogen lixiviat. (Guillaumes i Villar-Mir, 2004; Guillaumes et al, 2007). Els interessants resultats obtinguts van animar al grup de recerca a plantejar un experiment de dos anys de durada per observar l'efecte del IN DMPP en un cultiu com el blat, en condicions de regadiu i en condicions de camp. No existien gaires treballs científics publicats a excepció dels del grup del IVIA en cítrics (Bañuls et al., 2001; Serna et al, 2000) o dels treballs inicials de la Universitat pública de Navarra, publicats més tard (Irigoyen et al., 2003). Els treballs previs del grup de recerca van proporcionar resultats interessants però eren assajos de tipus anual i no tenien continuïtat en la mateixa parcel·la (Carrasco et al, 2000; Villar et al., 2000; Carrasco i Villar, 2001a; Carrasco i Villar, 2001b). Es va treballar amb blat d'hivern (*Triticum aestivum* L.) i amb panís (*Zea mays* L.). El cultiu del blat en regadiu continua essent important a la Vall de l'Ebre. Entre altres motius per que es considera un cultiu que entra a la rotació alfals-panís-blat i pel menor consum d'aigua respecte als altres dos de la rotació en quantitat i sobretot en el temps. Les condicions inicials en els assajos previs en alguns casos van posar en evidència els elevats continguts inicials de nitrats en el sòl (Nmin) i per tant es plantejava la necessitat de definir uns requeriments o condicionants previs per a la realització dels experiments de camp que s'anomenen a continuació:

- 1) que el cultiu precedent no hagués estat alfals, o qualsevol altre tipus de cultiu tipus lleguminosa. Per evitar l'efecte important del nitrogen residual.
- 2) que en els últims tres anys no s'haguessin aplicat residus orgànics, tant purins de porc com fems o altres tipus de residus. Aquest fet s'ha generalitzat tant que és difícil trobar parcel·les comercials per a l'experimentació.
- 3) que el contingut de nitrogen residual fos baix (inferior als 15 ppm de nitrats a l'horitzó superficial i inferior als 10 ppm fins a 90 cm) independentment del seu

origen. Per evitar parcel·les que hagin estat sobre fertilitzades en el temps, o simplement que per unes baixes collites i baixes exportacions de nutrients presentin un contingut alt de N residual.

- 4) que l'aigua de reg sigui del canal d'Urgell, de bona qualitat amb un baix contingut de sals i de nitrogen. Un problema molt sovint en treballs d'experimentació a la zona és l'ús d'aigües resultants de la barreja d'aigües amb diferents orígens (aigües de reg, del freàtic superficial, d'escolament superficial del reg, residuals urbanes,..) fet que fa disminuir sensiblement la seva qualitat.

La hipòtesi de la recerca era comprovar amb un avaluació de camp, amb almenys dos anys de duració per considerar l'efecte residual, si l'ús del inhibidor de la nitrificació suposa una contribució significativa a millorar la gestió o maneig del nitrogen a la zona. Una contribució positiva pot ser en la millora de la qualitat (major contingut de proteïna en el cas del blat), en millorar els fluxos de caixa (aspecte econòmic), en una major absorció de N respecte a les disponibilitats de N (major eficiència), una major producció (en termes relatius) o una disminució del potencial contaminant al disminuir la proporció de N en forma de nitrats, al disminuir la proporció de N que es perd per volatilització, per desnitrificació, o un efecte positiu al millorar l'absorció d'altres nutrients,...). A més cal tenir en compte el context agrari de la zona descrit en el capítol introductori pel que fa als excessos en les disponibilitats de purins, els aspectes econòmics, etc...

A partir d'aquestes hipòtesis es va plantejar el present estudi d'investigació. L'objectiu d'aquest estudi era avaluar com l'addició de DMPP als purins de porc i l'ús de fertilitzants minerals amb DMPP afecta als perfils de N mineral del sòl, al rendiment, a l'absorció de nutrients, i si això representa avantatges mediambientals, productives i econòmiques en blat d'hivern de regadiu.

2. MATERIALS I MÈTODES

L'estudi es va iniciar l'any 2001. L'experiment de camp es va portar a terme durant dos campanyes del conreu de blat (2001-2002 i 2002-2003) a la zona regada pels Canals d'Urgell (Lleida, Nord-est d'Espanya). La parcel·la de tipus comercial, arrendada per l'empresa Catalana de Farratges S.L., està localitzada al terme municipal de Vila-sana (Pla d'Urgell). Les pràctiques de laboreig i reg han estat les usuals a la zona. El cultiu utilitzat va ser blat tou (*Triticum aestivum* L.) var. Bancal. La data de sembra ha estat el 30/11 i el 16/11 per la campanya 2001-2002, i 2002-2003, respectivament, i la data de la collita ha estat el 05/07/02 i el 26/06/03, respectivament. El tipus de sòl pertany a la sèrie Linyola franc argil·lo-llimós (Herrero *et al.*, 1993, <http://www.iec.cat/mapasols>). El règim d'humitat del sòl és xèric i el règim tèrmic és mèsic (USDA-NRCS, 1998). El sòl és profund i no presentava elements grossos en els primers 150 cm de profunditat. Les seves propietats es mostren a la taula 8.1. S'han aplicat tres regs superficials, aproximadament de 100 mm, per cada campanya. Concretament en les dates 22/03, 25/04 i 03/05 per la primera campanya, i 25/03, 25/04 i 07/05 per la segona.

Taula 8.1. Propietats del sòl a l'inici de l'experiment (tardor 2001)

	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	90-120 cm
pH (1/2.5, sòl/aigua)	8,4	8,0	8,0	8
Prova prèvia salinitat, CE (1:5) (dS/m 25 °C)	0,63	3,23 ⁽¹⁾	3,25 ⁽¹⁾	2,59 ⁽¹⁾
Matèria orgànica (g kg ⁻¹) (Mètode Walkley-Black)	17	10	9	6.5
CO ₃ Ca equivalent (g kg ⁻¹)	190	190	190	140
P (Mètode Olsen, mg kg ⁻¹)	16	14	17	9
K (Extracció amb 1 M acetat amònic, mg kg ⁻¹)	192	192	190	158
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	7	4	5	3
Argil·la (g kg ⁻¹)	447	452	423	373
Arena (g kg ⁻¹)	75	83	105	59

⁽¹⁾ Aquests valors de conductivitat elèctrica (CE) són deguts al contingut de guix present en el sòl.

S'ha utilitzat un disseny de blocs a l'atzar amb tres repeticions. Els tractaments realitzats han estat set i per tant s'han establert 21 parcel·les elementals. A continuació es descriuen els tractaments utilitzats. Cal destacar que hi han petites variacions en les quantitats aplicades en els dos anys d'experimentació.

Tractaments:

- 1) Control sense fertilitzar (**C**)
- 2) Fertilització amb purí de porc abans de sembrar, en una dosi de 15, 20 m³ ha⁻¹, per la campanya 2001-2002, i 2002-2003, respectivament (**P**)
- 3) Fertilització amb purí de porc abans de sembrar (amb les mateixes dosis que en el tractament 2) més l'addició de 4 L solució del 25 % de DMPP ha⁻¹ (recomanada per la BASF) (**P+DMPP**)
- 4) Fertilització amb purí de porc abans de sembrar (amb les mateixes dosis que en el tractament 2) més una aplicació de 75 kg N ha⁻¹ de nitrosulfat amònic (NSA 26) en cobertora (**P+NSA**)

5) Fertilització amb purí de porc abans de sembrar (amb les mateixes dosis que en el tractament 2) més l'addició de 4 L solució del 25 % de DMPP ha⁻¹ més una aplicació de 75 kg N ha⁻¹ d'ENTEC 26® en cobertora (**P+DMPP+ENTEC**)

6) Fertilització amb 50 kg N ha⁻¹ i 75 kg N ha⁻¹ de NSA 26 abans de sembrar, per la campanya 2001-2002, i 2002-2003, respectivament i 75 kg N ha⁻¹ de NSA 26 en cobertora, per ambdues campanyes (**NSA**)

7) Fertilització amb 50 kg N ha⁻¹ i 75 kg N ha⁻¹ d'ENTEC 26® abans de sembrar, per la campanya 2001-2002, i 2002-2003, respectivament i 75 kg N ha⁻¹ d'ENTEC 26® en cobertora, per ambdues campanyes (**ENTEC**)

Les quantitats de N, P i K aplicades en cada tractament es mostren a la taula 8.2. El purí contenia un 2,6 i un 6,9 % de matèria seca, pel primer i segon any respectivament. L'aplicació del purí es va portar a terme el 23 de novembre i el 24 d'octubre en la primera i segona campanya respectivament. El DMPP es va afegir al purí en la mateixa cuba just en el moment de l'aplicació. El NSA (6,5% N-NO₃⁻, 19,5% N-NH₄⁺, 15%S) i l'ENTEC ® (7,5% N-NO₃⁻, 18,5% N-NH₄⁺, 13,1%S) és va escampar a mà i es va incorporar en el sòl abans de sembrar el 23 de novembre de 2001 i el 4 de novembre de 2002. Els fertilitzants en cobertora és van aplicar l'11 de març de 2002 i el 18 de març de 2003.

Taula 8.2. Quantitat de nutrients aplicats cada any per cada tractament.

Tractament	2001-2002			2002-2003			NPK aplicat acumulat		
	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
P	29	5	69	145	22	55	174	27	124
P+DMPP	29	5	70	126	48	118	155	53	188
P+NSA	104	5	69	220	22	55	324	27	124
P+DMPP+ENTEC	104	5	70	201	48	118	305	29	128
NSA	125	0	0	150	0	0	275	0	0
ENTEC	125	0	0	150	0	0	275	0	0

Les variables mesurades en aquest estudi van ser el rendiment de gra, la producció de biomassa en 3 estadis (veure taula 8.16 i 8.18 de l'Annex), el N absorbit i acumulat en

la part aèria en 3 estadis (veure taula 8.17 i 8.19 de l'Annex), la concentració de nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn, B i Na) en el gra i la quantitat total absorbida, la temperatura del sòl a diferents profunditats, i els nivells de N-NO_3^- i N-NH_4^+ al perfil del sòl durant el cicle de creixement del cultiu. Totes les mostres de material vegetal van ser pesades i assecades a l'estufa d'aire forçat a 65°C almenys 2 dies per determinar la matèria seca. Es van separar les fulles, la tija i el gra en les diferents mostres de plantes. La quantitat total de nutrients absorbits es va calcular multiplicant la matèria seca per la concentració. La concentració de N es va determinar utilitzant el mètode Kjeldhal i la resta de macro i micronutrients es van analitzar per espectrometria d'emissió atòmica amb Plasma Acoplat per Inducció (ICP). Per les determinacions de nitrats al sòl, es va fer una extracció amb aigua 1:5 i es va analitzar utilitzant l'autoanalitzador Technicon (Anasol 4P2S1BM2P, ICA Instruments, Tonbridge, Kent, UK). La determinació d'amoni al sòl es va efectuar amb una extracció amb KCl i es va analitzar amb l'espectrofotòmetre UV-VIS. La temperatura al sòl va estar registrada durant el segon any d'assaig (entre 10 nov. i 19 març) amb termistors (10TCRT thermocouple reference thermistor, Campell Scientific) utilitzant un datalogger CR10X (Campell Scientific Inc., USA). Pels mostres de sòl es van agafar 5 submostres en l'horitzó superficial (0-30 cm) i 2 submostres per els horitzons subsuperficials de 30-60, 60-90 i 90-120 cm. Durant la segona campanya es va intensificar el mostreig a l'horitzó superficial en els dies consecutius a l'aplicació dels fertilitzants, per un millor seguiment de l'evolució de nitrats i amoni al sòl.

Els índexs que s'han utilitzat per avaluar l'efecte de la productivitat i l'eficiència en els diferents tractament han estat: el N aparentment recuperat (NREC), calculat com descriuen Greenwood i Draycott (1989), l'eficiència fisiològica (EF) i l'eficiència agronòmica (EA), calculats com descriuen Yadvinder-Singh *et al.* (2004) definits a la taula 8.3. Alguns autors es refereixen al NREC com eficiència en l'ús del nitrogen (NUE), per exemple Thomason *et al.* (2000). S'han introduït dues variants dels index utilitzants. En lloc d'utilitzar el N aplicat es refereix al N disponible, que inclou el N aplicat i el N en el sòl en forma de nitrats en els primers 120 cm de profunditat a l'inici de la campanya. Tots els index utilitzats es mostren a la taula núm 8.3.

Taula 8.3. Definició d'índexs d'eficiència per N.

Índexs	Definició	Fórmula
NREC	N aparentment recuperat (%)	$\frac{\text{N absorbit tract. fertilit.} - \text{N absorbit tract. control}}{\text{N aplicat}} * 100$
NREC_{disp}	N aparentment recuperat respecte N disponible (%)	$\frac{\text{N absorbit tract. fertilit.} - \text{N absorbit tract. control}}{\text{N disponible}^{(1)}} * 100$
EF	Eficiència fisiològica (kg gra kg ⁻¹ N absorbit)	$\frac{\text{Rendiment tract. fertilit.} - \text{Rendiment tract. control}}{\text{N absorbit tract. fertilit.} - \text{N absorbit tract. control}}$
EA	Eficiència Agronòmica (kg gra kg ⁻¹ N aplicat)	$\frac{\text{Rendiment tract. fertilit.} - \text{Rendiment tract. control}}{\text{N aplicat}}$
EA_{disp}	Eficiència Agronòmica (kg gra kg ⁻¹ N dispon.)	$\frac{\text{Rendiment tract. fertilit.} - \text{Rendiment tract. control}}{\text{N disponible}^{(1)}}$
LLE	Llindar econòmic (2)	Valor del rendiment en gra que iguala el cost d'una unitat fertilitzant de N aplicat.

(1) Suposem com a N disponible, el N aplicat més el N en forma de nitrats al sòl en els primers 120 cm de profunditat a l'inici de campanya.

(2) El preu del NSA utilitzat ha estat de 0,30 € kg⁻¹, i el preu de l'ENTEC de 0,33 € kg⁻¹ i el preu del blat tou com a 0,249 € kg⁻¹. Tots els preus són preus reals pagats pels agricultors en els cas dels fertilitzants o rebuts en el cas del gra durant el mes de gener de 2008. En el cas dels purins s'ha considerat el cost de la unitat de N corresponent als fertilitzants amb (1,27 € kg⁻¹N) o sense DMPP (1,15 € kg⁻¹N). Per tant a l'hora d'estimar el cost total variable només s'ha considerat la quantitat de N aplicada en cada tractament. Això simplifica els càlculs donada la dificultat de valorar costos com el transport o el cost d'aplicació. I es dona un valor a la unitat fertilitzant sigui quin sigui el seu origen.

Totes les variables són expressades en kg ha⁻¹. Per avaluar la sostenibilitat econòmica dels diferents tractaments s'utilitzen els diferents conceptes econòmics:

- **El producte marginal** és la diferència entre el rendiment en gra de la parcel·la fertilitzada (kg) i el rendiment en gra de la parcel·la control sense fertilitzar (kg).
- **El retorn marginal** s'obté al multiplicar el producte marginal pel preu del blat.
- **El cost total variable** és el cost del fertilitzant utilitzat (quantitat de N aplicat per cost del N). El cost d'aplicar el purí amb la cuba no està comptabilitzat, així com tampoc el cost del DMPP afegit al purí.

- **El benefici brut** és el producte del rendiment de gra pel preu de mercat (considerat $0,249 \text{ € kg}^{-1}$ de blat; Preu de la Lonja de Toledo al Gener de 2008)
- **El benefici net** és el benefici brut menys el cost total variable.
- **El benefici marginal** és la diferència entre el retorn marginal i el cost total variable.

Les condicions meteorològiques durant l'experiment han estat recollides per una estació automàtica (Campbell Sci., Logan, UT) localitzada a El Poal ($41^{\circ}40' \text{ N}$, $00^{\circ}51' \text{ E}$; elev. 227 m) (Xarxa d'estacions meteorològiques. DARP, Generalitat de Catalunya) a uns 5 km del lloc experimental. La precipitació total mensual i la mitjana de l'evapotranspiració de referència mensual es mostren a la taula 8.4.

Taula 8.4. Precipitació mensual total (mm) i ETo mitjana mensual (FAO P-M, mm) durant el cicle del cultiu a El Poal (Pla d'Urgell).

Mes	Mitjana (1990-2007)	Mitjana històrica 1967-2002	2001-2002		2002-2003	
	ETo (mm)	P (mm)	P (mm)	ETo (mm) ⁽¹⁾	P (mm)	ETo (mm) ⁽¹⁾
Setembre	76.8	44.5	1.6	92.9	43.6	84.4
Octubre	46.2	47.1	19.7	54.5	40.6	53.4
Novembre	19.8	35.3	60.9	20.5	32.6	25.0
Desembre	12.4	28.2	18.0	8.2	29.7	13.9
Gener	15.2	23.7	30.5	14.7	21.1	22.9
Febrer	29.3	13.0	10.0	35.2	65.3	28.7
Març	58.8	26.4	26.1	58.6	18.5	73.0
Abril	80.4	40.6	68.3	81.2	27.9	96.4
Maig	109.4	50.9	61.1	109.3	67.1	130.4
Juny	123.0	33.6	27.1	130.0	8.4	159.3
Juliol	134.6	12.3	12.3	142.5	18.1	161.3
Agost	115.1	21.6	49.1	113.6	34.0	144.9
Total		377.2	398.1	861.0	407.0	993.6

⁽¹⁾ Referència pel càlcul de l'evapotranspiració (Allen *et al.*, 1998)

El balanç aproximat de nitrogen per a les dues campanyes, s'ha realitzat utilitzant la següent expressió

$$N_{\text{sòl inici}} + N_{\text{aplicat}} + N_{\text{mineralitzat}} + N_{\text{reg}} = N_{\text{absorbit}} + N_{\text{sòl final}} + N_{\text{no comptabilitzat}}$$

Totes les variables s'expressen en kg N ha⁻¹. El contingut de nitrats a l'aigua de reg s'ha mesurat amb l'aparell portàtil Nitracheck®. Les variables no mesurades en aquest estudi són el N mineralitzat, així com les pèrdues per lixiviació, volatilització i desnitrificació que les valorem com N no comptabilitzat. Per tal de poder obtenir un ordre de magnitud d'aquestes variables, es considera que en el tractament control, el N no comptabilitzat és despreciable, de manera que obtenim un valor orientatiu del N mineralitzat, que es pot considerar igual per a tots els tractaments. Per simplificar més l'equació, no considerem els nivells de N al sòl inicials ni els finals, perquè són baixos en ambdós casos i pertant tenen poc efecte en el balanç

S'ha realitzat un anàlisi de varianza (ANOVA) a totes les dades mitjançant el sistema d'anàlisi estadístic (SAS Institute, 1999). La separació de mitjanes s'ha fet utilitzant el test de Duncan amb un nivell de significació del 10 %.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

Fertilitat del sòl

Les condicions inicials de la fertilitat del sòl, a la tardor del 2001 abans de l'inici de l'experiment indiquen uns nivells normals i no manifesten cap limitació de tipus químic. El contingut de matèria orgànica en els primers 30 cm va ser de 17 g kg^{-1} , un valor normal en terres semiàrides de regadiu. Els continguts de nitrats fins als 120 cm també eren baixos. En els primers 30 cm, el contingut era de $7 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$. En principi, amb aquests continguts de N mineral calia esperar resposta a la fertilització nitrogenada. La textura del sòl és argil·lo-llimosa (USDA-NRCS, 1998) en tot el perfil (En superfície el contingut d'argil·la ha estat de 447 g kg^{-1} i el contingut d'arena de 75 g kg^{-1}). El sòl té un pH de 8,4 i un contingut de CO_3Ca equiv. de 190 g kg^{-1} . El test de P al sòl (STP) ha estat normal (16 mg P kg^{-1}) mentre que el test de K al sòl (STK) ha estat interpretat com a normal-alt (192 mg K kg^{-1}) d'acord amb la FAO (Cottenie, 1980). Per un sòl amb aquests nivells de fertilitat es podria establir un criteri d'aplicació de nutrients per tal de mantenir el P i el K. Els alts nivells de CE (1:5 sòl/aigua) en els horitzons subsuperficials són deguts al contingut en guix.

Evolució del contingut de nitrats i amoni al sòl.

A les taules 8.5 i 8.6 s'observen els resultats de l'evolució dels nitrats i amoni al perfil de sòl durant les dues campanyes de cultiu. Cal destacar una gran variabilitat d'aquests compostos, mostrant en molts casos coeficients de variació superiors al 30 %. Majoritàriament no es veuen diferències entre els tractaments en quant al contingut de nitrats i d'amoni al sòl degut a l'efecte del l'inhibidor de la nitrificació. En un altre experiment realitzat a la zona (Carrasco i Villar, 2001a; Villar *et al.*, 2000) es va demostrar una important acció del DMPP mantenint un 30% del N mineral del sòl en forma amoniacal 4 mesos després de l'aplicació del purí amb DMPP. Una de les causes d'aquests resultats podria ser que el sòl tenia una textura franca. La formació de NO_2^- disminueix i l'eficàcia del DMPP augmenta quan els sòls tenen un contingut més alt en arena (Barth *et al.*, 2001). També s'ha demostrat efectivitat d'altres inhibidors, com la

DCD, controlant el procés de la nitrificació en l'amoni contingut en els purins de porc (Tittarelli *et al.*, 1997).

En l'evolució dels nitrats a l'horitzó superficial (0-30cm) s'ha observat un fort augment de la concentració després de l'aplicació dels fertilitzants en l'aplicació de fons, així com la marcada disminució en el període de màxima absorció del cultiu. El N mineral (N-NO_3^- i N-NH_4^+) que no proporcionen els fertilitzants, prové de la mineralització de la matèria orgànica, dels residus de les collites anteriors i de la descomposició de les arrels. Això es detecta amb el lleuger increment d'aquests paràmetres després del període d'estiu. En l'últim mostreig, el 17/10/2003, es pot veure el N residual dels dos anys d'experiment. No es mostren diferències significatives entre tractament i el contingut de nitrats pràcticament no ha variat respecte als de l'inici de l'assaig (valor promig 13,9 ppm). S'han mesurat nivells de N-NH_4^+ no gens despreciables en tot el perfil, amb una mitjana de 7,4 ppm en els primers 120 cm de profunditat. El contingut de N mineral en el perfil del sòl (0-120 cm) en aquest últim mostreig és de 279,7; 261,9; 260,7; 241,1; 234,2; 289,7 i 285,7 kg N ha⁻¹ pels tractaments de C, P, P+DMPP, P+NSA, P+DMPP+ENTEC; NSA i ENTEC, respectivament. S'ha observat una lleugera disminució del N mineral en els tractaments on s'ha aplicat purí.

Taula 8.5. Contingut de N-NO₃⁻ en el perfil del sòl en els diferents mostrejos al llarg del cicle del cultiu.

Tractament	N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹) de 0-30 cm									
	22/11 2001	18/1 2002	10/04 2002	10/07 2002	17/10 2002	31/10 2002	07/11 2002	18/11 2002	03/07 2003	17/10 2003
C	12,4 a	16,7 b	2,0	8,0 a	12,0 a	17,0 c	15,0 d	21,7 b	6,0	12,0 a
P	13,7 a	19,3 b	1,5	7,7 a	14,7 a	35,0 ab	34,3 bc	35,7 a	8,0	13,3 a
P+DMPP	15,3 a	24,0 b	1,6	7,0 a	15,0 a	29,7 b	29,0 c	36,7 a	8,0	11,3 a
P+NSA	12,9 a	20,0 b	2,1	6,3 a	11,7 a	31,0 b	40,0 abc	39,7 a	8,0	10,0 a
P+DMPP+ENTEC	13,2 a	29,3 ab	1,8	6,0 a	16,0 a	42,3 a	30,7 bc	36,7 a	7,3	14,7 a
NSA	15,4 a	40,7 a	1,2	6,0 a	15,0 a	24,7 bc	45,0 ab	41,3 a	10,0	11,0 a
ENTEC	14,4 a	28,7 ab	1,3	7,3 a	18,0 a	28,7 b	51,7 a	39,3 a	11,0	10,7 a
Tractament	N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹) de 0-120 cm									
	22/11 2001	18/1 2002	10/04 2002	10/07 2002	17/10 2002	31/10 2002	07/11 2002	18/11 2002	03/07 2003	17/10 2003
C	12,4	14,1 ab	1,4	7,7 ab	8,6 ab	NA	NA	NA	5,0	7,6 a
P	12,4	10,0 b	0,8	7,4 ab	8,2 ab	NA	NA	NA	5,0	9,3 a
P+DMPP	12,4	12,3 b	1,1	4,8 b	9,9 a	NA	NA	NA	5,5	7,5 a
P+NSA	12,4	10,2 b	1,5	8,4 a	6,7 b	NA	NA	NA	6,5	7,8 a
P+DMPP+ENTEC	12,4	12,8 ab	1,6	4,7 b	9,4 ab	NA	NA	NA	3,6	7,7 a
NSA	12,4	17,4 a	0,8	5,6 ab	8,5 ab	NA	NA	NA	6,0	9,3 a
ENTEC	12,4	12,7 ab	1,6	5,3 ab	10,6 a	NA	NA	NA	6,0	9,3 a

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999). NA: no analitzat

Taula 8.6. Contingut de N-NH_4^+ en el perfil del sòl en els diferents mostrejos al llarg del cicle del cultiu.

Tractament	N-NH_4^+ (mg kg ⁻¹) de 0-30 cm									
	22/11 2001	18/1 2002	10/04 2002	10/07 2002	17/10 2002	31/10 2002	07/11 2002	18/11 2002	03/07 2003	17/10 2003
C	NA	3.8 a	1.3	NA	NA	5.2 a	9.3 b	3.0 a	NA	9.9 a
P	NA	3.2 a	1.4	NA	NA	6.0 a	12.2 ab	4.1 a	NA	6.9 a
P+DMPP	NA	2.2 a	5.0	NA	NA	4.7 a	15.8 ab	3.2 a	NA	7.6 a
P+NSA	NA	2.6 a	0.5	NA	NA	5.6 a	13.4 ab	2.9 a	NA	8.2 a
P+DMPP+ENTEC	NA	2.6 a	0.4	NA	NA	5.9 a	11.0 b	3.3 a	NA	7.2 a
NSA	NA	2.5 a	0.3	NA	NA	5.9 a	21.8 a	3.2 a	NA	7.7 a
ENTEC	NA	2.6 a	0.9	NA	NA	6.8 a	15.9 ab	2.3 a	NA	8.4 a
Tractament	N-NH_4^+ (mg kg ⁻¹) de 0-120 cm									
	22/11 2001	18/1 2002	10/04 2002	10/07 2002	17/10 2002	31/10 2002	07/11 2002	18/11 2002	03/07 2003	17/10 2003
C	NA	2.8 ab	1.3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9.1 a
P	NA	1.9 b	0.7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6.3 b
P+DMPP	NA	2.0 b	1.7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8.0 ab
P+NSA	NA	2.2 b	1.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6.6 b
P+DMPP+ENTEC	NA	2.1 b	0.6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	6.3 b
NSA	NA	3.2 a	0.7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7.9 ab
ENTEC	NA	2.1 b	0.9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7.7 ab

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999). NA: no analitzat

Les temperatures mitjanes registrades a les profunditats de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30cm, 30-40 cm (Fig. 8.1) estan compreses entre 0,7-11,2; 2,1-11,8, 3.3-12.3, 3.8-12.8, i 4.4-12,8, respectivament. És més, la temperatura màxima de l'horitzó superficial no supera els 15 °C fins al 12 de febrer. Les temperatures de l'aire registrades durant aquest període es troben entre (-2,9) i 12,8 °C. Es mostren alguns perfils d'algunes dates determinades en la figura 8.2.

Irigoyen et al. (2003) destaquen la temperatura com un dels factors més rellevants en l'eficàcia dels inhibidors. A temperatures de 10°C, el contingut de $N-NH_4^+$ al sòl es manté suggerint que el DMPP és capaç de prevenir la nitrificació completament durant un període d'incubació de 105 dies. La metodologia utilitzada no ha permès observar-ho en aquest estudi, malgrat ser un cultiu d'hivern i mantenir-se les temperatures màximes en la fase inicial del cultiu, entre 10 i 15 °C.

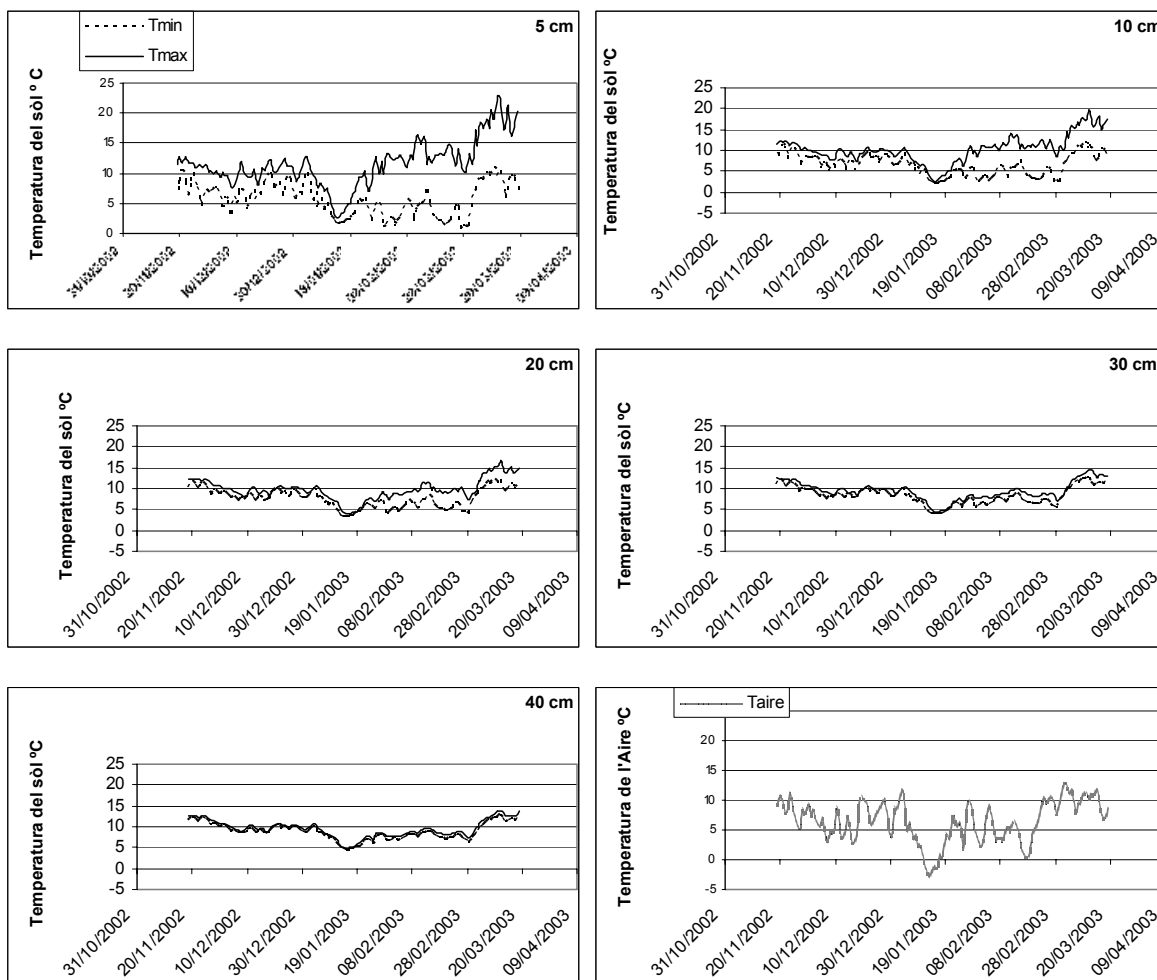


Fig 8.1. Temperatura del sòl a diferents profunditats durant el segon any de l'experiment.

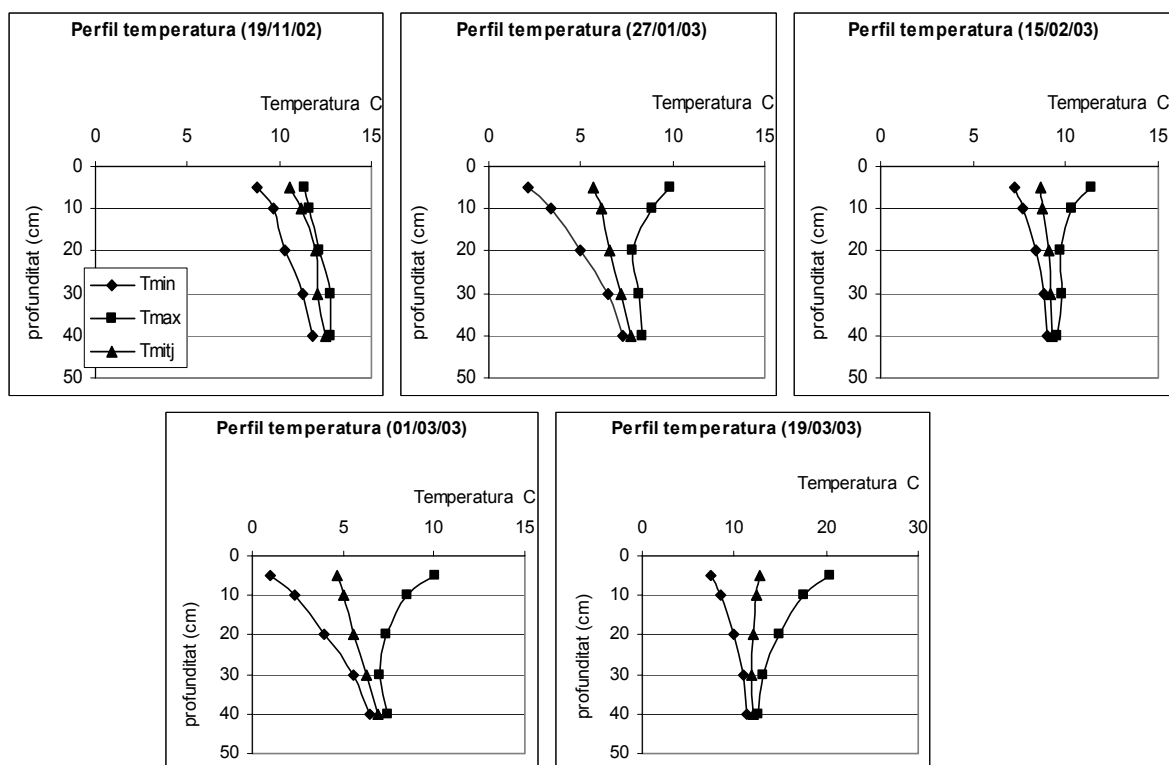


Fig 8.2. Perfils de temperatura al sòl durant la segona campanya en les dates 19/11/02, 27/01/03, 15/02/03, 01/03/03 i 19/03/03.

Rendiment en gra de blat i absorció de nutrients

Els rendiments en gra i els increments respecte al tractament control es mostren a la taula 8.7. La mitjana de rendiment oscil·la entre 4,3 i 6,7 Mg ha⁻¹. Els millors resultats s'han obtingut en el tractament amb fertilitzant mineral més DMPP (ENTECS®), on l'increment promig respecte al tractament control ha estat del 55,1%. En els tractaments amb purí sense cobertora els increments respecte al control han estat entre 12,1 i 20,7 % , però aquests rendiments no difereixen entre ells significativament. No hi ha efecte del DMPP afegit al purí en quant als rendiments. En la segona campanya, els rendiments de blat són significativament més baixos que en la primera, malgrat la quantitat de N aplicada és lleugerament superior. Bàsicament es podria explicar per les condicions meteorològiques de la campanya, ja que els rendiments van ser més baixos a tota l'àrea d'estudi. Per una banda tenim una baixada important de les temperatures a partir de mitjans de desembre que fa que hi hagi un endarreriment del desenvolupament del cultiu, i per l'altre una pujada de temperatures a mitjanats de maig, quan el cultiu es

trobava en antesis, cosa que produeix una disminució important de la producció. Això es confirma en els estudis realitzats per Wheeler et al. (1996), on es demostra que en un estadi avançat d'antesis, quan la meitat de les espigues de la població es troben en floració, una temperatura de 27 °C pot resultar en una gran proporció de grans estèrils. En les condicions meteorològiques de la zona (taula 8.4), durant el període d'ompliment del gra, es van observar una ETo més alta, un major deficit de pressió de vapor i una precipitació més baixa durant la segona meitat de maig.

Taula 8.7. Rendiment del blat, al 12 % humitat, pels diferents tractaments.

Tractament	2001-2002	2002-2003	Mitjana Rendiment en gra (kg ha ⁻¹)	2001-2002	2002-2003	2001-2003
	Rendiment en gra (kg ha ⁻¹)	Rendiment en gra (kg ha ⁻¹)		Increment respecte control (%)	Increment respecte control (%)	Increment respecte control (%)
C	4,943 (541) e	3,730 (423) d	4,336 e	-	-	-
P	5,492 (62) cde	4,695 (576) bcd	5,232 cd	11.1	25.9	20.7
P+DMPP	5,252 (920) de	4,469 (485) cd	4,861 de	6.3	19.8	12.1
P+NSA	6,368 (457) bc	5,313 (334) abc	5,840 bc	28.8	42.4	34.7
P+DMPP+ENTEC	6,140 (697) bcd	5,454 (279) abc	5,797 bc	24.2	46.2	33.7
NSA	6,596 (127) ab	5,603 (1226) ab	6,100 ab	33.4	50.2	40.7
ENTEC	7,349 (320) a	6,099 (451) a	6,724 a	48.7	63.5	55.1

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999). Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3)

La taula 8.8 mostra les concentracions dels tres macronutrients principals en el gra de blat en el moment de la collita. En el cas del potassi destaca que no hi ha diferències en les concentracions, amb un valor mitjà del 0,45% el primer any i 0,48% el segon. Això demostra que els nivells inicials de potassi en el sòl són suficients i que no hi ha resposta a l'aportació de potassi que contenen els purins. Per exemple, el ITGA de Navarra (Irañeta et al., 2000) o la Universitat de Nebraska (Blumenthal i Sander, 2002), a partir de 150 ppm de K en el primer cas i de 125 ppm de K en el segon cas, recomanen no aportar potassi al cultiu de blat.

Les concentracions mitjanes de P al gra en el primer any han estat de 0,41%, no havent-se trobat diferències entre els diferents tractaments. Igual que en el cas del potassi, hi ha parcel·les que no han rebut P com per exemple la parcel·la control o les que tenen tractament exclusivament amb fertilitzants minerals, mentre que en les parcel·les que han rebut purins, han rebut una certa quantitat de P. Igual que en el K, el contingut de P inicial en el sòl no feia preveure una resposta a l'aplicació de P. En els rendiments més alts del segon any s'observa, per un efecte de dilució, una concentració significativament més baixa de P. En cap cas això suposa uns nivells deficitaris de P en el gra.

Un treball de Greaves i Hirst publicat a l'any 1929 ja indicava que el contingut mitjà de potassi del gra de blat era del 0,476% amb un valor màxim del 0,96% i un mínim de 0,307% per les condicions de l'estudi. En el cas del fòsfor, el contingut mitjà del blat era del 0,331% amb un màxim de 0,438 i un mínim de 0,150%.

Taula 8.8. Concentració de N, P i K al gra i contingut de proteïna al gra (Contingut de N kjeldahl al gra * 5,7)

Tractament	2001-2002				2002-2003			
	Concentració (%)			Proteïna Gra (%)	Concentració (%)			Proteïna Gra (%)
	N	P	K		N	P	K	
C	1,81 b	0,41 a	0,45 a	10,3	1,85 b	0,46 a	0,48 a	10,5
P	1,79 b	0,41 a	0,46 a	10,2	1,92 b	0,46 a	0,49 a	10,9
P+DMPP	1,81 b	0,41 a	0,44 a	10,3	1,87 b	0,46 a	0,49 a	10,7
P+NSA	1,81 b	0,41 a	0,46 a	10,3	2,38 a	0,44 b	0,47 a	13,6
P+DMPP+ENTEC	1,82 b	0,40 a	0,44 a	10,4	1,94 b	0,43 b	0,47 a	11,1
NSA					2,13			
	1,93 ab	0,39 a	0,44 a	11,0	ab	0,42 b	0,47 a	12,1
ENTEC	2,03 a	0,41 a	0,45 a	11,6	1,99 b	0,44 b	0,49 a	11,3

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999).

A la taula 8.9 es mostra la concentració d'alguns macro i micronutrients en gra en les dues campanyes. La concentració de coure al gra augmenta lleugerament en la segona campanya respecte a la primera. Igualment hi ha un increment del valor mig de la concentració al gra de Zn i Fe passant de 44 ppm a 58 ppm i de 48 a 62 ppm, respectivament. La concentració de Na i de B presenten un coeficient de variació de més del 20 % degut al mètode analític.

Taula 8.9. Concentració de macronutrients secundaris i alguns micronutrients en el gra de blat.

Tractament	2001-2002								
	Concentració (%)			Concentració (ppm)					
	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu*	Fe	Na	B
C	0,04 a	0,15 a	0,20 a	39,0 a	48,3 a	Ip ab	51,3 a	154,7 b	5,0 b
P	0,05 a	0,16 a	0,19 a	39,5 a	45,5 abc	Ip b	43,0 a	123,5 b	5,7 b
P+DMPP	0,06 a	0,15 a	0,21 a	38,7 ab	45,7 abc	Ip ab	54,7 a	258,5 a	13,0 a
P+NSA	0,06 a	0,15 a	0,18 a	35,7 ab	47,7 ab	1,3 a	48,0 a	181,7 b	8,0 ab
P+DMPP+ENTEC	0,04 a	0,15 a	0,19 a	35,7 ab	40,3bc	Ip ab	51,3 a	217,0 ab	5,7 b
NSA	0,04 a	0,15 a	0,21 a	35,0 b	39,0 c	Ip ab	39,0 a	230,7 ab	5,7 b
ENTEC	0,04 a	0,15 a	0,19 a	36,3 ab	44,0 abc	1 a	54,3 a	157,0 b	8,0 ab
Tractament	2002-2003								
	Concentració (%)			Concentració (ppm)					
	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu	Fe	Na	B
C	0,04 b	0,16 ab	0,25 a	36,3 ab	62,3 ab	1,7 a	55,7 b	111,0 b	5,3 ab
P	0,07 a	0,17 a	0,27 a	38,3 a	86,3 a	2,0 a	103,0 ab	216,3 a	4,7 ab
P+DMPP	0,04 b	0,16 ab	0,25 a	36,3 ab	51,3 b	1,7 a	73,7 ab	129,7 b	4,7 ab
P+NSA	0,05 b	0,16 b	0,25 a	32,3 c	49,7 b	1,3 a	58,7 b	120,0 b	3,3 b
P+DMPP+ENTEC	0,05 ab	0,16 b	0,27 a	32,7 c	47,7 b	1,7 a	48,0 b	106,7 b	3,3 b
NSA	0,04 b	0,16 b	0,27 a	31,0 c	49,3 b	1,7 a	59,7 b	129,0 b	6,0 a
ENTEC	0,05 ab	0,16 ab	0,28 a	33,0 bc	50,3 b	1,7 a	168,67 a	165,7 ab	4,7 ab

* Els tractaments amb resultat inapreciable (ip) s'han considerat com a valor 0 per poder realitzar el tractament estadístic.

Els nutrients totals absorbits es mostren a les taules 8.10 i 8.11. La quantitat total de N exportat pel gra, va oscil·lar entre els 78,8 kgN/ha del tractament control i els 131,4 kgN/ha del tractament ENTEC en el període 2001-2002. A diferència de les concentracions de N al gra, aquí les diferències en la quantitat de matèria seca produïda han provocat importants diferències en la quantitat total de N absorbit entre els tractaments. En el segon any experimental es manté la mateixa tònica i la quantitat total absorbida oscil·la entre els 60,7 kgN/ha del tractament control i els 112,3 kgN/ha del tractament amb purí i cobertora amb nitrosulfat amònic.

La quantitat total de P present en el gra, oscil·la entre els 17,9 kgP/ha del tractament control i els 26,3 kgP/ha del tractament ENTEC en el primer any d'assaig. En el segon any els valors mínim i màxim es corresponen amb els mateixos tractaments i van oscil·lar entre el 15 kgP/ha i els 23,4 kgP/ha. El tractament ENTEC va absorbir la major quantitat de P, provinent exclusivament del P present en el sòl a l'inici de l'assaig. Això s'explica com un dels efectes indirectes que tenen els inhibidors de la nitrificació en la micro acidificació a nivell de rizosfera i el seu efecte en l'absorció de P. Fet que ja es va demostrar en el capítol 1 i 2. Això és causa de la interacció entre millor producció i major concentració. En el tractament ENTEC, la concentració de P és un 0,02 % més alta a les dues campanyes. Malgrat ser un increment lleuger, fa que a nivell d'absorció total de P al gra es mostrin diferències significatives entre l'ENTEC i el NSA, mentre que a nivell de producció no difereixen significativament. Pasda *et al.* (2001) exposen que el DMPP millora la disponibilitat d'aquells elements que són transportats fins a la superfície de les arrels, com el P, Fe, Zn, Cu i Mn, ja que es produeix una acidificació a la zona de la rizosfera. Malgrat no haver-hi diferències significatives l'absorció de Fe, Zn, Cu i Mn van ser lleugerament superior en el tractament ENTEC. En el cas dels tractament amb purí, no es veu aquest efecte per l'addició del DMPP en general, sinó més aviat el contrari.

La quantitat de K absorbida i present en el gra va ser superior els dos anys en el tractament ENTEC, essent 29,1 kgK/ha i 26,3 kgK/ha respectivament. Igual que en el cas del fòsfor i del nitrogen les exportacions més baixes per part del gra corresponen al tractament control. Al igual que el P, el tractament ENTEC és el que millor absorció total de K té, essent significativament diferent dels altres tractaments, i en aquest cas la

concentració de K és 0,01 i 0,02 % més alta a la primera i a la segona campanya respectivament.

La quantitat de S que s'ha aportat en les dues campanyes amb els fertilitzants minerals és de 158 i 138 kg S ha⁻¹ per els tractaments NSA i ENTEC, respectivament i 86 i 76 kg S ha⁻¹ amb les cobertores de NSA i ENTEC, respectivament. Hi ha un efecte gradual en l'absorció total de S al gra que va des de 16,8 fins a 27,5 kg S ha⁻¹ en funció de la quantitat de sofre aplicada. El valor més alt correspon a una exportació de 15,2 kg S ha⁻¹ en el tractament d'ENTEC en la campanya del segon any, essent una diferencia significativa.

De la mateixa manera, les absorcions de la resta de macronutrients secundaris com el Ca i el Mg han estat relacionades amb la producció de matèria seca i no en la seva concentració en el gra. Les exportacions amb el gra de magnesi (Mg) han estat inferiors a les de sofre (S) i les de Mg superiors a les de Calci (Ca).

Entre les micronutrients analitzats, ja que no s'inclouen el Clor (Cl), el manganès (Mn) i el níquel (Ni), les absorcions més altes, presents en el gra, corresponen al Fe. Les quantitats màximes han estat de l'ordre dels 400 g Fe/ha (tractament ENTEC i segon any). El sodi que es un element beneficiós per l'alimentació en general, però que no és un nutrient essencial suposa exportacions de l'ordre de 1kg de Na per ha.

Taula 8.10 Absorció total de N, P i K en el gra

Tractament	2001-2002			2002-2003			Absorció total durant les 2 campanyes (kg ha ⁻¹)		
	Absorció total (kg ha ⁻¹)			Absorció total (kg ha ⁻¹)			N	P	K
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
C	78.8 d	17.9 c	19.7 c	60.7 d	15.0 c	15.8 d	139.6 d	32.9 d	35.5 d
P	86.5 cd	19.8 bc	22.0 bc	79.3 bcd	18.9 b	20.2 bc	169.6 cd	39.5 bc	43.0 bc
P+DMPP	83.6 cd	18.8 bc	20.2 c	73.0 cd	18.0 bc	19.1 cd	156.7 cd	36.8 cd	39.3 cd
P+NSA	101.8 bc	23.0 ab	25.6 ab	112.3 a	20.4 ab	22.1 bc	214.1 ab	43.4 b	47.7 b
P+DMPP+ENTEC	99.0 bcd	21.7 bc	24.0 bc	93.7 abc	20.6 ab	22.5 abc	192.6 bc	42.3 bc	46.5 b
NSA	111.9 ab	22.4 ab	25.4 ab	105.4 ab	20.8 ab	23.4 ab	217.3 ab	43.3 b	48.7 b
ENTEC	131.4 a	26.3 a	29.1 a	106.8 ab	23.4 a	26.3 a	238.2 a	49.7 a	55.4 a

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999).

Taula 8.11. Macronutrients secundaris i alguns micronutrients absorbits al gra de blat.

Tractament	2001-2002								
	Absorció total (kg ha ⁻¹)								
	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu	Fe	Na	B
C	1.9 c	6.7 c	8.6 b	0.17 b	0.21 a	0.006 ab	0.23 a	0.69 a	0.02 b
P	2.2 bc	7.5 bc	9.2 b	0.19 b	0.22 a	0.001 c	0.21 a	0.60 a	0.02 b
P+DMPP	2.7 ab	6.9 bc	9.9 ab	0.18 b	0.21 a	0.003 ab	0.26 a	1.22 a	0.04 ab
P+NSA	3.2 a	8.6 ab	10.3 ab	0.20 ab	0.27 a	0.007a	0.27 a	1.03 a	0.04 ab
P+DMPP+ENTEC	2.2 bc	8.3 abc	10.3 ab	0.19 ab	0.22 a	0.002 bc	0.29 a	1.23 a	0.03 ab
NSA	2.3 bc	8.5 ab	12.0 a	0.20 ab	0.23 a	0.002 bc	0.23 a	1.34 a	0.03 ab
ENTEC	2.8 ab	9.9 a	12.3 a	0.24 a	0.28 a	0.006 ab	0.36 a	1.02 a	0.05 a
Tractament	2002-2003								
	Absorció total (kg ha ⁻¹)								
	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu	Fe	Na	B
C	1.3 c	5.4 d	8.2 d	0.12 c	0.21 b	0.006 a	0.18 c	0.37 c	0.02 ab
P	2.9 a	6.9 bc	11.3 bc	0.16 ab	0.34 a	0.008 a	0.35 ab	0.91 a	0.02 ab
P+DMPP	1.6 bc	6.4 cd	10.0 cd	0.14 bc	0.20 b	0.007 a	0.29 abc	0.51 bc	0.02 ab
P+NSA	2.2 abc	7.3 bc	11.9 bc	0.15 ab	0.23 b	0.006 a	0.28 abc	0.55 bc	0.02 b
P+DMPP+ENTEC	2.4 abc	7.5 bc	12.8 ab	0.16 ab	0.23 b	0.008 a	0.23 bc	0.51 bc	0.02 b
NSA	2.1 abc	7.7 ab	13.5 ab	0.15 ab	0.24 ab	0.008 a	0.30 abc	0.64 b	0.03 a
ENTEC	2.7 ab	8.8 a	15.2 a	0.18 a	0.27 ab	0.009 a	0.40 a	0.90 a	0.02 ab

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999). Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3) .

S'ha analitzat el rati N/S en el gra (taula 8.12). El percentatge de sofre en el gra és superior al 0,12% que és el llindar que indica deficiència (Havlin et al, 2005). Els continguts en sofre són similars entre tractaments, i la diferència es troba entre anys. La mitjana de S en el gra en el primer any és del 0,20 % mentre que en el segon any és del 0,27%. Pel que fa a la relació N/S, es considera òptim al voltant de 17. En el primer any els ratis dels diferents tractaments varien entre 8,45 i 10,67, essent la mitjana de 9,49. En el segon any els ratis dels diferents tractaments varien entre 7,02 i 9,35, essent la mitjana de 7,60. Aquest índex tan baix s'explica per un contingut baix de nitrogen o per un contingut molt alt de sofre, però no per una deficiència de sofre. Les característiques dels sòls de la zona, rics en sulfats, permeten explicar la situació descrita.

El rati P/Ca ha estat de 8,8 de mitjana en el primer any i de 9,4 en el segon any (Taula 8.12). Les concentracions de Ca en el gra ha estat similar entre els diferents tractaments essent la mitjana de 0,05% en els dos anys d'estudi. Les reaccions acidificants dels fertilitzants nitrogenats, en general, han afavorit l'absorció de Ca, igual que un major desenvolupament radicular, tot i que el Ca es transportat a les arrels per flux de massa. No obstant una part significativa del Ca és subministrat a les arrels per intercepció de l'arrel directa amb l'element. Si bé les concentracions no són diferents si que ho han estat les absorcions de Ca per part del cultiu tal com mostra la taula 8.11. Els tractaments control són els que han absorbit menys Ca des del sòl. Aquests ratis s'utilitzen sobre tot i tenen el seu interès en alimentació animal.

Taula 8.12. Ratis de macronutrients en el gra de blat.

Tractament	N/S		P/Ca	
	2001-2002	2002-2003	2001-2002	2002-2003
C	10,4	8,4	9,4	11,5
P	10,7	8,0	9,0	6,5
P+DMPP	9,6	8,4	7,0	11,3
P+NSA	11,2	10,6	7,2	9,3
P+DMPP+ENTEC	10,9	8,3	9,9	8,6
NSA	10,6	8,8	9,7	9,9
ENTEC	12,1	8,0	9,4	8,7
Mitjana	10,8	8,6	8,8	9,4

La quantitat total de N absorbit en el gra i la palla (taula 8.13) per les dues campanyes va ser entre 184,5 kg N ha⁻¹ pel tractament control (92,3 kg N ha⁻¹ i any) i 312,3 kg N ha⁻¹ pel tractament ENTEC (156,2 kg N ha⁻¹ i any). Els tractament amb purí (amb i sense DMPP) van tenir més N absorbit per la part aèria que el tractament control i significativament inferior als tractaments on es va aplicar cobertura. Si mirem l'evolució de N total absorbit en la primera campanya (taula 8.17 de l'Annex) veiem que des del principi es desmarquen els dos tractaments amb fertilitzant mineral, indicant una resposta més ràpida del cultiu que no amb l'aplicació de purins. En el cas de les cobertores aplicades en els tractament amb purí de fons, veiem com hi ha una resposta molt ràpida de l'aplicació de NSA mentre que no s'observa en l'aplicació de l'ENTEC. A la segona campanya succeeix el mateix en les cobertores, però més atenuat (taula 8.19 de l'Annex).

Taula 8.13. N total absorbit per la part aèria de la planta (gra, tija i fulles) en el moment de la collita, i índex de collita pel N absorbit al gra respecte al total.

Tractament	2001-2002		2002-2003		Ambdues campanyes		
	Absorció total (kg ha ⁻¹)	Índex de collita pel N (%)	Absorció total (kg ha ⁻¹)	Índex de collita pel N (%)	N total absorbit (kg ha ⁻¹)	Increment respecte control (kg ha ⁻¹)	Increment respecte control (%)
C	108,5 e	72,5	76,0 d	79,9	184,5 d		
P	128,0 cde	67,7	105,3 bc	75,1	236,0 c	51,5	27,9
P+DMPP	123,5 de	67,8	93,2 cd	78,5	216,7 cd	32,2	17,5
P+NSA	151,6 b	67,1	141,6 a	78,6	293,2 ab	108,7	58,9
P+DMPP+ENTEC	133,2 bcd	74,3	125,2 ab	74,2	258,4 bc	73,9	40
NSA	147,1 bc	76,1	134,4 a	78,0	281,5 ab	97,0	53
ENTEC	172,0 a	76,3	140,4 a	76,0	312,3 a	127,8	69,2

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999). Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3)

A la taula 8.13 es calcula l'índex de collita pel N com el percentatge del N total absorbit i present en el gra (taula 8.10) respecte al N total absorbit i present en la part aèria (taula 8.13). El valor promig de l'índex de collita pel N és de 71,6 i de 77,2 % per la primera i segona campanya, respectivament. En la primera campanya hi ha una diferència considerable entre els tractaments amb purí, excepte el P+DMPP+ENTEC, i la resta de tractaments. A la segona campanya, malgrat obtenir en general uns rendiment més baixos, es pot veure com l'índex de collita pel nitrogen són superiors als de la campanya anterior. Follet *et al.* (1991) per blat d'hivern obtenien valors entre el 74% i el 86% (80% de mitjana)

Balanç de N

Els resultats del balanç hipotètic es mostren a la taula 8.14. El contingut de nitrats a l'aigua de reg es bastant constant i dona valors de 29 ppm NO_3^- en la primera campanya i de 31 ppm NO_3^- en la segona. Per estimar les aportacions de N mitjanes de l'aigua de reg s'han estimat de l'ordre de 20 kg ha^{-1} per any. El N absorbit (gra+palla) pel tractament control ha estat de 184,5 kg N ha^{-1} , si restem el N aportat pel reg en les dues campanyes, que és de l'ordre de 40,6 kg N ha^{-1} , queda un valor de 143,8 kg N ha^{-1} , que faria referència al N mineralitzat durant els dos anys. L'ordre de magnitud del N no comptabilitzat és de 158,2 kg N ha^{-1} pels tractaments amb purí aplicat en fons, de 64,5 kg N ha^{-1} pels tractaments de purí amb cobertora i de 128,1 kg N ha^{-1} pels tractaments amb fertilitzant minerals i cobertora. Si considerem que majoritàriament el N no comptabilitzat són les pèrdues de N per lixiviació, desnitrificació i volatilització, tenim un ordre de magnitud de pèrdues respecte a les entrades de N del 45 % pels tractaments de purí en fons, del 13 % pels tractaments de purí amb cobertora i del 28 % pels tractaments amb fertilitzant minerals i cobertora.

Taula 8.14. Balanç hipotètic de N considerant ambdues campanyes. Totes les variables estan expressades en kg N ha⁻¹

Tractament	N aplicat	N reg	N min	N absorbit	N no comptab.	N no compt respecte entrades N (%)
C	0,0	40,6	143,8	184,5		
P	174,1	40,6	143,8	222,2	151,5	42,2
P+DMPP	155,1	40,6	143,8	216,7	164,9	48,5
P+NSA	324,1	40,6	143,8	293,2	72,4	14,2
P+DMPP+ENTEC	305,1	40,6	143,8	258,3	56,6	11,6
NSA	275,0	40,6	143,8	281,5	109,9	23,9
ENTEC	275,0	40,6	143,8	317,8	146,2	31,8

Índexs de l'eficiència en l'ús del nitrogen

Els diferents índexs de l'eficiència en l'ús del nitrogen es mostren a la taula 8.15. El N aparentment recuperat (NREC) promig va ser superior en els tractament amb fertilitzants minerals. El promig de les dues campanyes va entre el valor més baix de 20,9 % del tractament P+DMPP i el valor més alt del 46,5% del tractament ENTEC. En un estudi de les mateixes característiques realitzat a la zona (Guillaumes et al., 2006), amb quatre campanyes seguides de blat (1999-2003), s'obtenien valors promitjos de 80,4 pel tractament de purí i 50,5 pel tractament de purí més cobertura. Malgrat que aquests valors són relativament alts, per tenir un ordre de magnitud de l'eficiència dels fertilitzants nitrogenats en cereals, s'està parlant d'un valor mitjà de 42 % en los països desenvolupats (Raun i Johnson, 1999). En general es considera que la quantitat de N que aparentment es recupera és inferior al 50% en els sistemes de producció de blat (Thomason et al., 2000). En l'estudi de Smith i Chambers (1992) els valors de NREC estimatiu per blat d'hivern aconseguit era molt variable entre el 30 i el 90 %. En els dos anys de l'estudi el valor més alt pel que fa als fertilitzants minerals s'ha obtingut en el tractament amb ENTEC, superant lleugerament, en el primer any, al 50%. Donat que les quantitats aplicades són molt diferents entre tractaments, només són comparables aquells tractaments on s'ha aplicat una quantitat igual o similar, d'acord amb la taula 8.2. També se sap, i és obvi, que aquest índex disminueix al augmentar les dosis de nitrogen aplicades.

L'efecte del DMPP, que ha estat positiu en els fertilitzants minerals, es mostra negatiu quan s'afegeix als purins. El NREC promig de la segona campanya és inferior en un 15,2 % degut als rendiments més baixos i com a conseqüència el N absorbit total.

El N aparentment recuperat també s'expressa en funció del N disponible. Aquest és un indicador molt interessant ja que mostra l'aprofitament que tenen els cultius del N disponible independentment del seu origen o font de subministrament. En el conjunt de les dues campanyes aquest valor oscil·la entre 9,3 i el 28,6%. Aquesta dada té unes implicacions en el maneig del N importants. Sobre tot pel que fa a l'ús de les anàlisis de sòls, la seva interpretació i les possibles recomanacions a l'hora d'escollir la dosi, el moment i la forma del fertilitzant.

L'eficiència agronòmica (EA), també coneguda com a productivitat marginal, va ser, de mitjana per les dues campanyes, de 15,3 i 11,3 kg extra de gra per kg N aplicat pel tractament ENTEC i NSA, respectivament. El valors més baixos es van obtenir pel tractament de P+DMPP. Els tractaments de purí amb cobertora van mostrar valors similars d'EA. Aquest índex és el que es compara amb el llindar econòmic (LLE). En tots els casos, des del punt de vista econòmic ha estat justificada l'aplicació de nutrients ja que $EA > LLE$. Per tots els tractaments l'EA ha estat superior al llindar econòmic, de manera que en certa mesura tots els tractaments serien rendibles.

L'eficiència fisiològica (EF) en la segona campanya (dades no mostrades però fàcilment calculades com a $EA * 100 / NREC$) van ser lleugerament superiors pels tractaments amb IN. Es pot destacar el resultat promig de les dues campanyes pel tractament del purí més cobertora, essent aquest 14,4 kg de gra més produït per kg N absorbit pel fet d'afegir el DMPP. Yadvinder-Singh et al (2004) van utilitzar els mateixos índexs per analitzar les dades en el cultiu de blat. Aquest autors van obtenir valors lleugerament superiors per NREC, EA i EF però en el mateix interval.

Taula 8.15. Índexs d'eficiència calculats en els 2 anys d'experiments.

	Tractament	NREC (%)	NREC _{disp} (%)	EA (kg kg ⁻¹)	EA _{disp} (kg kg ⁻¹)	EF (kg kg ⁻¹)	LLE
2001-2002	C					40,1	
	P	67,2	8,8	16,6	2,2	37,9	1,3
	P+DMPP	51,7	6,8	9,3	1,2	37,5	1,3
	P+NSA	41,4	14,6	12,0	4,2	37,1	3,9
	P+DMPP+ENTEC	23,8	8,3	10,1	3,6	40,9	5,3
	NSA	30,9	12,2	11,6	4,6	39,5	4,6
	ENTEC	50,8	20,0	16,9	6,7	37,8	5,1
2002-2003	C					43,3	
	P	20,2	10,3	5,9	2,9	39,2	1,5
	P+DMPP	13,7	5,9	5,2	2,4	42,3	1,7
	P+NSA	29,8	19,8	6,3	4,2	33,6	2,7
	P+DMPP+ENTEC	24,5	13,5	7,5	4,2	38,7	3,6
	NSA	38,9	20,1	11,0	5,7	36,6	4,6
	ENTEC	46,6	21,1	13,9	6,3	37,2	5,1
2001-2003	C					41,4	
	P	29,6	14,1	9,1	4,3	39,1	
	P+DMPP	20,8	9,3	6,0	2,7	39,5	
	P+NSA	33,5	21,1	8,2	5,1	35,2	
	P+DMPP+ENTEC	24,2	14,9	8,4	5,2	39,8	
	NSA	35,3	20,8	11,3	6,6	38,2	
	ENTEC	46,5	28,6	15,3	9,0	37,5	

NREC: N Recuperat respecte al N aplicat, NREC_{disp}: N Recuperat respecte al N disponible (N aplicat + N-NO₃⁻ als primers 120 cm de sòl a l'inici de campanya), AE: Eficiència Agronòmica respecte al N aplicat, AE_{disp}: Eficiència Agronòmica respecte al N disponible (N aplicat + N-NO₃⁻ als primers 120 cm de sòl a l'inici de campanya), NUtE: Eficiència en la utilització del N i LLE: Llinar econòmic

Avaluació econòmica

Els índexs per a l'avaluació econòmica es mostren a la taula 8.15. No es gaire comú fer una avaluació econòmica en l'experimentació agronòmica donat que els preus fluctuen dintre d'un mateix any. En el present estudi la situació s'analitza amb els preus reals durant el gener del 2008. Els preus reals han variat molt des del moment en que es va fer l'assaig. Per exemple el blat ha passat de 0,14 €/kg l'any 2003 als 0,249 €/kg l'any 2008. Els increments del cost de la unitat de nitrogen han tingut una pujada similar.

L'anàlisi feta amb les dades de l'any 2003 dona resultats absoluts molts diferents, però els valors relatius són similars entre els diferents tractaments.

En tots els tractaments es va obtenir un retorn positiu pel fet de fertilitzar tant en productes orgànics com amb productes minerals. Els retorns marginals més alts corresponen al tractament ENTEC en els dos anys d'assaig. Suposa un valor proper als 600 € ha⁻¹. El benefici brut més elevat és en els dos anys per el tractament ENTEC (1829 € ha⁻¹ el primer any i 1519 € ha⁻¹ el segon any). Lògicament, els valor més baixos són pel tractament control. Els agricultors haurien de parar d'aplicar quantitats addicionals de N quan el retorn marginal és inferior al cost total variable. El benefici marginal ha de ser més gran de zero. Això succeeix en tots els tractaments. El valor més baix va ser pel tractament P+DMPP en ambdues campanyes. El benefici marginal més alt correspon al tractament amb ENTEC. El primer any és de 440 € ha⁻¹ i el segon any 399 € ha⁻¹.

Per tant des del punt de vista econòmic l'ús de l'ENTEC en blat d'hivern en aquests dos anys experimentals ha resultat rendible. Les experiències amb fertilitzants proporcionen sempre molta variabilitat en els resultats i fan que la seva interpretació sigui difícil. Des d'un punt de vista científic el que es pot concluir des del punt de vista econòmic és que l'ús d'inhibidors de la nitrificació com el DMPP apunta a una major eficiència en l'ús del nitrogen i que el preu lleugerament superior pot justificar el seu ús. Evidentment dos anys i en un únic camp d'experimentació no permet generalitzar conclusions i es recomana continuar amb aquests tipus d'experiments per comprovar a més llarg termini i en diferents sòls la resposta del blat tou d'hivern a l'ús d'IN.

Taula 8.16 Índexs per a l'avaluació econòmica

Tractaments	Producte marginal (kg ha ⁻¹)	Retorn marginal (€ ha ⁻¹)	Cost del N (€ kg ⁻¹ N)	Cost total variable (€ ha ⁻¹)	Benefici Brut (€ ha ⁻¹)	Benefici Net (€ ha ⁻¹)	Benefici marginal (€ ha ⁻¹)
2001-2002							
C					1230,8	1230,8	
P	549,0	136,7	1,15	33,35	1367,5	1334,2	103,35
P+DMPP	309,0	76,9	1,27	36,83	1307,7	1270,9	40,07
P+NSA	1425,0	354,8	1,15	86,25	1585,6	1499,4	268,55
P+DMPP+ENTEC	1197,0	298,1	1,27	95,25	1528,9	1433,6	202,85
NSA	1653,0	411,6	1,15	143,75	1642,4	1498,7	267,9
ENTEC	2406,0	599,1	1,27	158,75	1829,9	1671,2	440,4
2002-2003							
C					928,8	928,8	
P	965,0	240,3	1,15	166,75	1169,1	1002,3	73,55
P+DMPP	739,0	184,0	1,27	160,02	1112,8	952,8	23,98
P+NSA	1583,0	394,2	1,15	86,25	1322,9	1236,7	307,95
P+DMPP+ENTEC	1724,0	429,3	1,27	95,25	1358,0	1262,8	334,05
NSA	1873,0	466,4	1,15	172,5	1395,1	1222,6	293,9
ENTEC	2369,0	589,9	1,27	190,5	1518,7	1328,2	399,4

El preu del blat s'ha considerat de 0,249 € kg⁻¹

Evidentment qualsevol nova estratègia de gestió del N no s'hauria d'adoptar si no suposa un benefici econòmic.

4. CONCLUSIONS

No es veu un efecte clar del DMPP en l'evolució del contingut de N-NO_3^- i N-NH_4^+ al perfil del sòl (0-120 cm).

No hi ha tampoc un efecte clar del DMPP aplicat juntament amb els purins de porc en el rendiment, absorció de macro i micronutrients al gra, ni el l'absorció de N en la part aèria de la planta. Si que es pot destacar aquest efecte en els fertilitzants minerals (ENTEC) obtenint un millor rendiment, una millor absorció de N, P i K al gra, i una millor absorció de N a la part aèria degut a l'addició del DMPP.

Segons un balanç hipotètic de N, cal destacar que les pèrdues respecte al N aplicat són molt elevades superant en tots els tractament, excepte l'ENTEC, el 50 %. Aquests resultats també s'evidencien en els baixos valors de NREC obtinguts, sobretot en la segona campanya.

Tots els tractaments tenen una eficiència agronòmica superior que el llindar econòmic, fent que siguin tots rendibles. De mitjana, el major benefici net ha estat pel tractament ENTEC, amb un valor de $1499,7 \text{ € ha}^{-1}$. El benefici net més baix va ser pel tractament C, amb un valor de $1079,8 \text{ € ha}^{-1}$. El benefici net obtingut per tots els tractaments es superior que el tractament sense fertilització. En aquest experiment realitzat durant dues campanyes, el benefici net és superior en els tractaments on s'aplica un suport de N en cobertora després de l'aplicació del purí en fons, que ens els tractaments en una sola aplicació de purí en pre-sembra.

5. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

ALLEN, R.G.; PEREIRA, S.L.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma. FAO. Irrigation and Drainage Paper n. 56

BAÑULS J.; QUIÑONES A.; PRIMO-MILLO E.; LEGAZ F. 2001. A new nitrification inhibitor (DMPP) improves the nitrogen fertilizer efficiency in citrus-growing systems. *In* W.J. Horst et al. (Eds). Plant Nutrition- Food Security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research. 776-777. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

BARTH, G.; von TUCHER, S.; SCHMIDHALTER, U. 2001. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpirazole phosphate as a nitrification inhibitor. *Biology and Fertility of Soils* 34 (2), pp.98-102.

BLUMENTHAL, J.M.; SANDER, D.H. 2002. Fertilizing winter wheat I: Nitrogen, potassium, and micronutrients. (on line, www.ianrpubs.unl.edu issued July 2002)

CARRASCO I., VILLAR J.M., ARAN M., VILLAR P., GONZÁLEZ X., FERRER F. 2000a. La millora de l'ús del nitrogen mitjançant la utilització d'inhibidors de la nitrificació. IV Congrés ICEA. 6pp.

CARRASCO I., VILLAR J.M., FERRER F. 2000b. Effects of nitrification inhibitor DMPP on nitrogen use efficiency and corn production. 3rd International Crop Science Congress 2000. Hamburg 17-22 August. Book of Abstracts. 195.

CARRASCO I.; VILLAR J.M. 2001a. Field evaluation of DMPP as a nitrification inhibitor in the area irrigated by the Canal d'Urgell (Northeast Spain). *In* W.J. Horst et al. (Eds). Plant Nutrition- Food Security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research, pp. 764-765. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

CARRASCO, I.; VILLAR, J.M. 2001b. Uso de inhibidores de la nitrificación en suelos fertilizados con purinas de cerdo, *En* : Aplicación Agrícola de residuos orgánicos. BOIXADERA, J. i TEIRA, M.R. (eds) pp. 245-260. Servicio de publicaciones de la UdL.

COTTENIE, A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations, FAO, Rome, *Soils Bull*, No, 38/2, pp, 1-100,

FOLLETT, R.F.; KEENEY, D.R.; CRUSE, R.M (eds.). 1991. Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability. SSSA. Madison, WI. 357pp.

GREAVES, J.E.; HIRST, C.T. 1929. The mineral content of grain. *The Journal of nutrition* 1(4) pp.293-298.

GREENWOOD, D.J.; DRAYCOTT, A. 1989. Experimental validation of an N-response model for widely different crops. *Fertil Res* 18, pp. 153-174.

GUILLAUMES, E.; VILLAR-MIR, J.M. 2004. Effects of DMPP on growth and chemical composition of ryegrass (*Lolium perenne* L.) grown on calcareous soil. Spanish Journal of Agricultural Research. Vol 2(4), pp. 588-596.

GUILLAUMES, E.; CARRASCO, I.; VILLAR, J.M. 2006. Response of wheat to additional nitrogen fertilizer application after pig slurry on over-fertilized soils. Agronomy for sustainable development 26, pp. 127-133.

GUILLAUMES E., MURILLO G., MARCO M., VILLAR J.M. 2007. Using Mitscherlich pots to assess the use of nitrification inhibitors in mineral fertilizers and on Pig Slurry. 336-338. In Bosch A.D., M Rosa Teira, J.M. Villar (Editors). Towards a better efficiency in N use. Ed. Milenio, Lleida (Spain). 531 pp.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 2005. Soil Fertility and Nutrient Management: An Introduction to Nutrient Management. 7th Edition. 515 p. Pearson/Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.

HERRERO, C.; BOIXADERA, J.; DANÉS, R.; VILLAR, J.M. 1993. Mapa de sòls de Catalunya 1:25,000. Full núm. 360-1-2 (65-28) Bellví. Generalitat de Catalunya, Barcelona, Spain

IRAÑETA, I.; SANTOS, A.; SEGURA, A.; SÁEZ, R.; DELGADO, J.; BERNITO, A.; SAN AGUSTIN, J.L. 2000. Fertilización fosfopotásica de cultivos extensivos. Navarra Agraria. Núm 120 pp.18-30

IRIGOYEN, I.; MURO, J.; AZPILICUETA, M.; APARICIO-TEJO, P.; LAMSFUS, C. 2003. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMMP at various temperatures. Australian Journal of Soil Research 41 (6), pp. 1177-1183

PASDA, G.; HÄHNDEL, R.; ZERULLA, W. 2001, Effect of fertilisers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimetilpirazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. Biol Fertil Soils 34, pp. 85-97

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agronomy journal 91 pp.357-363

SAS Institute. 1999. The SAS system for Windows, Version 8,02. SAS Inst, Cary, NC.

SERNA M.D.; BAÑULS J.; QUIÑONES A.; PRIMO-MILLO E.; LEGAZ F. 2000. Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a citrus-cultivated soil. Biol Fertil. Soils 32, 41-46

SMITH, K.A.; CHAMBERS, B.J. 1992. Improved utilisation of slurry nitrogen for arable cropping. Aspects Appl. Biol. 30, pp.127-134

THOMASON, W. E.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. 2000. Winter Wheat Fertilizer Nitrogen Use Efficiency in Grain and Forage Production Systems. *J. Plant Nutr.* 23 pp. 1505-1516

TITTARELLI, F.; CANALI, S.; BERTI, C.; BENEDETTI, A. 1997. Effects of dicyandiamide on nitrification in soil amended with animal slurries. *Agr. Med.* 127 pp. 44-48.

USDA-NRCS. 1998. Soil taxonomy: Keys to Soil Taxonomy, Sixth Edition. United States Government Printing Office. Washington D.C. E.E. U.U.

VILLAR, J.M.; CARRASCO, I.; FERRER, F.; ARAN, M.; VILLAR, P. 2000. Addition of nitrification inhibitor DMPP to pig slurry applied on winter wheat in a calcareous soil. 3rd International Crop Science Congress. European Society for Agronomy, Hamburg (Germany) Book of Abstracts. 169.

WHEELER, T.R.; BATTS, G.R.; ELLIS, R.H.; HADLEY, P.; MORISON, J.I.L. 1996. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) crops in response to CO₂ and temperature. *J. Agric. Sci. Camb.* 127 pp. 37-48.

YADVINDER-SINGH; BIJAY-SINGH; LADHA, J.K.; KHIND, C.S.; KHERA, T.S.; BUENO, C. S. 2004. Effects of Residue Decomposition on Productivity and Soil Fertility in Rice–Wheat Rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68 pp.854-864.

ANNEX

Taula 8.17. Biomassa, expressat en kg/ha i 0% humitat, de les diferents parts del blat en els diferents mostrejos per la campanya 2001-2002.

Tractament	11/03/02*		24/04/02		05/07/02 (collita)		
	Fulla	Tija	Fulla	Tija	Fulla	Tija	Espiga
C	424,2 c	48,7 c	1866,7 b	3083,3 ab	1798,9 a	8664,5 c	7236,7 b
P	542,5 c	50,6 c	2160,0 b	3903,3 a	1974,0 a	8912,6 c	8280,0 ab
P+DMPP	522,8 c	55,2 c	1940,0 b	3220,0 ab	2153,4 a	10413,3 ab	9566,7 a
P+NSA	526,5 c	68,6 bc	2100,0 b	2750,0 b	2070,4 a	10266,3 b	9896,7 a
P+DMPP+ENTEC	419,8 c	45,6 c	2110,0 b	2840,0 b	2042,1 a	10881,2 ab	10176,7 a
NSA	831,0 a	118,9 a	2966,7 a	3686,7 ab	2226,2 a	11440,5 a	9033,3 ab
ENTEC	693,2 b	88,4 ab	2906,7 a	3616,7 ab	2488,3 a	10258,4 b	8853,3 ab

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999).

* referent a la mitjana dels blocs 2 i 3

Taula 8.18. N absorbit, expressat en kg/ha, de les diferents parts del blat en els diferents mostrejos per la campanya 2001-2002.

Tractament	11/03/02*		24/04/02		05/07/02			
	Fulla	Tija	Fulla	Tija	Fulla	Tija	gra	N (%) Planta
C	18,6 b	1,6 b	34,0 de	24,2 b	8,9 b	20,0 c	78,8 d	0,76 b
P	19,8 b	1,4 b	43,7 cd	31,1 b	11,8 ab	28,9 ab	86,5 cd	0,75 b
P+DMPP	22,5 b	1,7 b	30,3 e	22,9 b	12,2 ab	26,6 bc	83,6 cd	0,70 b
P+NSA	21,4 b	2,1 b	41,9 cde	16,3 b	13,1 ab	35,6 a	101,8 bc	0,84 b
P+DMPP+ENTEC	17,7 b	1,6 b	50,3 c	24,1 b	11,4 ab	21,8 bc	99,0 bcd	0,71 b
NSA	34,2 a	4,0 a	65,2 b	37,5ab	13,1 ab	20,9 c	111,9 ab	0,80 b
ENTEC	32,9 a	3,3 a	79,0 a	38,2 a	15,1 a	24,1 bc	131,4 a	0,99 a

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999).

* referent a la mitjana dels blocs 2 i 3

Taula 8.19. Biomassa, expressat en kg/ha i 0% humitat, de les diferents parts del blat en els diferents mostrejos per la campanya 2002-2003.

Tractament	03/03/03	26/06/03 (collita)		
	Planta	Fulla	Tija	Espiga
C	610,0 d	1210,1 c	4207,9 c	5405,0 b
P	1036,7 a	1756,4 ab	6893,3 a	8333,2 a
P+DMPP	983,3 ab	1602,8 b	5558,2 b	7437,2 a
P+NSA	1006,7 ab	1890,7 ab	6148,4 ab	8563,0 a
P+DMPP+ENTEC	910,0 abc	1979,8 a	6716,7 a	8681,1 a
NSA	780,0 c	2004,0 a	6216,8 ab	9129,8 a
ENTEC	893,3 bc	2008,2 a	6434,8 a	8822,0 a

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999).

Taula 8.20. N absorbit, expressat en kg/ha, de les diferents parts del blat en els diferents mostrejos per la campanya 2002-2003.

Tractament	03/03/03	26/06/03			
	Planta	Fulla	Tija	gra	N (%) Planta
C	24,9 c	7,8 c	7,4 d	60.7 d	0,79 ab
P	46,8 a	10,5 bc	15,6 ab	79.3 bcd	0,70 b
P+DMPP	45,8 a	9,7 c	10,4 c	73.0 cd	0,71 b
P+NSA	46,5 a	15,3 a	14,0 b	112.3 a	0,96 a
P+DMPP+ENTEC	41,5 ab	15,7 a	15,8 ab	93.7 abc	0,82 ab
NSA	37,0 b	14,6 ab	14,5 b	105.4 ab	0,86 ab
ENTEC	43,7 ab	16,0 a	17,5 a	106.8 ab	0,91 ab

Els valors mitjos seguits per la mateixa lletra no són significativament diferents dels altres amb una probabilitat del 10 %, analitzats amb el test de Duncan (SAS Institute, 1999).

9. CAPITOL 5

**AVALUACIÓ DE DIFERENTS ESTRATÈGIES DE
FERTILITZACIÓ EN PANÍS (*Zea mays* L.) EN FUNCIO DELS
NIVELLS DE NUTRIENTS AL SÒL**

1. INTRODUCCIÓ

L'avaluació s'ha dut a terme al Pla d'Urgell. És una comarca semiàrida que rep aigua pels canals d'Urgell a la província de Lleida, en la part més oriental de la Vall de l'Ebre. Els regadius dels Canals d'Urgell en l'actualitat ocupen aproximadament unes 75000 ha. Els Canals estan en funcionament des de fa més de 140 anys. Una de les característiques a remarcar és l'excessiva parcel·lació existent a la comarca (la majoria de les parcel·les tenen superfícies inferiors a les 3 ha), el que provoca, per un costat, una difícil modernització dels regs, i per un altre, un excessiu treball dels agricultors durant les campanyes de reg. El principal cultiu de la comarca és el panís (*Zea mays* L.) ocupant una superfície aproximada del 35%, en rotació amb blat d'hivern (*Triticum aestivum* L.) i alfals (*Medicago sativa* L.). Aquests tres cultius ocupen més del 90% de la superfície regada, sent la resta ocupada per fruiters (pomeres i pereres) i per ceba (*Allium cepa* L.).

Als sistemes de regadiu tradicionals (com els presents majoritàriament a la zona regable) on és generalitzat l'ús de sistemes de reg a tesa, la quantitat d'aigua que és lixiviada és molt important (s'han avaluat eficiències de reg a nivell de parcel·la que varien entre un 30-75 %, amb unes aplicacions anuals en el cas de cultius com el panís, d'uns $10.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ i on cal afegir l'aigua de pluja, 400 mm).

La interacció entre l'aigua i el nitrogen és molt evident, ja que l'aigua en el sòl afecta a diferents processos relacionats amb el nitrogen. En general s'observa una major absorció de N, ja que la producció del cultius augmenta quan augmenta la disponibilitat d'aigua. Quasi tots els processos del nitrogen en el sòl es veuen afectats pel contingut d'aigua al sòl: El rentat de nitrats, la desnitrificació, la volatilització.

Les pèrdues de nitrats per lixiviació no són desitjables per diversos motius: representen una pèrdua de tipus econòmic per l'agricultor, la presència de nitrats a les aigües es considera un risc si s'ha d'utilitzar pel consum humà (la Comissió Europea ha establert un límit màxim admissible de $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ [$11,3 \text{ mg N-NO}_3 \text{ L}^{-1}$] a l'aigua potable) i pot limitar el seu ús pel reg de determinats cultius sensibles a l'excés de N i pot causar

eutrofització, cosa que afavoreix l'increment de plantes aquàtiques i algues en embassaments, llacs, rius i finalment en el mar.

La major part de cultius, com és el cas del panís, no esgoten els nitrats presents en el sòl al final del cicle (encara que es dona un cert consum de luxe) i per això el risc de contaminació és elevat. Les aplicacions de fertilitzants nitrogenats poden arribar a ser excessives en les següents condicions:

- quan hi ha una elevada presència de nitrats en el sòl a causa de la fertilització nitrogenada (nitrogen disponible superior a l'absorció per part del cultiu), a la descomposició de la matèria orgànica del sòl i dels residus del cultiu anterior, especialment en el cas de l'alfals, i de les aplicacions de residus animals, principalment fems i purins en la zona d'estudi.
- quan l'extracció de N per part del cultiu es veu limitada per qualsevol altre factor que afecti de forma important el rendiment: manca d'aigua, tempestes amb pedra, plagues i malalties.
- quan la dosi de fertilitzant aplicada supera les quantitats recomanades o s'aplica quan no hi ha una extracció per part del cultiu, per exemple molt aviat i en forma de nitrats.

Gestionar la nutrició del panís implica optimitzar el retorn econòmic i minimitzar l'efecte contaminant, sobretot a les aigües (Villar, 2005). Una manera de reduir aquesta contaminació és mantenir el N mineral al sòl en forma d'amoni en comptes de forma nítrica (Ball-Coelho i Roy, 1999). L'addició de inhibidors de la nitrificació als fertilitzants pot ajudar a mantenir el N mineral del sòl en forma amoniaca i a reduir les pèrdues de N al medi ambient (desenvolupat en l'apartat 4.7 de la mateixa tesis).

El panís és objecte del present treball d'investigació. A Catalunya es conreen unes 30000 ha de les quals dues terceres parts es fan a la província de Lleida. (Sisquella et al, 2004a). La producció de panís en la zona de regadiu dels Canals d'Urgell implica una aplicació de fertilitzants nitrogenats i/o fertilitzants orgànics. Prop d'un 50% dels productors de panís aplica adobs orgànics o dejeccions ramaderes (Sisquella et al, 2004b). En aquest últim cas, generalment s'apliquen purins de porc, i això es tradueix en una aplicació en excés de N i P i una manca de K. Per aquest motiu hi ha una tendència creixent del contingut de N i P al sòl, i una tendència decreixent del contingut

de K al sòl. La quantitat de N emprat en la fertilització del panís (un 41,5%) suposa més de 400 kg/ha i més d'un 70% dels productors aplica més de 300 kg N/ha, segons dades de Sisquella et al (2004b). Per tal de no tenir efectes negatius en el medi ambient i mantenir uns bons nivells de producció cal establir unes estratègies de fertilització, que a part d'utilitzar els criteris de nitrogen, es considerin els balanços de P i K a través de les anàlisis del contingut de P i K al sòl. El panís extreu per tona de gra (14% humitat) entre 22 i 27 kg N, 9-11 kg P₂O₅ i 20-25 kg K₂O (Boixadera et al. 2005). La canyota i restes de collita representen aproximadament un 35% del N, un 25% del P₂O₅ i un 60% del K₂O. Per aquest motiu la gestió de la palla (canyota del panís) és molt important (picada i enterrada, embalada, o cremada).

Un aspecte important a destacar és que el panís és un cultiu d'estiu. L'eficiència del DMPP és molt dependent de la temperatura, essent menys eficient quan aquesta és més alta (Zerulla *et al.* 2001). En aquest experiment es prescindeix de les coberteres.

Els objectius específics per aquest experiment van ser:

- Comparació de la fertilització amb purins i amb fertilitzants minerals.
- Resposta del cultiu als diferents nivells de nutrients al sòl en funció dels tractaments.
- Avaluació de la biomassa total produïda, del rendiment i de l'absorció de nitrogen a les diferents parts de la planta.
- Estudi exhaustiu de l' absorció de macro i micronutrients en el cultiu del panís durant la segona campanya d'assaig.
- Efecte dels inhibidors de la nitrificació (DMPP) afegits als purins i als fertilitzants minerals.

2. MATERIALS I MÈTODES

Aquest estudi amb el cultiu de panís (*Zea Mays L.*) s'ha portat a terme en una parcel·la comercial (nom comercial: plana alta, fig. 9.1) del terme municipal de Castellnou de



Fig. 9.1. Vista de la parcel·la experimental

Seana (Lleida, Nord-est d'Espanya) dins de la zona regable dels Canals d'Urgell, durant les campanyes 2002 i 2003. Les parcel·les van ser cedides per l'empresa Catalana de Farratges, S. L. d' Ivars d'Urgell. El principal criteri per seleccionar aquestes parcel·les experimentals, per evitar els efectes residuals de

nitrogen, va ser que en els tres anys previs a l'experiment no haguessin rebut ni fertilitzants orgànics, ni el cultiu precedent hagués estat d'alfals. Altres criteris van ser que el contingut de $N-NO_3^-$ al sòl no fos excessiu i que no s'utilitzés aigua residual per regar, ja que poden contenir sals i nitrats.

El clima de la zona presenta les característiques del tipus mediterrani semiàrid continental, que segons la classificació de Papadakis, uns hiverns de tipus civada fresc (Av), uns estius del tipus arròs (O), i un règim d'humitat Mediterrani sec (Me) (Papadakis, 1966). Les variables meteorològiques han estat registrades a l'estació meteorològica del Poal (323400, 4615850, elevació 227 m) (Xarxa d'estacions meteorològiques de la Generalitat de Catalunya). A la taula 9.1 es mostren les precipitacions mensuals totals i la ETo mitjana mensual, calculada pel mètode de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Taula 9.1. Precipitació total mensual (mm) i ETo mitjana mensual (FAO P-M, mm) durant les dues campanyes, segons dades de l'estació meteorològica automàtica del Poal (Pla d'Urgell, Catalunya)

Mes	Mitjana històrica de P (mm) 1967-2002	2002		2003	
		P (mm)	ETo (mm)	P (mm)	ETo (mm)
Gener	23,7	30,5	14,7	21,1	22,9
Febrer	13,0	10,0	35,2	65,3	28,7
Març	26,4	26,1	58,6	18,5	73,0
Abril	40,6	68,3	81,2	27,9	96,4
Maig	50,9	61,1	109,3	67,1	130,4
Juny	33,6	27,1	130,0	8,4	159,3
Juliol	12,3	12,3	142,5	18,1	161,3
Agost	21,6	49,1	113,6	34,0	144,9
Setembre	44,5	43,6	84,4	59,29	88,10
Octubre	47,1	40,6	53,4	132,85	48,97
Novembre	35,3	32,6	25,0	49,03	24,34
Desembre	28,2	29,7	13,9	27,73	16,96
Total	377,2	431,0	861,8	529,3	995,3

El sòl de la parcel·la d'assaig és un sòl poc profund situat sobre un petrocàlcic, amb una textura franca (USDA-NRCS, 1998). Les mostres de sòl es van recollir manualment i es van analitzar al Laboratori de Fertilitat de Sòls (LAF) de Applus agroambiental (Sidamon (Lleida)) per tal de determinar la fertilitat prèvia de la parcel·la (10/04/02), les propietats de la qual es mostren a la taula 9.2. La densitat del sòl (0-30 cm) mesurada va ser de $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$. Es van realitzar altres mostres de sòl al llarg de les campanyes (03/05/02, 23/05/02, 24/07/02, 04/10/02, 14/04/03, 9/05/03) per tal d'analitzar el contingut de N-NO_3^- , i en alguns casos el contingut de N-NH_4^+ , i al final de les dues campanyes (06/10/03) també es va analitzar el contingut residual de P, K, Zn i Cu. El contingut de nitrats va ser analitzat per un mètode colorimètric, utilitzant un autoanalitzador Technicon (Anasol 4P2S1BM2P, ICA Instruments, Tonbridge, Kent, UK). Pel contingut de nitrogen amoniacal es va fer una extracció amb KCl i lectura mitjançant espectrofotometria amb ultravioleta visible. El contingut de P, K, Zn i Cu va ser determinat mitjançant l'ICP (Induction coupled plasma).

Taula 9.2. Propietats físiques i químiques del sòl a l'inici de l'experiment (10/04/02).

	0-20 cm	20-40 cm	Interpretació
pH (sòl/aigua 1:2.5)	8,0	8,1	Moderad. bàsic
CE (dS/m 25 C) (1:5)	0,25	0,31	No limitant
Matèria orgànica (g kg ⁻¹) (Mètode Walkley-Black)	30	19	Alt / Mitjà-baix
CO ₃ Ca equivalent g kg ⁻¹	150	200	Poc calcàri/calcàri
P (Mètode Olsen, mg kg ⁻¹)	15	9	Mitjà/Baix
K (Extracció 1 M acetat amònic, mg kg ⁻¹)	162	103	Mitjà
Mg(Extracció amb 1 M acetat amònic, mg kg ⁻¹)	289	265	Alt
NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	17	21	Normal-Alt
Argil·la (g kg ⁻¹)	202	176	Classe textural FRANCA (USDA)
Sorra (g kg ⁻¹)	491	499	
Pedregositat (%)	23,2	22,2	

Es va plantejar un disseny experimental aleatori en blocs a l'atzar amb tres repeticions. La distribució en camp de l'experiment es pot observar a la figura 9.2.

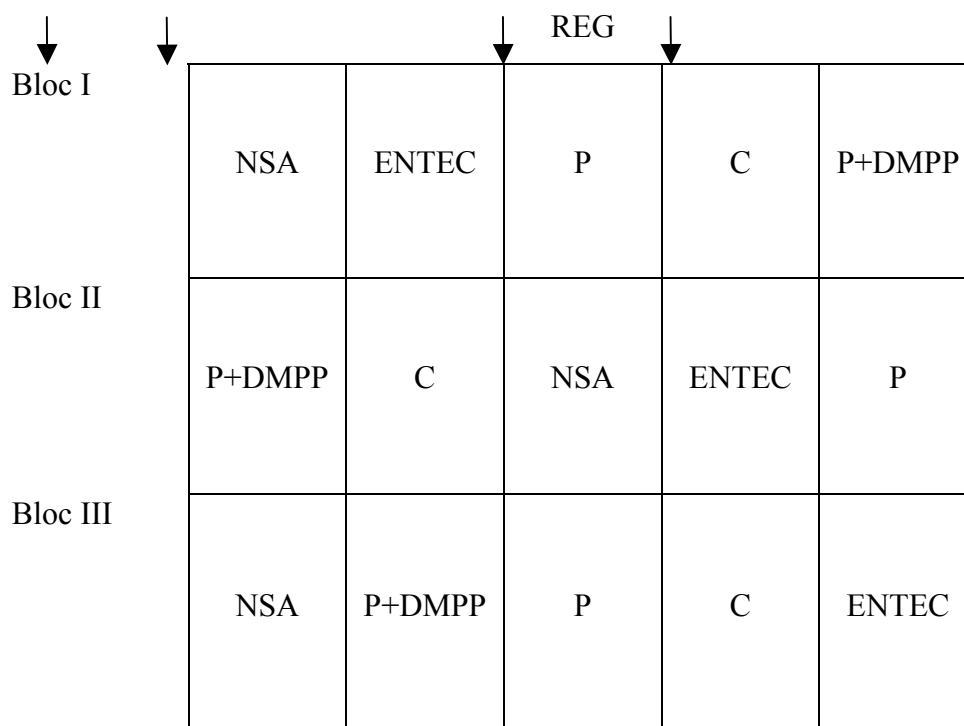


Fig. 9.2. Croquis de l'assaig experimental durant les campanyes 2002 i 2003.

Les dimensions de la parcel·la elemental van ser de 10*30 m (300 m²). Els tractaments van ser:

- Control (C): no es va aplicar cap tipus de fertilització
- Purí de fons (P): es van aplicar aproximadament 30 m³ purí de porc ha⁻¹ a l'inici de la campanya. Les dates d'aplicació van ser 3/05/2002 i 14/04/2003 per la primera i segona campanya, respectivament.
- Purí fons + DMPP (P+DMPP): es van aplicar aproximadament 30 m³ purí de



Fig. 9.3. Aplicació del DMPP a la cuba dels purins

porc ha⁻¹ a l'inici de la campanya i es va afegir el DMPP en el moment de l'aplicació, directament a la cuba (Fig. 9.3), en una dosi de 4 L solució DMPP (25%) ha⁻¹, recomanada per la BASF.

Les dates d'aplicació van ser 3/05/2002 i 14/04/2003 per la primera i segona campanya, respectivament.

- Nitrosulfat amònic (NSA) (taula 9.3): es va aplicar nitrosulfat amònic a l'inici de la campanya en una dosi de 150 kg N ha⁻¹. Les dates d'aplicació van ser 3/05/2002 i 24/04/2003 per la primera i segona campanya, respectivament.
- ENTEC® (ENTEC) (taula 9.3): es va aplicar ENTEC a l'inici de la campanya en una dosi de 150 kg N ha⁻¹. Les dates d'aplicació van ser 3/05/2002 i 24/04/2003 per la primera i segona campanya, respectivament.

Taula 9.3. Riquesa del NSA 26 i de l'ENTEC ® 26.

Riquesa	NSA 26 ⁽¹⁾	ENTEC ® 26 ⁽²⁾
Nitrogen total	26 %	26 %
Nítric	6,5 %	7,5 %
Amoniacal	19,5 %	18,5 % ⁽³⁾
Sofre	15 %	13,1%

⁽¹⁾ www.fertiberia.es

⁽²⁾ www.compo.es

⁽³⁾ Contingut en DMPP: 0.8 % respecte el N amoniacal.

Per tal de conèixer les aportacions de nutrients, el purí utilitzat va ser analitzat les dues campanyes, i els resultats es mostren a la taula 9.4 i 9.5.

Taula 9.4. Característiques del purí aplicat.

Campanya	CE	pH	Matèria seca	Total N	N-NH ₄ ⁺	Total P	Total K
	(dS/m)		(%)				
2002	9,04	8,9	19,6	3,26	1,41	4,46	1,40
	(7,3)	(0,35)	(3,11)	(0,52)	(0,37)	(0,28)	(0,3)
2003	NA	NA	9,2	8,47	5,34	2,68	5,49
				(0,17)	(0,01)	(0,14)	(0,21)

El contingut de nutrients és expressat sobre matèria seca. Els valors entre parèntesis és la desviació estàndard (n=2). NA= no analitzat.

Taula 9.5. Altres característiques del purí de porc analitzat durant la primera campanya (2002).

C/N	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Hg	Cd
	(g kg ⁻¹)				(mg kg ⁻¹)					
8,4	85	19	6	1,8	556	20,5	25,5	<20	<0,01	<1,5
(0,9)	(0,86)	(0,01)	(0,04)	(0,01)	(42)	(2,1)	(0,7)			

El contingut de nutrients és expressat sobre matèria seca. Els valors entre parèntesis és la desviació estàndard (n=2).

Amb aquests resultats els nutrients totals aportats per cada campanya i acumulat per les dues campanyes es mostren a la taula 9.6.

Taula 9.6. Nutrients aportats pels diferents tractaments en les campanyes 2002 i 2003.

Tractament	2002 kg ha ⁻¹				2003 kg ha ⁻¹				NPK aplicat acumulat kg ha ⁻¹		
	N- tot	N-NH ₄ ⁺	P	K	N- tot	N-NH ₄ ⁺	P	K	N	P	K
P	192	83	262	82	234	147	74	152	426	336	234
P+DMPP	192	83	262	82	234	147	74	152	426	336	234
NSA	150	112,5	0	0	150	112,5	0	0	300	0	0
ENTEC	150	106,7	0	0	150	106,7	0	0	300	0	0

Es varen realitzar diversos regs a tesa al llarg del cicle del cultiu, d'una quantitat estimada de 100 m³ ha⁻¹. Les dates dels regs van ser 30/05/02, 13/06/02, 27/06/02,

08/07/02, 20/07/02, 01/08/02, 12/08/02, 24/08/02 i 03/09/02 per la primera campanya i 26/05/03, 02/06/03, 17/06/03, 01/07/03, 16/07/03, 30/07/03, 13/08/03 i 26/08/03 per la segona campanya. En aquesta segona campanya es va analitzar el contingut de nitrats d'aquesta aigua de reg, mitjançant l'equip portàtil Nitracheck, essent el resultat de 24 ppm. En la segona campanya, degut a la presència no gens despreciable de males herbes, es fa una aplicació amb herbicida, concretament Clamoxone i Ronduc.

El panís va ser sembrat el 04/05/02 i al 06/04/03 per la primera i segona campanya, respectivament. Les varietats d'ambdues campanyes van ser transgèniques, essent var. Compa CB i var. Pioneer PR67, respectivament. Es van realitzar tres mostres de biomassa per cada campanya en els estadis de creixement de 4-6 fulles (13/06/02, 06/06/03), floració (23/07/02, 17/07/03) i collita (18/10/2002, 02/10/03). El mostreig va consistir en agafar dues fileres adjuntes a un m.l. a l'atzar de cada parcel·la (1,46 m²). Els resultats de pes obtinguts de les diferents parts de la planta, així com la concentració de N en cada part, i l'absorció total es mostren a les taules 9.19, 9.20, 9.21, 9.22 i 9.23 de l'annex. Les mostres van ser assecades en una estufa d'aire forçat a 65 °C durant almenys 48 h. Després van ser separades les diferents parts de la planta (fulla, tija, panotxa, plumall). De totes les parts es va analitzar la concentració de N mitjançant el mètode Kjeldhal. Durant la segona campanya es va analitzar també altres macro i micronutrients (P, K, Ca, Mg, S, Mn, Cu, Zn i Na) absorbits en el gra i en la part aèria (fulla+tija) mitjançant l'ICP (taula 9.24 de l'Annex). L'absorció total es va calcular multiplicant la matèria seca per la concentració. Per calcular el rendiment amb més exactitud es van agafar les panotxes de 10 metres lineals, es van pesar i es va multiplicar pel percentatge de gra que hi havia a la panotxa, calculat prèviament amb el mostreig de 1,46 m².

Una manera d'avaluar si les disponibilitats de nitrogen han estat altes és analitzar el contingut de nitrats a la base de la tija després de la maduresa fisiològica, tal com indiquen Blackmer (1991) i Binford *et al.* (1990, 1992a, 1992b). Villar (1999) va fer una prospecció intensa a la zona d'estudi controlant la concentració de nitrats en la base de la tija en panís (*Zea mays* L.), deduint que aquesta concentració en l'estadi de 6 fulles era un mètode efectiu per avaluar l'absorció de N del cultiu, la disponibilitat de N al sòl i la producció final. Sembla que la disponibilitat de N al sòl és proporcional a la

concentració de nitrats a la planta quan el contingut al sòl és excessiu. La concentració de nitrats en la part baixa de la tija en plantes joves està també relacionada amb la producció (McClenahan i Killorn, 1988). Magdoff *et al.*, (1984) estableix relacions entre els nitrats al sòl i els nitrats acumulats a la base de la tija. Per a cada parcel·la s'ha agafat una mostra de la part baixa de la tija (15-35 cm sobre el sòl) composta de totes les plantes seleccionades i s'ha analitzat el contingut de nitrats del suc de la base de la tija.

Es va portar a terme el seguiment del contingut de la clorofil·la en fulla mitjançant l'ús d'un equip portàtil SPAD-502 (Minolta). Els valors mesurats corresponen a la intensitat de verd que es correlaciona amb el contingut de clorofil·la present en la fulla de la planta. Els valors estan calculats a través de la quantitat de llum transmesa per la fulla en dues regions de longitud d'ona en les quals l'absorbància de la clorofil·la és diferent. Aquesta mesura recolza la inspecció visual en camp i dona una estimació de l'estat nutricional de la planta, ja que es pot correlacionar el contingut en clorofil·la dels teixits vegetals amb el seu contingut amb N. Per obtenir la mesura es feia la mitjana de 10 lectures preses en les plantes seleccionades pel mostreig de biomassa de cada parcel·la, punxant en la part central, tan longitudinalment com transversalment, de la fulla més jove totalment desenvolupada.

Per tal de conèixer l'eficiència dels diferents tractaments, es calcula l'índex de N aparentment recuperat (NREC), definit per Huggins i Pan (1993), essent la diferència del rendiment d'un tractament determinat i el tractament control, respecte al N aplicat.

Es va realitzar un anàlisi de variances (ANOVA) a totes les dades mitjançant el sistema d'anàlisi estadístic (SAS Institute, 1999). La separació de mitjanes s'ha fet utilitzant el test de Duncan amb un nivell de significació del 5 %.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

Els rendiments en gra de les campanyes 2002 i 2003 es mostren a la taula 9.7. Cal destacar la baixada dels rendiments de la segona campanya degut molt probablement a les condicions meteorològiques (veure taula 9.1), ja que va ser un estiu molt calorós. En general a la zona d'estudi s'estima que els rendiments van ser un 20% més baixos que l'any anterior. Per altra banda, el segon any també es partia inicialment d'uns nivells al sòl, especialment de K (156 ppm de 0-20 cm i 74 ppm de 20-40 cm), més baixos. El decrement dels rendiments respecte a la campanya anterior, en els tractaments on no hi ha hagut cap aportació de fertilitzant orgànic o només de fertilitzants nitrogenats, ha estat del 39,6, del 39,3 i del 36,6 % en els tractaments C, NSA i ENTEC, respectivament. Els millor rendiments de la segona campanya són els dels tractaments de purins, que a part de considerar l'aportació d'aquests en quan a K i a P, es tractava d'un purí amb un contingut de N elevat, i per tant les aportacions de N total van ser de 84 UFN superior als tractaments amb fertilitzants nitrogenats. Els increments respecte al control són molt més alts en la segona campanya que en la primera, especialment en els tractaments on hi ha una aportació de purins (Taula 9.7).

Taula 9.7. Rendiment en gra al 14% d'humitat del panís en resposta dels diferents tractaments.

Tractament	2002		2003		Mitjana del rdt. gra (kg ha ⁻¹)
	Rdt. gra (kg ha ⁻¹)	Increment respecte control (%)	Rdt. gra (kg ha ⁻¹)	Increment respecte control (%)	
C	11047,6 a (3357,01)	-	6667,5 b (804,0)	-	8857,6 b
P	12088,4 a (3552,71)	9,4	11367,2 a (1418,9)	70,5	11727,8 a
P+DMPP	14109,3 a (1357,79)	27,7	10517,7 a (1699,1)	57,7	12313,5 a
NSA	15329,3 a (852,15)	38,8	9300,7 ab (2245,9)	39,5	12315,0 a
ENTEC	12435,8 a (1099,61)	12,6	7884,4 ab (1604,5)	18,2	10160,1 ab

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan, Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3).

En el tractament estadísitc es pot veure com en el rendiment de la primera campanya l'error experimental és considerable, és a dir que hi ha una gran variabilitat entre les unitats experimentals (Taula 9.8).

Taula 9.8. Tractament estadístic del rendiment en la campanya 2002

Font de variació	Graus de llibertat	Suma de quadrats	Quadrat mitjà	Pr > F
Tractaments	4	34852377.82	8713094.45	0.3597
Bloc	2	147957.92	73978.96	0.9893
Error	8	55192332.13	6899041.52	

Això es corrobora fent la mitjana dels rendiments per columnes segons croquis de la fig. 9.2., i s'observa l'efecte parcel·la ja que en les dues columnes de més a la dreta, i possiblement degut a un mal anivellament de la parcel·la i per tant influint en la quantitat de l'aigua útil de reg, les produccions han estat més baixes. D'aquesta manera, especialment el tractaments que tenen més parcel·les en aquesta zona del camp com l'ENTEC surten perjudicades. La mitjana de les dues campanyes oscil·la entre 8,9 i 12,3 Mg ha⁻¹. Els millors tractaments, encara que només difereixen significativament del tractament control, han estat el P+DMPP i el NSA. En quan als rendiments, no hi ha un efecte significatiu del DMPP afegit al purí ni en els fertilitzants minerals, és més, en aquest últim cas es veu un efecte pejoratiu en quan a aquest additiu.

L'absorció de N al gra durant les dues campanyes, i l'absorció de P i K al gra durant la segona campanya es mostren a la taula 9.9. Es confirmen els resultats a dalt esmentats en les que es veu una resposta positiva en l'absorció de N, P i K al gra degut a l'aportació de purins durant la segona campanya. Per una banda perquè l'aportació de N és superior, i per l'altra perquè s'aporten durant els dos anys 336 kg P ha⁻¹ i 234 kg K ha⁻¹. En l'absorció total de N acumulada durant les dues campanyes, l'efecte del N queda compensat pels resultats de l'absorció total de N al gra durant la primera campanya, ja que durant la primera campanya l'absorció de N al gra és lleugerament superior en els fertilitzants minerals. Això indica una millor eficiència en l'ús del N per els fertilitzants minerals.

Taula 9.9. Absorció total de N, P i K al gra.

Tractament	2002 Absorció total (kg ha ⁻¹)			2003 Absorció total (kg ha ⁻¹)			Absorció total acumulada durant les dues campanyes (kg ha ⁻¹)
	N	P	K	N	P	K	N
C	135,9 a (65,3)	NA	NA	69,2 b (9,5)	11,9 b (1,9)	18,5 b (0,4)	205,1 b
P	142,4 a (42,1)	NA	NA	119,9 a (2,7)	20,4 a (2,0)	31,2 a (2,6)	262,3 ab
P+DMPP	155,0 a (27,83)	NA	NA	102,3 ab (20,7)	20,3 a (4,9)	29,3 a (5,2)	257,3 ab
NSA	206,0 a (42,8)	NA	NA	99,1 ab (28,2)	16,6 ab (6,0)	24,1 ab (6,3)	305,1 a
ENTEC	167,4 a (30,8)	NA	NA	87,0 ab (9,2)	11,0 b (2,1)	18,8 b (3,6)	254,4 ab

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan. Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3). NA: no analitzat.

La concentració de N al gra i a la planta en el mostreig de collita per les dues campanyes es mostra a la taula 9.10. Els resultats obtinguts es troben entre 0,99 i 1,32 % en gra i entre 0,86 i 1,04 en planta. Són resultats relativament baixos, i en la majoria dels casos per sota del nivell crític de 1,2 % per a la resposta del panís citat per Ferrer (1999). Es pot concloure que en la fertilització nitrogenada ha estat per sota de les necessitats del panís en la majoria dels casos, per les condicions meteorològiques que s'han donat. En un estudi exhaustiu de la zona (Villar et. al., 2002), els resultats de N al gra oscil·laven entre 1,28 i 1,91 %.

Taula 9.10. Concentració de N (%) al gra i a la planta en el moment de la collita.

Tractament	2002		2003	
	Concentració (%)		Concentració (%)	
	gra	Planta	gra	planta
C	0,99 b (0,21)	0,86 c (0,09)	1,18 a (0,01)	0,86 a (0,06)
P	1,07 b (0,12)	0,91 bc (0,07)	1,26 a (0,11)	0,94 a (0,04)
P+DMPP	1,07 b (0,11)	0,93 abc (0,06)	1,19 a (0,10)	0,89 a (0,16)
NSA	1,32 a (0,03)	1,04 a (0,03)	1,27 a (0,09)	0,97 a (0,04)
ENTEC	1,12 ab (0,08)	1,00 ab (0,03)	1,27 a (0,06)	0,98 a (0,07)

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan, Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3).

Els resultats de l'absorció total de N, P i K al gra i a la palla conjuntament, es mostren a la taula 9.11. La tendència dels resultats és molt igual que els resultats obtinguts en l'absorció del gra. De fet en el cas del nitrogen, el N absorbit al gra representa de promig de les dues campanyes el 69% del N absorbit en la part aèria (gra, tija i fulla). En el cas de l'absorció total de P al gra durant la campanya 2003, representa un valor promig del 76 % del total absorbit en la part aèria. Malgrat que l'addició del DMPP és desfavorable en quan als valors absoluts d'absorció de P al gra, i en la suma del gra, la tija i la fulla, hi ha una influència positiva en quan al percentatge de P absorbit al gra respecte al P absorbit total de la part aèria. En el cas del tractament amb purí, l'addició del DMPP incrementa aquest percentatge en un 2,4 %, i en el cas dels fertilitzants minerals, l'addició del DMPP augmenta en un 5,2 % aquest percentatge. En el cas del K, l'absorció al gra suposa de mitjana un 46,7 % de l'absorció total del gra més la fulla i més la tija. Curiosament en els tractaments amb purí, on hi ha hagut una aportació de K, aquest percentatge és el més baix, essent de 44,1% i 39,1 % pels tractaments de P i P+DMPP, respectivament.

Taula 9.11. Absorció total de N, P i K a la part aèria (gra, tija i fulles), expressat en kg ha⁻¹.

Tractament	2002 Absorció total (kg ha ⁻¹)			2003 Absorció total (kg ha ⁻¹)			Absorció total acum. ambdues campanyes (kg ha ⁻¹)
	N	P	K	N	P	K	N
C	193,5 a (77,9)	NA	NA	104,0 c (25,0)	16,5ab (3,9)	39,5 b (10,3)	297,5 b
P	189,1 a (46,7)	NA	NA	190,6 a (7,8)	27,4 a (4,1)	70,7 a (7,1)	379,7 ab
P+DMPP	220,1 a (38,1)	NA	NA	159,6 ab (18,7)	26,4 a (6,3)	74,9 a (17,6)	379,7 ab
NSA	280,4 a (50,8)	NA	NA	155,2 abc (44,6)	22,1 a (9,9)	51,6ab (26,3)	435,6 a
ENTEC	237 a (56,7)	NA	NA	130,3 bc (18,7)	13,7 b (2,8)	33,3 b (8,4)	367,3 ab

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan, Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3). NA: no analitzat.

A la taula 9.12 es mostren els resultats del percentatge que suposa en N absorbit pel gra, respecte al N absorbit pel gra més la palla. En la primera campanya els millors resultats es mostren als tractament on no s'hi ha afegit l'inhibidor, mentre que a la segona campanya, es produeix l'efecte contrari i els millors resultats es donen al tractament control i als tractaments amb inhibidor. En general, el percentatge de N al gra respecte al total oscila entre 64 i 78 % (Shepers i Moiser, 1991). En l'estudi de Villar *et al.* (2002) abans mencionat s'obtenien diferències significatives entre els valors del primer any d'observació (1993), amb valors mitjans del 70 %, i del segon (1994), amb valor mitjants del 67%, segurament degut a causes d'estrès hídric més que per manca de nitrogen. Això és el mateix que passa entre aquestes dues campanyes, com ho corroboren els resultats de la ETo calculats en la taula 9.1.

Taula 9.12. Índex de N absorbit al gra respecte al N absorbit al gra més la palla, expressat en percentatge.

Tractament	2002	2003
	Índex de N al gra respecte al N total(%)	Índex de N al gra respecte al N total(%)
C	70,2	66,5
P	75,3	62,9
P+DMPP	70,4	64,1
NSA	73,5	63,9
ENTEC	70,6	66,8

A la taula 9.13 es mostren els nivells d'altres macronutrients i alguns micronutrients absorbits a la part aèria (gra+tija+fulla) del panís durant la segona campanya de l'assaig.

Pasda *et al.* (2001) exposen que el DMPP millora la disponibilitat d'aquells elements que són transportats fins a la superfície de les arrels, com el P, Fe, Zn, Cu i Mn, ja que es produeix una acidificació a la zona de la rizosfera. Una vegada més, en les condicions d'assaig no es detecta cap millora en l'absorció d'aquests elements degut a l'addició del DMPP. Fins i tot, en el segon any es poden veure diferències significatives en sentit contrari entre el tractament ENTEC i el NSA. Cal remarcar que no tan sols és una influència del baix rendiment obtingut en el tractament ENTEC, sinó que la concentració mitjana de P al gra es troba en 0,05 % per sota del tractament NSA. Cal tenir present les condicions meteorològiques, ja que les temperatures registrades mitjanes del mes de maig, juny i juliol són de 12, 16 i 21 °C, respectivament. Irigoyen *et al.* (2003) destaquen la temperatura com un dels factors més rellevants en l'eficàcia dels inhibidors.

Taula 9.13. Macronutrients secundaris i micronutrients absorbits en la part aèria del panís (gra, fulla i tija) durant la segona campanya.

Tractament	Absorció total (kg ha ⁻¹)								
	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Cu	Fe	Na	B
C	44,3 a (0,3)	31,0 b (0,4)	15,3 b (1,2)	0,32 a (0,003)	0,37 b (0,04)	0,15 c (0,01)	4,2 a (0,02)	3,0 a (0,6)	0,10 a (0,01)
P	75,5 a (0,6)	55,6 a (0,4)	24,4 a (1,0)	0,52 a (0,003)	0,59 a (0,06)	0,26 a (0,01)	8,8 a (0,02)	5,4 a (0,7)	0,18 a (0,03)
P+DMPP	59,4 a (0,2)	45,8 ab (2,0)	22,4 ab (2,5)	0,45 a (0,006)	0,57 a (0,04)	0,24 ab (0,02)	3,7 a (0,07)	6,9 a (1,0)	0,14 a (0,01)
NSA	52,8 a (1,2)	44,7 ab (1,9)	21,2 ab (2,8)	0,37 a (0,012)	0,40 b (0,06)	0,21 abc (0,02)	3,2 a (0,08)	5,0 a (0,6)	0,23 a (0,02)
ENTEC	65,4 a (0,7)	37,9 b (0,8)	17,5 ab (1,5)	0,50 a (0,002)	0,40 b (0,07)	0,17 bc (0,01)	10,0 a (0,03)	4,6 a (1,4)	0,15 a (0,03)

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan. Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3).

Es pot destacar un increment significatiu en l'absorció total de Zn a la part aèria degut a l'aportació de purins. I també s'observa un lleuger increment en el cas de l'absorció total de Cu en la part aèria. S'ha de destacar que en l'aplicació de purins hi ha una aportació considerable d'aquests dos elements. Concretament en la segona campanya s'apliquen aproximadament uns 54 kg Zn ha⁻¹ i 16,7 kg Cu ha⁻¹ (taula 9.5.).

El diagnòstic del contingut de nitrats a la base de la tija a final de cicle sembla de gran interès per comprovar si la planta ha disposat d'una quantitat en excés de nitrogen al sòl. Binford et al., (1990) en els seus experiments estableixen com a valor mínim crític una concentració de 0,25 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ i indiquen que a partir d'1,2 g N-NO₃⁻ kg⁻¹ se sobrepassa el llindar corresponent a una aplicació òptima de nitrogen (Binford *et al.*, 1992b) Aquests primers resultats apunten a la possibilitat que el mètode proposat permeti conèixer si una parcel·la ha estat fertilitzada en excés o per diferents motius ha disposat d'una alta quantitat de nitrogen al sòl (aplicacions de purins, nitrats a l'aigua de reg, etc.). S'estableixen també una graduació d'interpretació que es considera baix per valors més baixos de 250 ppm de NO₃⁻, marginal per valors entre 250 i 700 ppm, òptim per valors entre 700 i 2000 ppm i alt per valors superiors a 2000 ppm (Villar, 1999).

A la taula 9.14 es poden veure els resultats obtinguts en la parcel·la d'assaig durant la campanya 2003, i es mostra que en general ha faltat N. D'entrada cal destacar la gran variabilitat de les dades, essent el coeficient de variació en la majoria dels casos superior al 50%. Segons la classificació esmentada en el paràgraf anterior, en tots els casos es troben valors molt baixos, a excepció dels fertilitzants minerals, que el NSA es troba en un valor marginal i l'ENTEC en un valor òptim. Contràriament a les hipòtesis però, aquest tractament durant la campanya 2003 ha obtingut uns rendiments i una absorció total de N relativament baixos respecte als altres tractaments on s'hi ha aportat fertilitzant. No obstant es veu com la concentració a la base de la tija es més alta en els fertilitzants minerals que en els purins. Aquests resultats es confirmen en la mateixa campanya en la concentració, tant en gra com en fulla+tija, del panís que és lleugerament superior en els fertilitzants minerals que en els purins.

Taula 9.14. Concentració de N-NO₃⁻ (en g kg⁻¹ i en ppm) a la base de la tija en el mostreig de collita, durant la campanya 2003.

Tractament	N-NO ₃ ⁻ (g kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (ppm)
C	0,02 (0,01)	73,8 b (25,6)
P	0,02 (0,01)	88,6 b (44,3)
P+DMPP	0,02 (0,00)	88,6 b (0,0)
NSA	0,08 (0,06)	354,3 ab (276,6)
ENTEC	0,28 (0,24)	1240,0 a (1058,2)

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan. Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3).

Un paràmetre molt lligat a l'absorció de N i a la vigorositat de la planta és el contingut en clorofil·la. A més, en altres experiments realitzats amb vegetals (Zerulla *et al.*, 2001), l'ús del DMPP implica una reducció de la concentració de NO₃⁻ en la matèria fresca, i les plantes tenen freqüentment un color verd més intens. A la taula 9.15 es mostren els resultats SPAD obtinguts durant el primer i segon mostreig de biomassa en les dues campanyes. Durant el primer mostreig, en l'estadi de creixement de 4 a 6 fulles, les rectes de regressió dels valors de SPAD amb N absorbit presenten una correlació (r^2) molt baixa. Això és degut a que hi ha molt poca variabilitat entre tots els valors SPAD dels diferents tractaments, concretament un 3,3 % i 4,2 % per la primera campanya i segona, respectivament. Generalment és en aquest estadi quan en funció dels resultats de SPAD obtinguts es decideix fer algun tipus d'aportació de nitrogen en cobertura. En altres estudis (Novoa i Villagrán, 2002) la correlació (r^2) en aquestes dates entre els valors SPAD i el percentatge de N va ser de 0,88, i es considerava que en valors inferior a 35,3, equivalents a un contingut de 1,84 % de N, era convenient fer una aplicació extra de N.

En el segon mostreig, es veuen ja lleugeres diferències entre el tractament control i la resta presentant una correlació (r^2) de les rectes de regressió de SPAD amb el N absorbit de 0,48 i 0,33 % per la primera i segona campanya respectivament. No es veu un efecte ens els valors SPAD degut a l'addició del DMPP. Al mostreig en floració en la primera

campanya es detecten diferències significatives en quan a la concentració de N en planta, en canvi no es detecten en els valors SPAD. Durant la segona campanya si que hi ha diferències significatives del tractament control respecte a la resta, tant pel que fa als valors de SPAD com als valors de % N en la planta.

Taula 9.15. Mitjana de les lectures de SPAD en els diferents tractaments durant l'evolució del cultiu en les dues campanyes.

Tractament	13/06/02		23/07/02		06/06/03		17/07/03	
	SPAD	% N en planta	SPAD	% N en planta	SPAD	% N en planta	SPAD	% N en planta
C	48,9 ab (1,3)	4,7 a (0,64)	31,2 a (1,7)	1,0 c (0,08)	47,9 b (0,5)	3,4 a (0,34)	30,8 b (3,5)	0,8 b (0,06)
P	51,0 a (0,9)	4,5 a (0,13)	35,7 a (1,2)	1,3 ab (0,15)	48,4 b (0,7)	3,3 a (0,25)	38,6 a (4,3)	1,1 a (0,13)
P+DMPP	50,7 a (0,6)	4,5 a (0,41)	34,3 a (4,5)	1,1 bc (0,12)	48,9 b (1,2)	3,7 a (0,19)	37,9 a (2,6)	1,2 a (0,07)
NSA	49,9 ab (2,4)	4,6 a (0,02)	36,4 a (1,7)	1,4 a (0,19)	52,7 a (2,1)	3,1 a (0,84)	35,2 ab (1,9)	1,3 a (0,15)
ENTEC	47,9 b (0,6)	4,3 a (0,20)	36,5 a (3,0)	1,5 a (0,15)	48,7 b (1,0)	3,3 a (0,4)	40,0 a (2,5)	1,3 a (0,16)

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan. Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3).

El N recuperat en les dues campanyes, entès com la diferència entre el N absorbit pel cultiu en un tractament determinat i el N absorbit en el tractament control, respecte al N aplicat, es mostra a la taula 9.16. En general cal remarcar que els resultats són baixos. En alguns estudis realitzats per l'ITG Agrícola de Navarra (2003), s'obtenien resultats del 56 % en aplicació de purí en fons. Per altra banda, amb un experiment amb panís durant les campanyes 98 i 99, realitzat a la zona d'estudi i utilitzant fertilitzants minerals i DMPP, es trobaven resultats que en cap cas superava el 30 % (Carrasco, 2000). Altres resultats amb panís confirmen valors estimatius baixos d'eficiència en la recuperació del N amb purí aplicat a la primavera del 10 % (Miller i MacKenzie, 1978). Durant la primera campanya hi ha una gran variabilitat de dades, i en alguns casos l'absorció total de N és inferior a la mitjana del tractament control de manera que distorsiona molt els resultats. El que es pot destacar és que amb els resultat acumulats de les dues campanyes, el NREC és millor en els fertilitzants minerals que amb els purins,

havent-hi diferències significatives respecte al NSA. L'addició del DMPP no comporta cap millora en el NREC.

Taula 9.16. N recuperat (NREC) respecte al N total aplicat, expressat en percentatge, en els dos anys d'experiment.

Tractament	2002 NREC (%)	2003 NREC (%)	Ambdues campanyes NREC (%)
P	-2,3 b (26,0)	37,0 a (3,3)	19,3 b (9,2)
P+DMPP	13,9 ab (18,1)	23,8 a (8,0)	19,3 b (12,7)
NSA	57,9 a (29,2)	34,1 a (29,7)	46,0 a (2,9)
ENTEC	29,0 ab (34,5)	17,5 a (12,5)	23,3 ab (20,6)

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan, Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3).

El contingut total de nitrogen-nítric en la zona radicular és un indicador que pot utilitzar-se com a base per l'estimació de les necessitats de fertilitzants nitrogenats. Les investigacions efectuades indiquen que aquesta és la forma més fiable per establir relacions entre la disponibilitat de nitrogen i les necessitats de fertilització nitrogenada (Blackmer,1991).

A la taula 9.17 es mostren els nivells de nitrats i amoni al sòl durant el cicle del cultiu, durant les dues campanyes. Hi ha un augment considerable dels nivells de $N-NO_3^-$ al sòl en els mostrejos posteriors a les aplicacions de fertilitzants, sobretot en el cas del fertilitzants minerals, ja que el procés de nitrificació és un procés ràpid. En la primera campanya 20 dies després de l'aplicació, els nivells de $N-NO_3^-$ són més baixos en els tractaments on s'hi ha afegit el DMPP, havent-hi diferències significatives entre el NSA i l'ENTEC, tot i que això no es tradueix en un nivells més alts de $N-NH_4^+$. En la segona campanya, el mostreig es va realitzar 25 dies després de l'aplicació dels purins i 15 dies després de l'aplicació dels fertilitzants minerals. En aquest cas, es veu el mateix efecte en el contingut de $N-NO_3^-$ al sòl, on són inferiors en el tractament amb DMPP, i en el contingut de $N-NH_4^+$ no es veu un augment en els tractaments en purins, però sí en els tractaments amb fertilitzants minerals. Aquest efecte podria ser degut a que

l'eficiència de l'inhibidor fos de poc més de 15 dies degut a les condicions de temperatura que es troben.

Al final de la primera campanya, els nivells de N-NO_3^- al sòl han disminuït en tots els tractaments a excepció del NSA. Al final de la segona campanya, els nivells de N-NO_3^- al sòl es mantenen o inclús augmenten lleugerament en els tractaments amb purins. Possiblement sigui causa de la mineralització progressiva del N orgànic contingut en els purins.

A la taula 9.18 es mostren els resultats dels continguts de P, K, Cu i Zn al sòl al final de les dues campanyes (06/10/03). En el cas del contingut de P al sòl en els primers 20 cm, es veu un augment considerable, respecte als nivells inicials, en el tractament amb purins (P), essent diferent significativament dels altres tractaments. El tractament P+DMPP té uns valors lleugerament superiors als tractaments sense purins però sense mostrar diferències significatives. En el cas del contingut de K al sòl, cal considerar que els valors inicials ja es trobaven en un llinzar bastant baix. Els nivells han baixat en tots els tractaments, tot i que en els tractaments amb purins, degut a l'aportació de K, s'ha amortigat el descens. Es confirma però la hipòtesis que la fertilització amb purins utilitzant el criteri N, no supleix les necessitats totals de K de cultius com el panís.

Aplicacions a llarg termini de purins de porc solen produir increments significatius de nivells de Cu i Zn al sòl. En aquest experiment, on només hi ha dos anys d'aplicacions, es pot començar a veure un augment en el tractaments amb purins, sobretot en el contingut de Zn al sòl, però no difereix significativament de la resta de tractaments.

Taula 9.17. Contingut de N-NO₃⁻ i N-NH₄⁺ al sòl al llarg del cicle del cultiu.

Tractament	N-NO ₃ ⁻ en mg kg ⁻¹ (0-20 cm)							N-NH ₄ ⁺ en mg kg ⁻¹ (0-20 cm)	
	10/04/02 ¹	23/05/02	24/07/02	04/10/02	14/04/03	09/05/03 ¹	06/10/03	23/05/02	09/05/03 ¹
C	17,0	15,7 c (1,15)	10,7 b (2,08)	13,3 b (2,08)	13,3 ab (2,08)	15,0	12,7 b (1,53)	4,63 a	8,6
P	17,0	36,3 bc (7,37)	14,3 ab (1,53)	15,0 b (4,00)	11,7 bc (2,31)	45,0	17,7 ab (4,93)	4,93 a	8,1
P+DMPP	17,0	28,7 bc (8,62)	11,7 b (3,21)	12,7 b (2,52)	9,3 c (0,58)	31,0	19,3 a (2,08)	4,67 a	7,3
NSA	17,0	82,0 a (34,18)	21,7 a (9,87)	24,3 a (19,66)	13,5 ab (1,00)	80,0	15,7 ab (2,52)	32,13 a	2,0
ENTEC	17,0	52,3 b (7,02)	15,0 ab (5,00)	11,3 b (4,73)	15,5 a (0,71)	51,0	14,0 ab (1,73)	13,37 a	5,2
	N-NO ₃ ⁻ en mg kg ⁻¹ (20-40 cm)							N-NH ₄ ⁺ en mg kg ⁻¹ (20-40 cm)	
	10/04/02 ¹	23/05/02	24/07/02	04/10/02	14/04/03	09/05/03 ¹	06/10/03	23/05/02	09/05/03 ¹
C	21,0	14,67 b (2,08)	11,33 b (4,04)	6,33 a (1,15)	NA	16	9,67 b (1,5)	4,43 b (0,74)	4,5
P	21,0	24,00 b (4,58)	18,00 b (3,61)	8,00 a (2,0)	NA	26	15,00 a (4,6)	4,27 b (0,67)	6,9
P+DMPP	21,0	21,33 b (7,57)	14,33 b (7,02)	11,33 a (6,66)	NA	10	18,00 a (4,6)	3,50 b (0,36)	5
NSA	21,0	48,67 a (6,81)	29,00 a (15,10)	23,33 a (24,01)	NA	38	14,33 ab (1,2)	5,70 ab (1,08)	7,1
ENTEC	21,0	39,67 a (1,15)	15,00 b (3,0)	10,33 a (2,08)	NA	36	13,67 ab (2,5)	10,03 a (6,17)	6,1

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan, Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3).

¹No hi ha repeticions

Taula 9.18. Contingut residual del P, K, Cu i Zn al sòl al final de l'experiment.

Tractament	0-20 cm			
	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
C	11,7 b (3,1)	106,0 ab (29,1)	14,3 ab (4,9)	59,3 ab (1,5)
P	38,3 a (10,6)	137,0 a (14,2)	15,3 ab (7,8)	67,3 a (0,6)
P+DMPP	17,7 b (13,3)	118,0 ab (32,1)	13,7 ab (2,3)	58,7 ab (0,6)
NSA	12,7 b (3,2)	95,3 b (34,2)	13,0 b (3,2)	53,7 b (1,0)
ENTEC	16,0 b (7,9)	95,7 b (12,7)	16,7 a (5,9)	58,3 ab (3,2)
	20-40 cm			
C	23,33 a (15,0)	99,00 a (35,7)	13,67 a (2,1)	59,00 a (7,8)
P	26,67 a (9,5)	93,00 a (24,2)	13,67 a (1,2)	61,33 a (0,6)
P+DMPP	15,33 a (8,4)	103,33 a (7,6)	13,33 a (0,6)	62,33 a (5,5)
NSA	17,67 a (10,7)	107,00 a (26,5)	13,67 a (2,1)	58,00 a (2,6)
ENTEC	9,67 a (0,6)	80,67 a (5,9)	13,00 a (1,0)	55,00 a (2,6)

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan, Els valors entre parèntesis són la desviació estàndard (n=3).

5. CONCLUSIONS

En aquests resultats experimentals cal destacar una gran variabilitat de les dades en tots el paràmetres analitzats, superant en alguns casos el 40 %.

No hi ha diferències significatives en el rendiment, ni en el N total absorbit per la planta degut als diferents esquemes de fertilització mineral o amb purins. Els mateixos resultats són observats per Daudén i Quílez (2004). En l'estudi esmentat anteriorment, on es controlava la lixiviació es veu una major susceptibilitat de pèrdues de nitrats per lixiviació en el tractament amb fertilitzant mineral. Malgrat només hi ha diferències significatives del tractament control amb la resta en quan al rendiment, l'addició del DMPP no afavoreix els resultats. Cal destacar que l'ENTEC ha obtingut valors més baixos que el NSA en les dues campanyes, suposant un valor acumulat de gairebé 2200 kg menys. També es pot afirmar que en la primera campanya, hi ha un efecte parcel·la superior, que emmascara els resultats.

La recuperació aparent del N (NREC) és més elevada en els fertilitzants minerals, obtenint un valor promig de les dues campanyes de 34,7 %, que en el purins de porc, on el valor promig de les dues campanyes no supera el 20%. Les diferències entre els resultats obtinguts pel tractament ENTEC i NSA són considerables, essent el valor del NREC de l'ENTEC gairebé la meitat.

Malgrat no haver-hi diferències significatives en els rendiments, es veu una clara resposta respecte al tractament control en els tractaments on s'ha aportat durant les dues campanyes 234 kg K ha⁻¹, essent de mitjana un 64 % superior en els tractaments en purins, i només un 29 % en els tractaments amb fertilitzants minerals. Això demostra una clara resposta a l'aportació de K degut a que els nivells de K al sòl durant la segona campanya han estat baixos.

A trets generals no es veuen diferències significatives en l'absorció dels diferents macro i micronutrients en la planta durant la segona campanya. En alguns casos es detecta ja la mancança de nutrients en el tractament control, en la que no s'hi ha aportat cap tipus de fertilitzant durant les dues campanyes. També es pot destacar la major absorció de Zn

en els tractaments amb purins, essent les diferències significatives respecte als altres tractaments.

Segurament degut a les condicions de temperatura en l'època d'aplicació dels fertilitzants, l'eficiència de l'ús de l'inhibidor es veu reduïda a poc més de 15 dies, de manera que no hi ha millores evidents degut a la utilització del DMPP.

6. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

ALLEN, R.G.; PEREIRA, S.L.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma. FAO.Irrigation and Drainage Paper n. 56

BALL-COELHO, B.R.; ROY, R.C. 1999. Enhanced ammonium sources to reduce nitrate leaching. *Nutr Cycl Agroecosyst.* 54, 73-80.

BINFORD, G. D.; BLACKMER, A. M.; ELHOUT, N. M. 1990. Tissue tests for excess nitrogen during corn production. *Agronomy Journal* 82 pp.124-129.

BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M.; CERRATO, M.E. 1992a. Relationships between corn yield and soil nitrate in late spring. *Agronomy journal* 84 pp.53-59.

BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M.; MEESE, B.G.. 1992b. Optimal concentrations of nitrate in cornstalks at maturity. *Agronomy Journal* 84 pp. 881-887.

BLACKMER, A. M. 1991. Nitrogen needs for corn in a sustainable agriculture. 44th Annual Corn & Sorghum Research Conference.

BOIXADERA J, JM VILLAR, J. LLOVERAS, M. ARÁN, P. VILLAR, F. DOMINGO, A. BOSCH, N. TEIXIDOR, J. SERRA. 2005. La Fertilització en el panís. Dossier Tècnic. Núm. 1. DARP. Generalitat de Catalunya. (En línia a www.ruralcat.net)

CARRASCO, I. 2000. Mejora de la eficiencia en el uso del nirogeno con la utlitzación de inhibidores de la nitrificación en la zona regable del canal d'Urgell. DEA. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida.

DAUDÉN, A; QUÍLEZ, D. 2004. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. *European Journal of Agronomy* 21 (1) pp 7-19.

FERRER F. 1999. Diagnóstico del N disponible en el suelo y contribución de técnicas de simulación para la mejora de las recomendaciones de la fertilización nitrogenada en cultivo de maíz en regadío. Tesis doctoral. Universidad de Lleida.

HUGGINS D.R., PAN W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: An evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy journal.* Vol. 85:898-905

IRIGOYEN, I.; MURO, J.; AZPILICUETA, M.; APARICIO-TEJO, P.; LAMSFUS, C. 2003. Ammonium oxidation kinetics in the presence of nitrification inhibitors DCD and DMMP at various temperatures. *Australian Journal of Soil Research* 41 pp. 1177-1183.

ITG Agrícola de Navarra. 2003. Jornada de puertas abiertas. Valoración agronómica de fertilizantes orgánicos: purín de porcino y lodo de depuradora.

MAGDOFF, F. R.; ROSS, D.; AMADON, J. 1984. A soil test for Nitrogen Availability to Corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48 pp.1301-1304.

MCCLENAHAN, E. J.; KILLORN, R. 1988. Relationship between basal corn stem nitrate N content at V6 growth stage and grain yield. *Journal of Production Agriculture* 1(4) pp. 322-326.

MILLER, P.L.; MACKENZIE, A.F. 1978. Effects of manures, ammonium nitrate and S-coated urea on yield and uptake of N by corn and on subsequent inorganic N levels in soils in Southern Quebec. *Can. J. Soil Sci.* 58, pp.153-158

NOVOA, R.; VILLAGRAN, N. 2002 EVALUACIÓN DE UN INSTRUMENTO MEDIDOR DE CLOROFILA EN LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE NITRÓGENO FOLIAR EN MAÍZ. *Agric. Téc.*, ene. 2002, vol.62, no.1, p.166-171. ISSN 0365-2807.

PASDA, G.; HÄHNDEL, R.; ZERULLA, W. 2001, Effect of fertilisers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimetilpirazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol Fertil Soils* 34, pp. 85-97.

PAPADAKIS, J. (1966) *Climates of the World and their Agricultural Potentialities*. DAPCO, Rome, 174 pp.

SAS Institute. 1999. *The SAS system for Windows. Version 8.02*. SAS Inst. Cary, NC.

SCHEPERS, J.S.; MOSIER, A.R. 1991. Accounting for nitrogen in non-equilibrium soil-crop systems. In R.F. Follett, D.R. Keeney and R.M. Cruse (Eds.), *Managing nitrogen for ground water quality and farm profitability* (pp. 125-138). Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

SISQUELLA, M; LLOVERAS, J.; ÁLVARO J.; SANTIVERI P.; CANTERO, C. 2004a. Tècniques de cultiu per a la producció de panís, blat i alfals en regadius de la Vall de l'Ebre. Projecte TRAMA. Fundació Catalana de Cooperació.

SISQUELLA, M; LLOVERAS, J.; SANTIVERI P.; CANTERO, C. 2004b. Tècniques de gestió ambiental en cultius extensius de regadiu. Projecte TRAMA. Fundació Catalana de Cooperació.

USDA-NRCS. 1998. *Soil taxonomy: Keys to Soil Taxonomy. Sixth Edition*. United States Government Printing Office, Washinton D.C.E.E.U.U.

VILLAR, P. 1999. Estudio ambiental, diagnóstico y manejo del nitrógeno en sistemas de agricultura de regadío: aplicación a la zona regable de los canales del Urgell. Tesis doctoral. Universidad de Lleida.

VILLAR J.M. 2005. La fertilització dels cultius en sòls calcaris.11-16. Dossier Tècnic Núm. 6. *Bones Pràctiques Agràries (I)*. DARP. Generalitat de Catalunya. (En línia a www.ruralcat.net).

VILLAR-MIR, J.M.; VILLAR-MIR, P.; STOCKLE, C.O.; FERRER, F; ARAN, M. 2002. On-farm monitoring o soil nitrate-nitrogen in irrigated cornfields in the ebro valley (northeast Spain). Agronomy journal 94 pp. 373-380.

ZERULLA W., BARTH T., DRESSEL J., ERHARDT K., HORCHER von LOCQUENGHEN K., PASDA G., RÄDLE M., WISSEMEIER, A.H. 2001. 3,4-Dimethylpirazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. Biol Fertil Soils 34, 79-84.

ANNEX

Taula 9.19. Biomassa, expressat en kg/ha i 0% humitat, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2002.

Tractament	13/06/02	23/07/02				18/10/02					
	Total	Fulla	Tija	panotxa	Inflor.	Total	Fulla	Tija	Panotxa	Inflor.	Total
C	386,5 a	2293,2 a	6350,2 a	284,1 a	332,8 a	9260 a	2258,3 a	6996,7 a	16361 a	182,7 a	25799 a
P	428,9 a	2546,8 a	6154,8 a	336,5 a	332,9 a	9371 a	2008,1 a	6022,5 a	15804 a	110,7 ab	23946 a
P+DMPP	439,3 a	2367,9 a	6526,7 a	518,8 a	352,1 a	9766 a	2409,7 a	7827,8 a	17523 a	102,9 ab	27863 a
NSA	326,1 a	3040,4 a	7407,0 a	651,7 a	466,4 a	11565 a	2426,2 a	8878,3 a	18712 a	99,0 b	30115 a
ENTEC	304,4 a	2701,4 a	6552,3 a	423,4 a	404,5 a	10082 a	1887,3 a	6268,7 a	18253 a	157,8 ab	26566 a

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan.

Taula 9.20. N absorbit, expressat en kg/ha, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2002.

Tractament	13/06/02	23/07/02				18/10/02					
	Total	Fulla	Tija	panotxa	Inflor.	Total	Fulla	Tija	Panotxa	Inflor.	Total
C	18,1 a	43,1 b	31,9 a	6,2 a	7,3 a	88,4 b	22,5 ab	35,1 a	165,0 a	1,6 a	224,1 a
P	19,4 a	65,7 ab	45,7 a	6,8 a	6,4 a	124,5 ab	18,4 b	28,3 a	173,0 a	0,8 a	220,4 a
P+DMPP	20,0 a	56,0 ab	35,9 a	10,7 a	7,1 a	109,8 ab	23,4 ab	41,7 a	193,6 a	0,7 a	259,4 a
NSA	15,1 a	82,6 a	53,1 a	12,0 a	10,5 a	158,2 a	33,0 a	41,4 a	237,5 a	0,9 a	312,7 a
ENTEC	13,0 a	69,3 ab	64,0 a	8,3 a	9,0 a	150,6 a	23,5 ab	46,1 a	195,6 a	1,2 a	266,5 a

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan.

Taula 9.21. Concentració de N, expressat en percentatge, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2002.

Tractament	13/06/02	23/07/02				18/10/02				
	Total	Fulla	Tija	panotxa	inflorescència	Fulla	Tija	gra	suro	inflorescència
C	4,7 a	1,9 a	0,5 b	2,1 a	2,1 a	1,0 b	0,5 ab	1,0 b	1,0 a	0,8 a
P	4,5 a	2,6 a	0,7 ab	2,0 a	1,9 a	0,9 b	0,5 b	1,1 ab	1,2 a	0,7 a
P+DMPP	4,5 a	2,3 a	0,6 b	2,0 a	2,0 a	1,0 b	0,5 ab	1,1 ab	1,3 a	0,7 a
NSA	4,6 a	2,8 a	0,7 ab	1,9 a	2,3 a	1,4 a	0,5 b	1,3 a	1,0 a	0,8 a
ENTEC	4,3 a	2,6 a	0,9 a	1,9 a	2,0 a	1,2 ab	0,7 a	1,1 ab	0,9 a	0,7 a

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan,

Taula 9.22. Biomassa, expressat en kg/ha i 0% humitat, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2003 .

Tractament	06/06/03	17/07/03					02/10/03					
	Total	Fulla	Tija	panotxa	Inflor.	Total	Fulla	Tija	gra	suro	Inflor.	Total
C	1525,5 b	2098,5 b	4132,6 a	2456,6 a	102,2 a	8903 b	1842,8 b	4485,8 b	5734,1 b	1985,8 a	87,9 a	14136 c
P	1557,9 b	2808,0 a	5708,1 a	4476,4 a	108,5 a	13101 ab	3398,9 a	7481,2 a	9775,8 a	2842,8 a	127,9 a	23627 a
P+DMPP	2799,8 a	2912,3 a	6055,6 a	4906,8 a	105,7 a	13980 a	2900,4 ab	6358,8 ab	9045,2 a	2601,7 a	103,0 a	21009 ab
NSA	1316,0 b	2819,3 a	5150,0 a	3281,4 a	123,6 a	11374 ab	2427,1 ab	5373,5 ab	7998,6 ab	2633,6 a	82,8 a	18516 abc
ENTEC	1391,2 b	2536,6 ab	4575,5 a	3983,0 a	119,3 a	11214 ab	2318,2 ab	3972,2 b	6780,6 ab	2368,0 a	105,6 a	15545 bc

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan,

Taula 9.23. N absorbit, expressat en kg/ha, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2003.

Tractament	06/06/03	17/07/03				
	Total	Fulla	Tija	Panotxa	Inflor.	Total
C	52,0 b	22,9 b	15,5 b	35,0 b	0,7 a	75,0 b
P	50,2 b	54,9 a	24,6 ab	66,9 ab	1,1 a	147,5 a
P+DMPP	104,1 a	51,0 a	26,1 a	83,9 a	1,3 a	162,3 a
NSA	40,5 b	56,0 a	28,2 a	57,6 ab	1,6 a	143,4 a
ENTEC	44,6 b	45,3 a	26,4 a	73,9 ab	1,0 a	146,5 a

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan,

Taula 9.24. Concentració de N, expressat en percentatge, de les diferents parts del panís en els diferents mostrejos per la campanya 2003.

Tractament	06/06/03	17/07/03			
	Total	Fulla	Tija	Panotxa	inflorescència
C	3,4 a	1,1 b	0,4 a	1,4 b	0,7 a
P	3,3 a	1,9 a	0,4 a	1,5 ab	1,0 a
P+DMPP	3,7 a	1,8 a	0,4 a	1,7 ab	1,3 a
NSA	3,1 a	2,0 a	0,6 a	1,9 a	1,3 a
ENTEC	3,3 a	1,8 a	0,6 a	1,8 ab	0,9 a

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan,

Taula 9.25. Concentració de macro i micronutrients al gra i a la fulla+tija, expressat en percentatge o en ppm, en el mostreig de collita de la campanya 2003.

Tractament	percentatge						ppm					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B	Na
	Gra											
C	1,18 a	0,21 ab	0,32 ab	0,003 a	0,10 ab	0,13 a	31,67 ab	29,67 a	11,67 a	4,33 a	4,00 a	191,7 a
P	1,26 a	0,21 ab	0,33 ab	0,003 a	0,10 ab	0,13 a	28,00 b	28,67 a	11,33 a	4,00 a	6,00 a	261,7 a
P+DMPP	1,19 a	0,24 a	0,34 a	0,010 a	0,10 ab	0,13 a	38,33 a	28,00 a	12,00 a	4,67 a	2,00 a	262,7 a
NSA	1,27 a	0,21 ab	0,31 ab	0,017 a	0,11 a	0,13 a	31,67 ab	26,00 a	12,33 a	4,33 a	5,00 a	264,3 a
ENTEC	1,27 a	0,16 b	0,27 b	0,007 a	0,08 b	0,14 a	30,00 b	32,33 a	11,33 a	4,33 a	6,00 a	353,7 a
	Fulla+tija											
C	0,53 b	0,07 a	0,32 ab	0,73 a	0,39 c	0,12 a	777,33 ab	31,33 a	13,33 b	47,67 b	12,67 a	295,0 a
P	0,65 ab	0,06 a	0,36 ab	0,69 a	0,42 bc	0,11 a	795,67 ab	29,33 a	14,33 ab	44,33 b	11,33 a	262,3 a
P+DMPP	0,62 ab	0,06 a	0,48 a	0,63 a	0,40 c	0,12 a	355,67 b	37,33 a	15,00 a	43,33 b	13,67 a	529,0 a
NSA	0,72 a	0,06 a	0,32 ab	0,68 a	0,47 ab	0,14 a	409,33 b	25,67 a	14,67 ab	44,33 b	22,33 a	360,0 a
ENTEC	0,70 a	0,04 a	0,23 b	1,06 a	0,52 a	0,13 a	1572,67 a	30,33 a	15,67 a	75,67 a	17,33 a	345,0 a

Entre columnes els valors seguits de la mateixa lletra no són diferents significativament entre ells amb un nivell de significació del 5% segons el test de Duncan,

10. CAPITOL 6

**MODELITZACIÓ DE L'ÚS DEL N EN BLAT UTILITZANT EL
MODEL CROPSYST**

1. INTRODUCCIÓ

Els models de simulació són una eina molt útil per l'anàlisi dels sistemes agrícoles. L'avantatge dels models és que ens permeten accelerar l'obtenció de resultats respecte als experiments de camp. D'aquesta forma, es pot predir el comportament de diferents cultius davant diferents estratègies de maneig, així com es pot progressar en la generació del coneixement de les interaccions entre determinats cultius i l'ambient. També ens permet incorporar el clima en les decisions de maneig. No hem d'oblidar que els sistemes agrícoles són sistemes biofísics molt complexes degut a que hi ha una gran quantitat de factors i interaccions que actuen sobre aquests, i que hem d'entendre'ls per la presa de decisions mitjançant models de simulació. La utilització dels models s'ha agilitzat en aquestes últimes dècades gràcies a la millora d'aquests, però també gràcies al gran avanç de la ciència de la informàtica. Els models més utilitzats en els països desenvolupats són els models funcionals com el CropSyst, el CERES i el APSRU.

En aquest cas s'utilitzarà el model CropSyst v.4.01.28 (Stöckle i Nelson, 2000), ja que el model mostra un excel·lent potencial per avaluar bones pràctiques agràries en quant a l'aigua i al nitrogen (Stöckle *et al.*, 1994). A més ens permet combinar el sistema de maneig del cultiu (reg, fertilització, rotació, ...) amb la productivitat i amb l'ambient (especialment clima i tipus de sòl) en diversos cultius i en diversos anys. Podrem obtenir resultats en quant al balanç de nitrogen i d'aigua, a la fenologia del cultiu, a la radiació interceptada, al creixement i desenvolupament de l'índex d'àrea foliar, a la producció de biomassa, al rendiment, a la descomposició dels residus, a l'erosió del sòl, etc. Stöckle *et al.* (2000) han escrit una descripció detallada del funcionament del model.

La capacitat d'aquest model ha estat avaluada de forma preliminar en la zona d'estudi amb el cultiu de panís (*Zea mays* L.) per Villar *et al.* (1996), Ferrer *et al.* (1997), Ferrer *et al.* (2000). L'objectiu principal d'aquest capítol és calibrar i validar el model pel cultiu del blat (*Triticum aestivum* L.), aprofitant un treball experimental de camp d'una duració de quatre campanyes successives.

2. CALIBRACIÓ I VALIDACIÓ

2.1. Dades experimentals

Per calibrar i validar el model de simulació CropSyst s'utilitzen dos experiments de camp de blat (*Triticum aestivum* L.) portats a terme a la comarca del Pla d'Urgell dins la zona regable del Canal d'Urgell (Nord-Est d'Espanya) amb un clima semiàrid continental. Les principals característiques d'aquests experiments es mostren a la taula 10.1. Les dades meteorològiques durant l'assaig han estat recollides en una estació automàtica (Campbell Sci., Logan, UT) localitzada al Poal (41°40' N, 00°51' E; elev. 227 m) (Xarxa d'estacions meteorològiques del DARP, Generalitat de Catalunya). Es disposen de dades climàtiques diàries de precipitació, temperatura màxima i mínima, radiació global, humitat relativa mínima i velocitat del vent. A partir d'aquestes dades, es calcula la humitat relativa màxima segons les equacions 1 i 2 exposades a continuació, per tal de que el CropSyst pugui calcular la ETo a través del model de Penman-Monteith. Es considera un factor d'aridesa de 0,04, ajustat en aquesta regió per Villar et al. (1996)

(1)

$$hr_{max} = \frac{ea}{es(T_{min})}$$

(2)

$$es(T) = 0.611 * \exp \left[\frac{17.05 * T}{T + 240.97} \right]$$

hr_{max}: humitat relativa màxima, ea: pressió de vapor; es: pressió de vapor a saturació, T: temperatura)

Taula 10.1. Característiques dels experiments de camp.

Castellnou de Seana				
Campanya	1999-2000	2000-01	2001-02	2002-03
Cultiu	Blat (<i>Triticum aestivum</i> L.) Varietat Anza (1a i 2a campanya) Bancal (3a i 4a campanya)			
Data de sembra	24/11/99	14/12/00	30/11/01	16/11/02
Data de collita	23/06/00	26/06/01	03/07/02	26/06/03
Disseny experimental	Blocs a l'atzar amb tres repeticions (parcel·la elemental: 10x30 m)			
Purí	Data d'aplicació	10/11/99	22/11/00	23/11/01
	Dosis (kg N ha⁻¹)	298	194	29
Cobertera	Data d'aplicació	03/02/00	21/02/01	18/02/02
	Dosis (kg N ha⁻¹)	50	75	75
Tractaments	<i>Control</i> – sense cap aplicació de fertilitzant <i>Purí</i> – una aplicació de purí abans de la sembra <i>Purí més cobertera</i> – una aplicació de purí abans de la sembra i una cobertera amb nitrosulfat amònic 26% (NSA) en cobertera.			
Tipus de sòl	franc, calcari, mixte, mesic, superficial, Xerollic Paleorthid (USDA-NRCS, 1998)			
Dades reg superficial	14/03,26/04,18/05	08/03,10/04, ?	22/03,22/04,06/05	20/03,22/04,06/05
Vila-Sana				
Campanya	2001-02		2002-03	
Cultiu	Blat (<i>Triticum aestivum</i> L.) var: Bancal			
Data de sembra	30/11/01		16/11/02	
Data de collita	05/07/02		26/06/03	
Disseny experimental	Bloc a l'atzar amb tres repeticions (parcel·la elemental: 10x30 m)			
Purí	Data d'aplicació	23/11/01		24/10/02
	Dosis (kg N ha⁻¹)	29		145
Cobertera	Data d'aplicació	11/03/02		18/03/03
	Dosis (kg N ha⁻¹)	75		75
Tractaments	<i>Control</i> – sense cap aplicació de fertilitzant <i>Purí</i> – una aplicació de purí abans de la sembra <i>Purí més cobertera</i> – una aplicació de purí abans de la sembra i una cobertera amb nitrosulfat amònic 26% (NSA) en cobertera. <i>Fertilització mineral</i> – una aplicació de NSA 26% abans de la sembra més una aplicació de NSA 26% en cobertera			
Tipus de sòl	l·limós, fi, mixte, mesic, Gypsic Haploxerept (USDA-NRCS, 1998)			
Dades reg superficial	22/03, 25/04, 03/05		25/03, 25/04, 07/05	

Algunes propietat del sòl varen ser determinades prèviament a la sembra del blat (Taula 10.2), i les propietat hidràuliques estan estimades pel CropSyst segons equacions de pedo-transferència (Saxton et al.,1986) a partir de les fraccions d'arena, llim i argila. El Cropsyst no considera el contingut d'elements grossos, que es tindran en compte especialment a Castellnou que són considerable.

Taula 10.2. Propietats del sòl

Castellnou de Seana					
Determinació	0-20 cm	20-40 cm	40 -60 cm	Mètode	
pH	8,3	8,3	8,3	1:2.5 sòl/aigua	
CE 25°C (dS/m)	0,39	0,44	0,46	1:5 sòl/aigua	
Matèria orgànica (%)	2,8	2,1	1,4	Walkley-Black	
CaCO ₃ equiv. (%)	24	29	50		
P (ppm)	46	27	18	Olsen	
K (ppm)	242	137	76	1 M NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂ extract	
Mg (ppm)	322	283	250	1 M NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂ extract	
N-NO ₃ (ppm)	25,6	26,7	19,2		
Arena (%)	40,3	42,3	49,1		
Llim (%)	33,7	33,1	31,0		
Argil·la (%)	26	24,6	19,9		
Elements grossos(%)	39,8	33,9	37,8		
Vila-Sana					
Determination	0-30 cm	30-60 cm	60 -90 cm	90-120 cm	Mètode
pH	8,4	8	8	8	1:2.5 sòl/aigua
CE 25°C (dS/m)	0,63	3,23	3,25	2,59	1:5 sòl/aigua
Matèria orgànica (%)	1,7	1	0,9	0,65	Walkley-Black
CaCO ₃ equiv. (%)	19	19	19	14	
P (ppm)	16	14	17	9	Olsen
K (ppm)	192	192	190	158	1 M NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂ extract
Mg (ppm)	>600	>600	>600	>600	1 M NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂ extract
N-NO ₃ (ppm)	7	4	5	3	
Arena (%)	7,5	8,3	10,5	5,9	
Llim (%)	47,8	16,5	47,2	56,8	
Argil·la (%)	44,7	45,2	42,3	37,3	

Per la calibració del model, s'utilitzaran les dades de les dos primers campanyes de Castellnou de Seana en les que el cultiu pateix menys estrès, o sigui el tractament de purí més cobertera. Durant l'estació de creixement es mesura el nitrat i l'amoni al perfil del sòl (0-60 cm), el rendiment, l'estadi de creixement, la biomassa aèria, la concentració de nitrogen en la planta i el nitrogen absorbit per la part aèria. Per la calibració s'utilitzen dades experimentals i dades recomanades pel model. Alguns dels paràmetres requereixen calibració. S'utilitza també una opció que té aquesta versió 4

del model per a calibrar alguns dels paràmetres sensibles del cultiu. El resum de la calibració es mostra en la taula 10.3.

Taula 10.3. Paràmetres del cultiu utilitzats en la simulació

Paràmetre		Valor
Creixement (Growth)		
Coefficient de Biomassa-transpiració (kPa kg m ⁻³)	P_Cal	6,5
Eficiència en l'ús de la radiació (g MJ ⁻¹ PAR)	Man	3,0
Fulles i arrel (Leaf and root)		
LAI màxim (m ² m ⁻²)	Man	5
Àrea foliar específica (m ² kg ⁻¹)	Man	25
Coefficient de partició tija/fulla	Obs	3,5
Duració de les fulles (°D)	P_Cal	850
Transpiració (Transpiration)		
Coefficient d'extinció de la radiació solar	Man	0,5
Potencial d'aigua crític per la canòpia (kPa)	P_Cal	-2000
Potencial d'aigua de la canòpia a punt de marcimement (kPa)	P_Cal	-3000
Coefficient de ET del cultiu ⁽¹⁾	P_Cal	1,15
Fenologia (Phenology)		
Graus dia en emergència (°D)	C_Cal	90
Graus dia en floració (°D)	C_Cal	877
Graus dia quan el LAI és màxim (°D)	C_Cal	949
Graus dia en inici de l'ompliment del gra (°D)	C_Cal	1065
Graus dia en maduresa (°D)	C_Cal	1372
Temperatura base (°C)	Man	0
Temperatura òptima (°C)	P_Cal	15
Temperatura màxima (°C)	P_Cal	25
Nitrogen		
Concentració de N màxima durant l'inici del creixement	Obs	0,045
Concentració de N màxima a la maduresa	Obs	0,01
Collita (Harvest)		
Índex de collita en condicions sense estrès ⁽²⁾	Obs	0,38
Sensibilitat a l'estrès d'aigua durant la floració	Man	0,1
Sensibilitat a l'estrès d'aigua durant l'ompliment del gra	Man	0,05

Els paràmetres han estat observats experimentalment (Obs), extrets del manual del model CropSyst (Man), o de la calibració del propi model (C_Cal) or de la calibració personal (P_Cal).

(1) Segons la FAO (1998)

(2) Es considera un valor lleugerament baix, però es manté perquè és el valor observat en els mostres de camp.

No s'ha inclòs a la simulació, perquè s'ha cregut intranscendent, la resposta del cultiu a la salinitat, als nivells de CO₂ atmosfèric, a la vernalització i al fotoperíode.

S'ha escollit un valor de coeficient de transpiració de la biomassa de (K_{BT}) 6,5 kPa kg m⁻³ degut a l'alt valor real que s'obté de biomassa aèria produïda. Per calcular la producció de biomassa per dia (B_T) que depèn de la transpiració, el CropSyst utilitza el model proposat per Tanner i Sinclair (1983).

$$B_T = \frac{K_{BT} T}{VPD}$$

on B_T és en kg m^{-2} , K_{BT} és en kPa, T és la transpiració en kg m^{-2} i el VPD és el dèficit de pressió de vapor mig diari en kPa. Les dades de K_{BT} citades en les referències bibliogràfiques consultades van entre el 2,8 i el 6,7 per el blat (Kemanian et al., 2005).

Els efectes de la temperatura en les taxes d'aparició de les fulles normalment està quantificat utilitzant la fórmula del temps tèrmic. En el CropSyst, la duració de les fulles correspon als graus dia acumulats entre l'aparició i la senescència d'una fulla. L'interval de valors està comprès entre 700 i 1000 C° dia (Stöckle i Nelson, 2000). Per una bona calibració s'utilitza un valor de 850 C° dia.

S'ha considerat com a potencial hídric de la canòpia crític i a punt de marciment permanent -2000 i -3000 kPa, respectivament. Aquest valors són els llindars màxims considerats pel CropSyst (Stöckle i Nelson, 2000) aplicats en ambients àrids.

Els valors que s'utilitzen per temperatures mínimes, òptimes i màximes de creixement són 0, 15 and 25 °C respectivament. Aquestes temperatures han estat citades per Porter i Gawith (1999).

Es disposa de diversos mostrejors de N mineral al sòl durant el període de creixement del cultiu, els quals permeten un millor ajust de la taxa de mineralització. Amb un valor de 0,3 es quan millor s'ajusten a la realitat els resultats simulats. És una bona aproximació perquè es disposa de quatre anys seguits d'experiment amb un tractament control en el qual no es fertilitza.

La calibració és avaluada per representació gràfica. Els paràmetres, prèviament justificats, han estat ajustats de manera que la concordança entre valors observats i simulats ha estat acceptable.

Una vegada calibrat el model, per la seva posterior validació, s'utilitzen els tractaments de control, purí i purí més cobertera de l'experiment de Castellnou de

Seana durant els quatre anys i els tractaments de control, purí, purí més cobertera i fertilització mineral de l'experiment de Vila-Sana durant dos anys definits a la taula 10.1.

La concordança entre els valors simulats i observats és avaluada mitjançant anàlisis de regressió, un dels índexs proposats per Loague i Green (1991), anomenat eficiència de la modelització (ME), que pren valors entre $-\infty$ i ∞ , sent 1 l'òptim, i els índexs proposats per Willmott (1982), com l'error quadràtic mig de l'arrel (RMSE), l'error relatiu (RE) i l'índex de concordança de Willmott (d), que pren valors entre 0 i 1, sent aquest últim el que indica una concordança perfecta.

2.2. Resultats i discussió

La figura 10.1 mostra els gràfics dels valors observats i simulats de la biomassa aèria produïda, de la concentració de N i N total absorbit per aquesta biomassa durant el cicle del cultiu. El model aconsegueix simulacions acceptables pel que fa a l'acumulació de biomassa aèria. La concentració de N de la biomassa té una lleugera desavinença temporal, el qual es fa més evident encara en el N total absorbit. No obstant es pot considerar acceptable perquè el model només permet ajustar la concentració de N ens estadis de creixement específics.

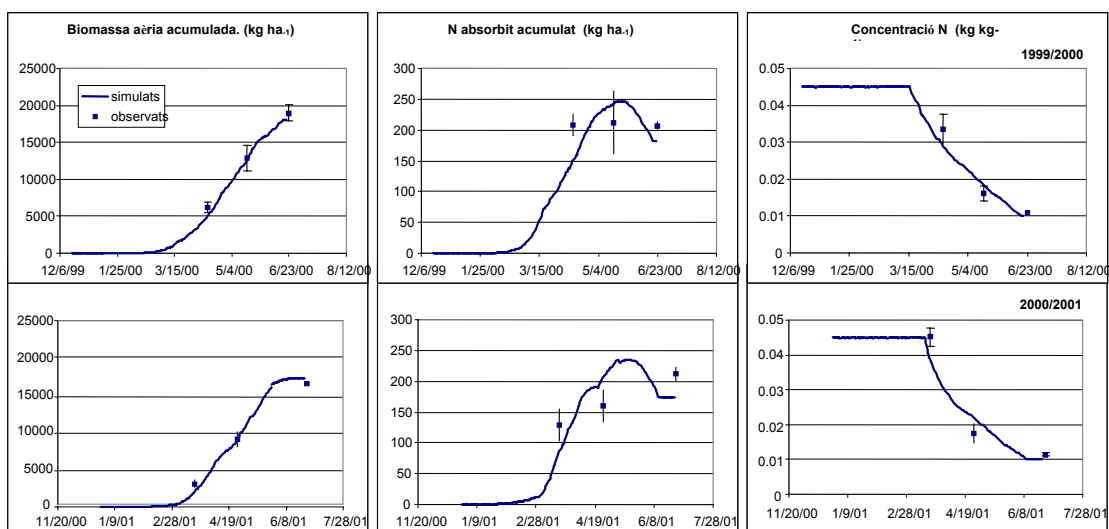


Figura 10.1. Calibració del blat mitjançant el model CropSyst Durant les campanyes 1999/2000 i 2000/2001.

Els resultats de la validació en forma de recta de regressió per alguns paràmetres del cultiu de blat (biomassa aèria, N absorbit i Concentració de N en aquesta biomassa), es mostren a la figura 10.2. Per la biomassa aèria s'obté una R^2 de 0,82 i una pendent de la línia de regressió de 0,94, molt propera a la unitat. Aquest resultats són similars als obtinguts per Majeed *et al.* (1994), amb un R^2 de 0,89 i un pendent de 1,14, també en el cultiu de blat.

Els resultats obtinguts en el N total absorbit per la biomassa aèria també segueix raonablement la línia 1:1, com s'observa en la Figura 10.2. Concretament s'aconsegueix un R^2 de 0,80 i una pendent de 0,93.

La concentració de N a la planta a final de cicle és una propietat bastant estable. De tots els valors observats en els diferents tractaments i els diferents anys, el coeficient de variació és del 16,2 %. Aquesta coeficient de variació es trobaria entre l'interval de 10 i 17 % reflexat per Petersen i Sorensen (2004). Com es veu en la Figura 10.2, els valors observats es troben entre 0,7 i 1,2 %, i els valors simulats es troben entre 0,8 i 1 %. Això fa que tots els punts es trobin en un cúmul dins una zona acotada i que els resultats de la regressió no siguin massa satisfactoris, .

A nivell general es podria dir que el model ha sobreestimat els rendiments. Aquest fet es degut als resultats de camp obtinguts durant la campanya 2002/2003, que van ser extraordinàriament baixos a tota la regió. Per una banda, en l'experiment situat a Castellnou de Seana, era el quart any de monocultiu de blat, fet que no és molt freqüent en aquesta zona, sobretot per problemes d'enfermetats i plagues. Per altra banda, hi va haver unes condicions climàtiques molt específiques que van afectar al rendiment en general i que el model no va detectar. Es van donar unes baixes temperatures a l'inici de campanya, que van provocar un cert endarreriment dels estadis de desenvolupament del cultiu respecte els altres anys, de manera que a la primera setmana de maig (9 de maig- inici floració - estadi 61) es va produir l'inici de l'antesis. En un estadi d'antesi avançat (aproximadament quan hi ha la meitat de les anteres que han florit), una temperatura de 27 °C pot resultar una altra proporció de grans esterils (Wheeler *et al.*, 1996). Precisament durant aquesta campanya es van

assolir temperatures màximes a partir de la segona quinzena de maig de més de 30°C, provocant possiblement aquest descens tan brusc dels rendiments.

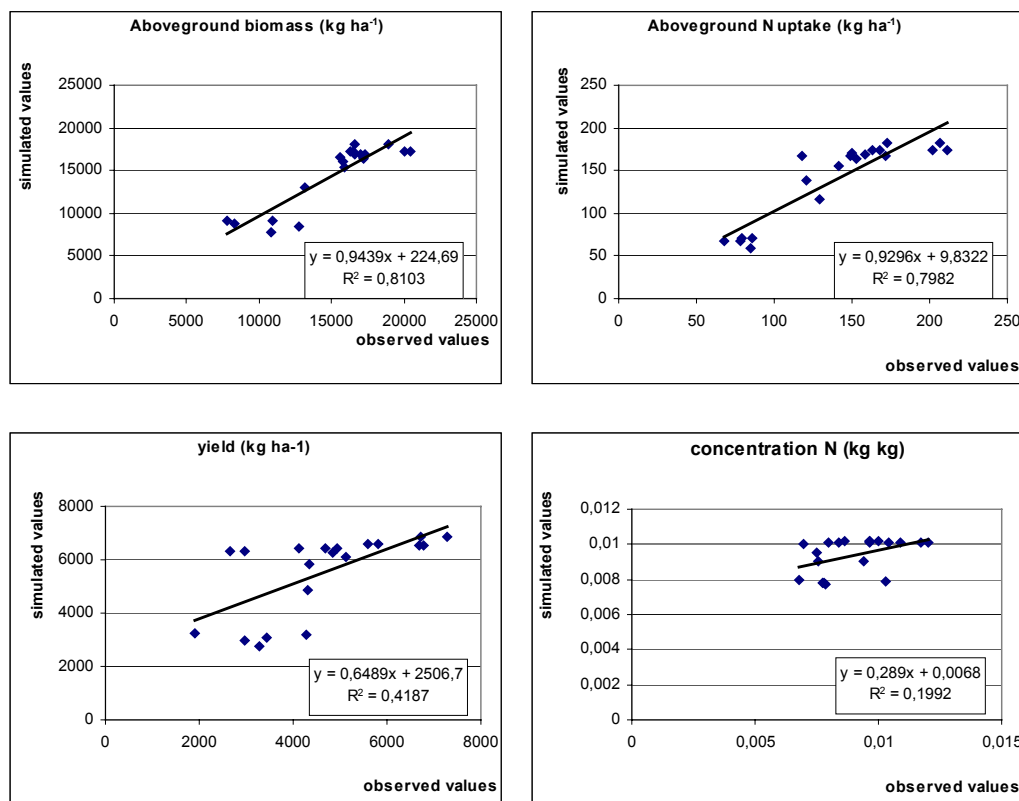


Fig 10.2. Validació del blat mitjançant el model CropSyst.

La taula 10.4 mostra el corresponent anàlisi estadístic. Per la biomassa aèria i el N absorbit per aquesta, s'obtenen valors de RE propers al 10 % i valors de d propers al 0,95, per tant són indicadors d'un bon comportament del model. Bechini et al. (2006), després d'una calibració i validació del blat pel CropSyst van aconseguir valors de RE per experiments independents entre 9 i 30% i entre 17 i 32% per la biomassa aèria, 10% i entre 6 i 40% per concentració de N en planta, i entre 8 i 28% i entre 9 i 24% pel N absorbit. Van trobar que la biomassa aèria freqüentment estava subestimada i que malgrat que la limitada precisió de les simulacions, s'argumenta que la calibració dels paràmetres del cultiu són adequats per l'anàlisi de l'escenari, obtenint valors simulats correctes per la biomassa aèria i el N absorbit per aquesta. També han estat aconseguits resultats similars a la validació del present treball per Stöckle *et al.* 2003 per biomassa aèria i rendiments, essent també l'índex d per la biomassa aèria superior al 0,9. Per altra banda l'índex d pel rendiment i per la concentració de N presenta valors inferiors a 0,9, mostrant certa divergència entre els valors observats i simulats.

En el cas del rendiment, està marcat pels baixos resultats obtinguts a la campanya 2002/03.

Taula 10.4. Anàlisi estadístic dels valors observats i simulats del rendiment, la biomassa aèria, el N absorbit per aquesta i la concentració de N.

	Rendiment (kg ha⁻¹)	Biomassa aèria (kg ha⁻¹)	N absorbit biom. aèria (kg ha⁻¹)	Concentració N (%)
Nombre d'obs.	20	20	20	20
Mitjana valors observats ⁽¹⁾	4636,28	15265,60	140,53	0,01
Mitjana valors simulats ⁽¹⁾	5515,18	14633,21	140,46	0,01
RMSE ⁽¹⁾	1522,76	1708,02	20,36	0,00
RE (%)	32,84	11,19	14,49	15,81
D	0,71	0,94	0,94	0,56
ME	-0,06	0,75	0,78	0,10

⁽¹⁾ Les mateixes unitat que representen la variable.

3. CONCLUSIONS

El model CropSyst, a nivell de nutrients, es centra bàsicament amb el nitrogen suposant que les necessitats dels altres macronutrients estan cobertes. Quan s'utilitza purí de porc com a base de la fertilització durant varis anys, calculant la dosi a aplicar en base al criteri N, s'observa un increment del P en el perfil del sòl, mentre que es redueix de forma considerable el K (Guillaumes *et al.*, 2006).

Els paràmetres utilitzats per la calibració, es troben dins de l'interval de valors aconseguits en altres estudis, segons la bibliografia consultada. El model fa una bona simulació de la biomassa aèria i el N absorbit per la biomassa, com es mostra en alguns dels indicadors estadístics (RE propers al 10 % i d al 0,95).

L'ús dels models de simulació, en el que es poden simular varis escenaris amb només uns pocs experiments per calibrar i validar el model, semblaria una bona estratègia per establir bones pràctiques agràries.

4. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

BECHINI, L.; BOCCHI, S; MAGGIORE, T; CONFALONIERI, R. 2006. Parameterization of a crop growth and development simulation model at sub-model components level. An example for winter wheat (*Triticum aestivum* L.) *Environmental Modelling and Software* 21 (7) pp.1042-1054.

FAO. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – Drainage and Irrigation Paper 56. FAO, Rome.

FERRER, F.; VILLAR, J.M.; VILLAR, P.; ARAN, M.; STOCKLE, C.O. 1997. Analyzing environmental side effects derived from applying recommended N fertilizer rates based on the N-min method with a cropping systems simulation model. *Proceedings of the 11th International World Fertilizer Congress, Gent, Bélgica, 7-13 Septiembre 1997*, pp. 277-284.

FERRER, F.; VILLAR, J.M.; STOCKLE, C.O.. 2000. Evaluación del modelo de simulación CropSyst para maíz de regadío en el valle del ebro. *Investigación Agrària: Prod. Prot. Veg.* 15 (3), pp. 237-251.

GUILLAUMES, E.; CARRASCO, I.; VILLAR, J.M. 2006. Response of wheat to additional nitrogen fertilizer application after pig slurry on over-fertilized soils. *Agron. Sustain. Dev.* 26 pp. 127-133.

KEMANIAN, A.R.; STOCKLE, C.O.; HUGGINS, D.R. 2005. Transpiration-use efficiency of barley. *Agricultural and Forest Meteorology* 130(1-2), pp. 1-11.

LOAGUE, K.; GREEN, R.W. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *J. Contam. Hydrol.* 7:51–73

MAJEED, A.; STOCKLE, C. O.; KING, L. G. 1994. Computer model for managing saline water for irrigation and crop growth: preliminary testing with lysimeter data. *Agric. Water Manage.* 26, pp. 239–251.

PETERSEN, J.; SØRENSEN, P. 2004 Intra- and inter-plant variation in N concentration and ¹⁵N abundance in fertilized spring wheat. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 35 (15-16), pp. 2209-2225.

PORTER, J.R.; GAWITH, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10, pp, 23–36.

SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S.; PAPENDICK, R.I. 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50(4), pp. 1031-1036.

STOCKLE, C.O.; MARTIN, S.A.; CAMPBELL, G.S. 1994. CropSyst, a cropping system simulation model: Water/nitrogen budgets and crops yields. *Agric Syst.* 46, pp. 335-359

STOCKLE, C.O.; NELSON R.L. 1999. ClimGen: a weather generator program. Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA.

STOCKLE, C.O.; NELSON, R.L. 2000. CropSyst v. 4.01.28 User's Manual. Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA.

STÖCKLE, C.O.; DONATELLI, M.; NELSON, R. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), pp. 289 - 307.

TANNER, C.B.; SINCLAIR, T.R. 1983. Efficient water use in crop production: research or research? In: H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair (Editors), *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. ASA, Madison, WI, pp. 1-27.

USDA-Natural Resources Conservation Service. 1998. Keys to soil taxonomy. Eighth Edition. Washington, D.C.: U.S Government Printing Office.

VILLAR, P.; STOCKLE, C.O.; VILLAR, J.M. 1996. Long-term evaluation of corn yield and nitrogen leaching in the irrigated area of the Urgell's Channel, Spain. IV European Society of Agronomy Congress, Veldhoven, Wageningen, The Netherlands, 7-11 July 1996, 37-38.

WHEELER, T.R.; BATTS, G.R.; ELLIS, R.H.; HADLEY, P.; MORISON, J.I.L. 1996. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) crops in response to CO₂ and temperature. *J. Agric. Sci. Camb.* 127 pp. 37-48.

WILLMOTT, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63:1309-131

11. DISCUSSIÓ GENERAL

11. DISCUSSIÓ GENERAL

Es considera que la causa principal de la contaminació per fonts difuses que afecta a les aigües són els nitrats procedents de fonts agràries. La principal causa de la contaminació per nitrats, a part d'una aportació excessiva de fertilitzants minerals i/o orgànics és l'alta solubilitat que presenta el nitrogen al sòl quan està en forma de NO_3^- .

Per tal d'utilitzar el nitrogen de forma adequada cal ajustar les aplicacions de fertilitzants o residus orgànics a les necessitats reals dels cultius. Existeixen diverses opcions per fer un ús més eficient del nitrogen aportat als cultius. Una d'elles, la més clàssica i definida per molts autors (Tisdale *et al.* 1995; Hagin i Tucker, 1982), és l'aportació del nitrogen en forma fraccionada. Aquesta pràctica en moltes ocasions té dificultats per poder-se portar a terme. En moltes situacions sembla interessant plantejar-se una aplicació en fons abans de la sembra. Això, però, implica un risc de pèrdua important del nitrogen aplicat degut a l'alta solubilitat, abans esmentada, del NO_3^- sota condicions de reg o pluges importants. En canvi, si el nitrogen del sòl roman en forma amoniacal, les pèrdues per lixiviació i/o desnitrificació són inferiors, ja que la seva absorció al complex coloidal del sòl el fan menys susceptible a dites pèrdues. Sota aquest raonament, a principis dels anys 70 van començar a aparèixer unes substàncies químiques, anomenades inhibidors de la nitrificació (IN), l'objectiu principal de les quals era mantenir el nitrogen al sòl en forma amoniacal, i evitar les pèrdues produïdes quan el nitrogen està en forma nítrica.

Concretament aquesta tesi es centra en l'inhibidor de la nitrificació 3,4-dimetilpirazolfosfat (DMPP). Aquest inhibidor va sorgir a través de la xarxa de desenvolupament i introducció al mercat dels ecofertilizants, d'un procés d'innovació que es va portar a terme entre el 1995 i el 1999. Va ser un projecte de recerca i desenvolupament coordinat per la BASF en cooperació amb altres universitats i instituts de recerca amb la finalitat de desenvolupar un nou inhibidor de la nitrificació altament específic per inhibir la nitrificació amb unes concentracions baixes entre 0,5 i 1 kg ha⁻¹ de compost actiu. Aquesta recerca va ser finançada amb dos projectes de més de 8,5 milions d'euros (Conrad, 2000). D'acord amb la legislació europea, el DMPP va ser

reconegut com una nova substància al 1997 i va ser sotmès a uns tests estàndards de toxicologia i ecotoxicologia (Andreae, 1999; Roll, 1999; citats per Zerulla *et al.* 2001). La introducció al mercat del fertilitzants minerals que contenen aquest inhibidor de la nitrificació (ENTEK[®]) es dona per primera vegada a Espanya al 1999.

El DMPP pot ser incorporat a fertilitzants sòlids convencionals (principalment urea i nitrosulfat amònic), afegits a solucions fertilitzants i a residus orgànics líquids (purins). També existeix l'opció de ser pulveritzat després de l'aplicació de qualsevol producte nitrogenat, de manera que es pot utilitzar amb residus orgànics no líquids, com els llots de depuradora o els fems de diferent origen. Arrel de la problemàtica mediambiental a causa de la contaminació de les aigües subterrànies, generada pels purins de porc, la incorporació del DMPP en aquest residu orgànic podria ser una opció en la minimització d'aquest risc ambiental.

En diverses experiències s'ha observat un augment dels rendiments i una reducció de la lixiviació de nitrats pel fet d'utilitzar inhibidors de la nitrificació en diferents cultius (Malzer i Randall, 1985; Frye *et al.*, 1989; Malzer *et al.*, 1989; Walters i Malzer, 1990; Serna *et al.*, 1994; Corré *et al.*, 1995; Davies *et al.*, 1995; Martin *et al.*, 1997; Trenkel, 1997; Ball-coelho i Roy., 1999; Pasda *et al.*, 2001). També hi ha experiències de la utilització de IN amb diferents tipus de residus (Schröder *et al.*, 1993; Corré *et al.*, 1995; Tittarelli *et al.*, 1997; Di *et al.*, 1998; Schmitt *et al.*, 1995; McCormick *et al.*, 1984), essent els resultants poc consistents. Amberger (1990) recomanava l'addició de IN per prevenir la contaminació de les aigües subterrànies, especialment si l'aplicació de purí era a finals de tardor o a l'hivern.

Existeixen diversos estudis de l'addició de DMPP amb fertilitzants minerals i amb diferents cultius coordinats per l'empresa COMPO S.L. en el que els resultats són favorables en quan a la reducció de la lixiviació de nitrats, la reducció d'emissió d'òxid nítric i en l'augment de rendiments. (Serna *et al.*, 2000; Bañuls *et al.*, 2000a; Bañuls *et al.*, 2000b; Bañuls *et al.*, 2001; Muñoz-Guerra i Carrasco, 2003; Muñoz-Guerra *et al.*, 2004a; Muñoz-Guerra *et al.*, 2004b; Orea *et al.*, 2004; Díez *et al.*, 2005; Linaje *et al.*, 2005; Quiñones *et al.* 2005, Casar *et al.*, 2006a; Casar *et al.*, 2006b; Casar *et al.*, 2006c; Casar *et al.*, 2007).

Un fet que corrobora els resultats positius de les recerques és que l'evolució dels fertilitzants amb DMPP des de la posada al mercat a l'any 2000 ha estat molt positiva, augmentant un promig d'un 10-15 % anual. Cal destacar que no només s'utilitzen com adobs granulats, sinó que el mercat de la utilització d'adobs solubles i líquids amb DMPP en fertirrigació, i en cultius extensius (només els líquids) s'està desenvolupant de forma important. És més, actualment l'oferta d'aquest tipus de fertilitzants resulta inferior a la demanda a causa de l'augment d'aquesta en països emergents (Xina, Índia, ...) i a Estats Units.

Quant a la línia d'investigació de l'addició de DMPP en l'aprofitament del N en purins hi ha estudis que demostren l'eficiència del inhibidor en la reducció de N_2O (Dittert *et al.* 2001; Belastegui *et al.*, 2003; Merino *et al.*, 2004; Merino *et al.*, 2005). Un dels problemes que pot sorgir a l'utilitzar inhibidors de la nitrificació és que es poden augmentar les pèrdues de N per volatilització de l'amoníac, degut a que el N al sòl roman més temps en forma amoniacal. Teira *et al.* (2002) van mesurar les pèrdues per volatilització en l'aplicació de diferents residus i amb l'addició del DMPP. La influència del DMPP no era significativa si els residus eren enterrats. Si els residus no eren enterrats, l'addició del DMPP suposava un increment del 57,85 % de volatilització d'amoníac. Experimentalment s'ha demostrat que quan els residus són incorporats ràpidament després de la seva aplicació, aquestes pèrdues disminueixen molt (40 % sense enterrar, 10 % si s'enterren a les pròximes 8 hores i menys del 3 % si són injectats). Lamentablement aquesta és una pràctica poc utilitzada a Espanya, però amb una progressiva implantació, que fa que es millori tant des del punt de vista ambiental com d'eficiència en l'ús del N en l'aplicació de purins en sòls agrícoles. En l'estudi de Merino *et al.* 2004 no es va produir un augment significatiu en les emissions de NH_3 . En l'estudi de Merino *et al.* 2005 quan es va aplicar el DMPP juntament amb el purí de vaquí no es va produir cap efecte significatiu en la producció.

Manca més informació en quant a l'avaluació agronòmica i mediambiental del DMPP afegit en purins de porc i en el camp dels cultius extensius. De totes maneres resulta un mercat molt interessant a nivell d'Espanya, sobretot tenint en compte les limitacions actuals de producció de fertilitzant minerals amb DMPP a causa de la forta demanda.

Malgrat això cal encara avaluar l'estratègia de mercat per tal de dirigir la comercialització del DMPP per a la posterior aplicació amb fertilitzants orgànics.

La producció intensiva de porcs és l'activitat productiva ramadera més important a Catalunya, fent que es produeixin més de 9 milions de m³ de purins de porc a l'any. La majoria d'aquests purins són aplicats al sòl. Aquesta àrea pateix problemes de sobrefertilització i no resposta a les aportacions de N (Villar-Mir *et al.*, 2002). L'aplicació repetida de purins en els sòls agrícoles pot provocar una acumulació de sals i els risc de contaminació de nitrats de les aigües subterrànies (Diez *et al.*, 2004).

El blat i el panís són els principals cultius de l'àrea que reben purins de porc. Per aquest motiu l'objectiu de la present recerca ha estat avaluar, des d'una perspectiva agronòmica i mediambiental, l'inhibidor de la nitrificació 3,4-dimetilpirazol fosfat (DMPP) amb aquests cultius i aplicat juntament amb els purins de porc en les condicions de les zones regables pel Canal d'Urgell (nord-est Espanya).

Per complir els objectius del que es pretenia en quan a l'avaluació agronòmica i mediambiental del DMPP en aquestes condicions mediterrànies i en cultius extensius, s'ha portat a terme una sèrie d'experiments, exposats en aquesta tesi. En una primera etapa es va començar en un experiment amb blat durant quatre campanyes (1999-2003) en una parcel·la comercial, realitzant les pràctiques habituals a la zona (aplicació de purí i en alguns casos aplicació de cobertora), comparant amb un tractament control i amb la mateixa estratègia de fertilització amb l'addició del DMPP. Es va complementar l'experiment en un altre tipus de sòl durant dues campanyes (2001-2003), creient convenient una comparativa amb la fertilització nitrogenada, i per tant afegint els corresponent tractament de fertilització mineral en fons i en cobertera, amb i sense DMPP.

En quant al cultiu de panís, i per tal de testar l'inhibidor en unes altres condicions de temperatura i humitat per tractar-se d'un cultiu d'estiu, es va realitzar un experiment durant dues campanyes (2002-2003) en els que es recull la fertilització amb purins i amb fertilització mineral en fons amb i sense inhibidor.

En els experiments de camp es porta un control el més acurat possible de les diferents variables del N en el sistema sòl-planta, però hi ha una sèrie de variables difícils de mesurar. En la primera campanya de blat es varen obtenir uns resultats en el seguiment de les diferents formes de nitrogen (nítriques i amoniacals) al sòl que demostraven un important acció del DMPPP en mantenir el nitrogen al sòl en forma amoniacal quan s'aplicava juntament amb els purins de porc (Carrasco i Villar, 2001b). No es van percebre aquests resultats en les següents campanyes. Cal tenir en compte que hi ha una gran variabilitat espacial i temporal d'aquestes variables.

A partir de les variables conegudes, mitjançant un balanç hipotètic del N, es podia estimar el N mineralitzat i estimar les pèrdues, com a N no comptabilitzat, on s'inclouïa les pèrdues per desnitrificació, les pèrdues per volatilització i les pèrdues per lixiviació. Segons Dáuden i Quílez, 2004, en un estudi amb panís i lisímetres, constaten que les altes pèrdues no comptabilitzades de N en els tractaments amb purins, i la inesperada disminució del rati entre nitrats rentats i N aplicat, amb l'augment de les dosis de N, fan que sigui necessari examinar el cicle de N dels purins al sòl, amb especial èmfasi en la immobilització de l'amoni dels purins en les condicions mediterrànies. Chantigny et al. (2004) van realitzar un estudi de la dinàmica del N del purí de porc en el sòl i a la planta amb 15N marcat. Al primer dia després de l'aplicació el percentatge del 15N recuperat (15N a la planta, 15N al sòl, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-orgànic, N fixat a les argil·les) era superior al 93% i anava disminuint lentament en els seguiments posteriors. El dia 96 després de l'aplicació dels purins, el N al sòl es trobava com N-orgànic i N-NO₃⁻ al sòl arenós i en forma de N-orgànic i N-fixat a les argil·les en el sòl argil·lós. En el mateix any de l'aplicació, la dosi de N del purí influeix significativament en el N absorbit per la planta i en les diferents formes de N al sòl. Sørensen i Amato (2002) van afirmar que la proporció del N recuperat del purí pels cultius, així com la dosi i forma del N del purí que roman al sòl a la collita, estava molt influït per la textura.

Una de les limitacions en els experiments de camp va ser l'avaluació del N rentat. Per ser aquest paràmetre un dels més importants per tal d'avaluar l'eficiència mediambiental, en quan a la reducció de les pèrdues de nitrats per lixiviació. Per aquest motiu, es van complementar els assajos de camp amb assajos de tests. El cultiu implantat va ser el raigràs per tal de ser una planta d'implantació ràpida i plurianual, en

la que es podien fer diversos dalls al llarg del cycle del cultiu. Actualment per avaluar directament el N rentat en els experiments de camp de forma precisa i assequible, es disposen d'uns lisímetres de succió (Gee Passive Capillary Lysimeter, Gee *et al.*, 2002) que et permeten fer mesures continues de l'aigua de drenatge i fer una toma de mostres per l'anàlisi dels lixiviats.

Cada vegada més es tendeix a buscar una millor eficiència dels fertilitzants nitrogenats, per ser el màxim respectuós amb el medi ambient, aconseguint però els millors resultats possibles en la collita. En el passat, els agricultors potser aplicaven unes dosis més elevades de les necessàries per compensar les pèrdues de N i subseqüentment les pèrdues de rendiment. Aquesta pràctica era considerada una assegurança barata perquè el cost extra dels fertilitzants N era barat. Avui en dia, amb l'augment dels preus del N, aquest tipus d'assegurança no és tan barat de manera que es plantegen altres alternatives, com la utilització de inhibidors de la nitrificació i de la ureasa per protegir-se de les pèrdues rellevants de N. La decisió de utilitzar els inhibidors de la nitrificació o de la ureasa està en conèixer quan les pèrdues de N poden ser significatives (per les condicions de maneig i mediambientals) de manera que el fet d'utilitzar aquests productes suposi un benefici econòmic (<http://www.soils.wisc.edu/extension/wfapmc/2006/pap/Laboski1.pdf>). Els inhibidors de la nitrificació més utilitzats a nivell comercial han estat la NP al Estats Units i la DCD als països europeus. Aquests productes, degut al seu cost, pràcticament només s'utilitzaven en productes d'alt valor econòmic. Un dels objectius de la patent del DMPP, era que fos més econòmic i es pogués utilitzar en un mercat més ampli. Els inhibidors de la ureasa (Gould *et al.*, 1986, Watson 2000) és consideren una altra alternativa per millorar l'eficiència del N. Hi han però evidències considerables que mostren que els fertilitzants amb urea poden ser menys eficients que els fertilitzants tipus nitrats (Watson *et al.* 1990, Harrison i Webb, 2001). La principal causa és que el pH del sòl en la proximitat dels grànuls d'urea augmenta com a resultat de la hidròlisi i facilita la volatilització de NH₃ a l'atmosfera (les pèrdues poden ser entre 5-20 % del N aplicat, i superiors en condicions extremes). Els beneficis de tractar la urea amb inhibidors de la ureasa són variables en funció de les condicions. No obstant a vegades la reducció de la volatilització d'amoní no es tradueix amb un augment del rendiment (Watson *et al.* 1998). Això es confirma en estudis més recents (Pisanova i Ruzek, 2007)

on els resultats obtinguts mostren de major a menor utilització del N per part de les plantes, el fertilitzants en formes nítriques (52-65 %), urea amb inhibidors de la ureasa (27-38%), urea amb inhibidors de la ureasa i de la nitrificació (25-32%), urea (20-27%) i fertilitzants amb formes amoniacals (3-15 %). També Sanz *et al.* 2007 obtenen una reducció de les emissions de NH₃ del 32,8 % en els tractament amb inhibidors de la ureasa.

Altres alternatives per evitar en gran part els problemes de contaminació a causa dels purins de porc es centren en solucions pràctiques i futures oportunitats de manipular les dietes i les tecnologies de maneig de l'alimentació per reduir la quantitat de nutrients en les excrecions (reducció dels nivells de proteïna crua utilitzant aminoàcids sintètics, reducció del suplement de P inorgànic i utilitzar fitasses, utilitzar formes orgàniques de Cu, Zn, Fe i Mn) i els compostos gasosos emesos pels propis purins (Prince *et al.*, 1999). Per millorar l'eficiència de l'alimentació cal formular dietes més precises segons les necessitats de nutrients dels animals (sexe, potencial genètic, fase d'engreix). Es poden utilitzar monosacàrids no amilacis (Non-starch polysaccharides) per reduir el pH i les emissions d'amoni (Grant *et al.* 2005). Les dietes poden ser modificades per crear un balanç de nutrients en els purins que sigui sostenible per la producció de cultius. En moltes situacions, el maneig de nutrients en els sistemes de producció porcina poden ser compatibles, no obstant, en algunes situacions pot no coincidir amb la productivitat, guanys de pes diari i eficiència alimentària màxima. Calen encara futures recerques en econutrició amb objectius multidisciplinaris considerant els sòls disponibles, la salut dels animals i el comportament i la qualitat dels productes obtinguts així com un balanç ampli de nutrients en tot el sistema. En quant a les indústries de fertilitzants també es continua fent recerca per tal d'obtenir nous productes amb un major efecte inhibidor i que es puguin incorporar a qualsevol tipus de fertilitant.

Com ja s'apunta anteriorment, la utilització dels inhibidors de la nitrificació per part dels agricultors, serà efectiva si hi ha una recompensa econòmica, a part d'una recompensa mediambiental. Malgrat que la producció de cultius és necessària per la nostra societat, moltes vegades el treball dels agricultors és qüestionat per gran part d'aquesta societat degut als problemes mediambientals. Per reconciliar els dos punts de vista, tots dos necessaris i que cal mantenir i preservar, es plantegen experiències com la

del present treball. Els agricultors necessiten saber la millor estratègia per gestionar el N. L'Administració (en el cas de Catalunya, el Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural), que regula l'aplicació de les mesures agroambientals, també es beneficia d'aquestes investigacions així com la societat en general.

12. CONCLUSIONS GENERALS

12. CONCLUSIONS GENERALS

Les principals estratègies en l'ús de nutrients que s'han avaluat, quant a l'eficiència dels fertilitzants, han estat l'aplicació de purins de porc en fons, l'aplicació de fertilitzants minerals en fons i en cobertera, i l'ús de l'inhibidor de la nitrificació DMPP.

Les principals conclusions del present treball són les següents:

1. Comparant a nivell general la fertilització mineral i la fertilització orgànica, s'evidencia que els fertilitzants minerals són més eficients quant a l'ús dels nutrients. En el experiment amb testos (Capítol 2), el N promig recuperat pel raigràs és un 17 % superior en els tractaments amb fertilitzants minerals. En els experiments en camp, el N promig recuperat pel blat (Capítol 4) és més d'un 13 % en els tractaments amb fertilitzant mineral (fons + cobertera) i el N promig recuperat pel panís (Capítol 5) és més del 15 % en els tractaments amb fertilitzant mineral (només en fons).
2. En l'experiment de panís (Capítol 5), on els nivells de P i K al sòl eren mitjà/baix, a la segona campanya hi ha un efecte molt positiu en els rendiments del panís en els tractaments amb purins, degut a l'aportació d'aquests elements per part del purí.
3. En l'experiment de quatre campanyes de blat amb purins (Capítol 3) es demostra l'elevat valor fertilitzant d'aquest subproducte que, amb un maneig adequat, no té perquè acumular quantitats excessives de nutrients al sòl. La tendència a acumular Cu i Zn, o el risc de disminuir excessivament el contingut de K al sòl obliga al seguiment temporal mitjançant anàlisis de sòls. En el cas del blat d'hivern de regadiu i en aquestes condicions, l'aplicació de coberteres amb fertilitzants nitrogenats no ha estat necessària.

4. Quant a l'avaluació de l'inhibidor de la nitrificació DMPP a nivell productiu, econòmic i ambiental.

4.1. En els experiments en testos

- S'ha pogut demostrar que l'addició de DMPP, no tant sols en fertilitzants minerals, sinó també en purins de porc, disminueix considerablement el contingut de nitrats que es perden per drenatge. S'ha demostrat clarament en el tractament on no hi havia cultiu (Capítol 1), i en els tractaments amb unes dosis d'aplicació de purí més elevades (Capítol 1 i 2). Per aquest motiu, es pot considerar una opció interessant sobretot en les zones vulnerables a la contaminació de les aigües per nitrats.
- Entre els efectes del DMPP en el cultiu del raigràs en testos destaquen un major rendiment de farratge, una major concentració de N, una major velocitat en l'absorció de N, i una major absorció del P (Taula 5.5). En aquest últim cas per l'efecte acidificant del DMPP en la rizosfera.

4.2. En els experiments en camp

- Els efectes del DMPP no han estat sempre consistents. En el cas del panís (Capítol 5), segurament per les condicions d'alta variabilitat de l'assaig, els resultats són poc representatius. En l'assaig de dos anys de Vila-sana amb blat d'hivern (Capítol 4) s'observen efectes positius per l'aplicació de DMPP amb els fertilitzants ENTEC. Si es comparen els resultats dels tractaments amb els fertilitzants minerals es pot afirmar que l'únic d'aquests tractaments que és significativament diferent de tots els altres és el tractament amb fertilitzants ENTEC (Rendiment, absorció de N P i K, índexs d'eficiència i resultats econòmics).

- Amb la consideració que aquest treball de recerca es centra en l'eficiència en l'ús del N, i sempre que el preu del producte sigui competitiu¹, es pot recomanar els fertilitzants amb inhibidor de la nitrificació DMPP com una opció interessant per aprofitar el seu potencial, principalment a les zones vulnerables per la contaminació de les aigües per nitrats.
 - A diferència dels primers assajos realitzats (Carrasco i Villar 2001b), el seguiment de nitrats i amoni al sòl ha presentat una gran variabilitat experimental, i l'efecte de l'inhibidor d'afavorir una major presència d'amoni al sòl no s'ha pogut constatar. Fa falta un major control (freqüència i densitat dels mostresos), per observar aquest efecte. Les condicions ambientals poden tenir una gran importància en la persistència de l'inhibidor al sòl (temperatura del sòl, textura).
5. S'ha de continuar investigant la possibilitat d'aplicar el DMPP als purins de porc (opció que no és encara comercial) per mitigar l'efecte negatiu en el medi ambient i millorar la seva productivitat.
 6. Quant a la calibració i validació del model CropSyst, els indicadors estadístics utilitzats indiquen que el model fa una predicció relativament bona de la biomassa aèria així com de la quantitat de nitrogen absorbit.
 7. En una fase posterior el model CropSyst ha de permetre potencialment avaluar estratègies en el ús del nitrogen per diferents quantitats aplicades, per diferents tipus de sòls i per diferents estratègies de reg.

¹ Actualment el preu del N és de 1,15 € kg⁻¹ N pel fertilitzant NSA, i 1,27 € kg⁻¹ N pel fertilitzant ENTEC.

Malgrat que l'eficiència dels purins a curt termini s'ha demostrat que és inferior a l'eficiència dels fertilitzants minerals, és una estratègia important a considerar. Per una banda perquè es revaloritza un subproducte de l'activitat ramadera, podent-se fer una gestió sostenible (aplicant dosis agronòmiques) i perquè permet adobar correctament els cultius sense la necessitat d'aplicar únicament adobs químics, que actualment estant patint un increment de preus considerable, i també es contribueix a un estalvi de recursos.

13. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

13. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA). (2005). Informe de gestió dels biosòlids de depuració 2005.

(<http://mediambient.gencat.net/aca/ca//actuacions/depuradores/inici.jsp>) [Consulta: 26 de juny de 2007].

AMBERGER A. 1990. Use of organic wastes as fertilizers and its environmental implications. In:) Fertilization and the Environment (Merckx, R., Vereecken, H., Vlassak, K. ed) Leuven University Press, Louvain, Bèlgica. pp. 314-329.

ARTOLA, E.; CRUCHAGA, S.; MEZQUIRIZ, J.; ARIZ, I.; IRIGOYEN, I.; MORAN, J.F.; HOUDUSE, F.; GARCIA-MINA, J.M.; LAMSFUS, C.; APARICIO-TEJO, P.M.. 2007. La ureasa en plantas: efectos fisiológicos de los inhibidores de ureasa. En línea a www.ruena.csic.es/pdf/presentacion_aparicio_universidad_publica_navarra.pdf

AZAM, F.; BENCKISER, G.; MÜLLER C.; OTTOW, J.C.G. 2001 Release, movement and recovery of 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), ammonium, and nitrate from stabilized nitrogen fertilizer granules in a silty clay soil under laboratory condition. *Biology and Fertility of Soils* 34, pp. 118-125

BALL-COELHO B.R., ROY R.C. 1999. Enhanced ammonium sources to reduce nitrate leaching. *Nutr Cycl Agroecosyst.* 54, 73-80

BAÑULS, J., SERNA, M.D., QUIÑONES, A., MARTÍN, B., PRIMO-MILLO, E., LEGAZ, F. 2000a. Optimización de la fertilización nitrogenada con el inhibidor de la nitrificación (DMPP) con riego por goteo en cítricos. *Levante Agrícola*, 2º trimestre 2000

BAÑULS, J., MARTÍN, B., MARTÍN, E., LEGAZ, F. 2000b. Mejora de la fertilización nitrogenada en el cultivo del tomate. *Agrícola Vergel*, octubre 2000

BAÑULS J, QUINONES A, PRIMO-MILLO E i LEGAZ F 2001. A new nitrification inhibitor (DMPP) improves the nitrogen fertilizer in citrus-growing systems. In: *Developments in plant and soil sciences. Plant nutrition - Food security and sustainability of agro-ecosystems.* Horst WJ et al. (eds.), Kluwer Academic Publishers, 762-763

BARTH, G.; VON TUCHER, S.; SCHMIDHALTER, U. 2001 Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. *Biology and Fertility of Soils* 34, pp. 98-102

BELASTEGUI-MACADAM, X.M.; DEL PRADO, A.; MERINO, P.; ESTAVILLO, J.M.; PINTO, M.; GONZÁLEZ-MURUA, C. 2003. Dicyandiamide and 3,4-dimethylpyrazole phosphate decrease N₂O emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover. *Journal of Plant Physiology* 160 pp.1517-1523

- BLACKMER, A.M.; SANCHEZ, C.A. Response of corn to nitrogen-15-labeled anhydrous ammonia with and without nitrapyrin in Iowa. *Agronomy journal*. 1988. 80:95-102
- BOIXADERA, J.; TEIRA, M.R. 2001. *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Edicions de la Universitat de Lleida. 356 pp.
- BRONSON, K. F.; MOSIER, A. R.; BISHNOI, S. R. (1992): Nitrous Oxide Emissions in Irrigated Corn as Affected by Nitrification Inhibitors. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56(1), pp. 161-65
- BUERKERT, B.; HORLACHER, D.; MARSCHNER, H. 1995. Time course of nitrogen in soil solution and nitrogen uptake in maize plants affected by form and application time of fertilizer nitrogen. *Journal of Agronomy and Crop Science* 174 (2) pp. 325-336
- CAREY, P.L.; RATE, A.W.; CAMERON, K.C. 1997. Fate of nitrogen in pig slurry applied to a New Zealand pasture soil. *Aust. J. Soil Res.* 35, pp.941-959
- CHADWICK, D.R.; VAN DER WEERDEN, T.; MARTINEZ, J.; PAIN, B.F. 1998. Nitrogen transformations and losses following pig slurry applications to a natural soil filter system (Solepur Process) in Brittany, France. *J. Agric. Eng. Res.* 69 pp. 85-93
- CARRASCO I. 2000. Mejora de la eficiencia en el uso del nitrógeno con la utilización de inhibidores de la nitrificación en la zona regable del canal de Urgell. Diploma de Estudios Avanzados. Universidad de Lleida
- CARRASCO I., VILLAR J.M., FERRER F. 2000b. Effects of nitrification inhibitor DMPP on nitrogen use efficiency and corn production. 3rd International Crop Science Congress 2000. Hamburg 17-22 August. Book of Abstracts. 195
- CARRASCO, I.; VILLAR, J.M. 2001. Field evaluation of DMPP as a nitrification inhibitor in the area irrigated by the Canal d'Urgell (Northeast Spain). In: *Plan nutrition-food security and sustainability of agro-ecosystems*. Developments in Plant and Soil Sciences Vol. 92 (W.J. Horst et al., ed) Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp. 764-765 (www.compo.es)
- CARRASCO, I.; VILLAR, J.M. 2001b. Uso de inhibidores de la nitrificación en suelos fertilizados con purines de cerdo, En *Aplicación Agrícola de residuos orgánicos*. BOIXADERA, J. i TEIRA, M.R. (eds) pp. 245-260. Servicio de publicaciones de la UdL
- CARRASCO I.; VILLAR, J.M. 2002. Field evaluation of DMPP as a nitrification inhibitor in the area irrigated by the Canal d'Urgell (Northeast Spain). En W. J. Horst, M. K. Schenk, A. Bürkert, N. Claassen, H. Flessa, W. B. Frommer, H. Goldbach, H. - W. Olf, V. Römhild, B. Sattelmacher, U. Schmidhalter, S. Schubert, N. v. Wirén and L. Wittenmayer. *Developments in Plant and Soil Sciences*. Vol 92. *Plant Nutrition Food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research*. pp764-765

CASAR, C.; MUÑOZ-GUERRA L.M. 2006a. Utilización de inhibidores de la nitrificación en la nutrición mineral de cultivos bajo normas de producción integrada y en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos. *Fruticultura Profesional*. Septiembre-Octubre 2006 (www.compo.es)

CASAR, C. MUÑOZ-GUERRA, L.M.; CARBÓ J. 2006b. Aspectos ambientales y productivos del uso de inhibidores en la fertirrigación de manzanos "Galaxy". *Sociedad Española Fisiología Vegetal*. Julio 2006 (www.compo.es)

CASAR, C.; MUÑOZ-GUERRA, L.M.; CALVO, M.; PÉREZ, M.A. 2006c. Optimización de la fertilización nitrogenada en programas de producción integrada de patata mediante la utilización de fertilizantes con el inhibidor de la nitrificación 3,4 dimetilpirazol fosfato. *Sociedad Española Fisiología Vegetal*. Julio 2006 (www.compo.es)

CASAR, C. MUÑOZ-GUERRA, L.M.; CARRASCO, I.; CARBÓ J. 2007. Environmental and economical evaluation of fertilizers with nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in pomaceous fruits in a vulnerable area to nitrate pollution. 15th N workshop. Towards a better efficiency in N use. pp.17

CERRATO, M. E.; BLACKMER, A. M. 1990. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 82:138-143

CHANTIGNY, M.H.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A. 2001. Short-term C and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: A field experiment. *Can. J. Soil Sci.* 81, pp. 131–137

CHANTIGNY, M. H.; ANGERS, D. A.; MORVAN, T.; POMAR, C. 2004. Dynamics of pig slurry nitrogen in soil and plant as determined with ¹⁵N. *Soil Science Society of America Journal*, 68 (2) pp. 637-643

CONRAD J. 2000. Eco-Efficient Fertilizers: an environmental innovation organised by a corporation and promoted by technology policy. *Forschungsstell für Umweltpolitik-report 00-03*. Freie Universität Berlin, Germany

CORRÉ W.J., ZWART K.B. 1995. Effects of DCD addition to slurry on nitrate leaching in sandy soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45, 195-204

DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, ALIMENTACIÓ I ACCIÓ RURAL (DAR). (2006). Consum de fertilitzants nitrogenats a Catalunya (1990-2006). (<http://www.gencat.net/darp/c/dades/fertilit/fert01.htm>) [Consulta: 26 de juny de 2007].

DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA I PESCA (DARP). 2002. Butlletí bimestral "Estadística i Conjuntura Agrària" núm. 172-173 (<http://www.gencat.net/darp/c/dades/publicac/public03.htm>)

DAUDÉN, A; QUÍLEZ, D. 2004. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. *European Journal of Agronomy* 21 (1) pp 7-19

DAVIES D.M., WILLIAMS P.J. 1995. The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide on nitrate leaching and ammonia volatilization: A UK nitrate sensitive areas perspective. *J. Environ Management* 45, 263-272

DECRET 283/1998 de la Generalitat de Catalunya, de 21 d'octubre de 1998, de designació de les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries. DOGC 2760, de 6 de novembre de 1998

DECRET 205/2000 de la Generalitat de Catalunya. de 13 de juny. d'aprovació del programa de mesures agronòmiques aplicables a les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries (Programa de actuación aplicables a las zonas vulnerables). DOGC 3168, de 26 de juliol de 2000

DECRET 119/2001, de 2 de maig, pel qual s'aproven mesures ambientals de prevenció i correcció de la contaminació de les aigües per nitrats. DOGC 3390, de 17 de maig de 2001

DECRET 220/2001, d'1 d'Agost, de gestió de les dejeccions ramaderes. DOGC 3447, de 7 d'Agost de 2001

DECRET 476/2004, de 28 de desembre, pel qual es designen noves zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries. DOGC núm. 4292 - 31/12/2004

DECRET 50/2005, de 29 de març, pel qual es desplega la Llei 4/2004, d'1 de juliol, reguladora del procés d'adequació de les activitats existents a la Llei 3/1998, de 27 de febrer, i de modificació del Decret 220/2001, de gestió de les dejeccions ramaderes. DOGC num. 4353 de 31/3/2005

DI H.J., CAMERON K.C., MOORE S., SMITH N.P. 1998. Nitrate leaching and pasture yield following the application of dairy shed effluent or ammonium fertilizer under spray or flood irrigation: results of a lysimeter study. *Soil Use and Management* 14, 209-214

DIEZ, J.A.; CABALLERO, R.; BUSTOS, A., ROMAN, R.; CARTAGENA, M.C.; VALLEJO, A. 1996. Control of nitrate pollution by application of controlled release fertilizer (CRF), compost and an optimized irrigation system. *Fertilizer Research* 43 pp. 191-195

DÍEZ, J.A.; HERNAIZ, P.; MUÑOZ, M.J.; de la TORRE, A.; VALLEJO, A. 2004 Impact of pig slurry on soil properties, water salinization, nitrate leaching and crop yield in a four-year experiment in Central Spain. *Soil Use and Management* 20 (4), pp. 444-450

DÍEZ, J.A.; HERNAIZ, P.; CARRASCO, I. 2005. Nitrate leaching under a soil treated with urea -DMPP. Proceedings del 14th N workshop: N management in agrosystems in relation to the water framework directive. Octubre 2005

DIRECTIVA 91/676/EC, de 12 de desembre, relativa a la protecció de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Diari Oficial de la Unió Europea 8572/91

DIRECTIVA 2006/118/CE, de 12 de desembre, relativa a la protecció de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. Diario Oficial de la Unión Europea L 372/19 de 27 de desembre de 2006

DITTERT K., BOL R., CHADWICK D., HATCH D., 2001. Nitrous oxide emissions from injected 15N-labelled cattle slurry into grassland soil as affected by DMPP nitrification inhibitor. In: Plan nutrition-food security and sustainability of agroecosystems. Developments in Plant and Soil Sciences (W.J. Horst et al. ed.) Vol. 92. Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp. 768-769

FERRER F. 1999. Diagnóstico del N disponible en el suelo y contribución de técnicas de simulación para la mejora de las recomendaciones de la fertilización nitrogenada en cultivo de maíz en regadío. Tesis doctoral. Universidad de Lleida

FERRER-ALEGRE F., VILLAR J.M., CARRASCO I., STÖCKLE C.O. 1999a. Developing management decision tools from yields experiments with the aid of a simulation model: an example with N fertilization in corn. Proceedings of the first International Symposium Modeling Cropping Systems, Lleida, Spain, 21-23 June, 175-176

FERRER-ALEGRE F., VILLAR J.M., CASTELLVÍ F., BALLESTA A., STÖCKLE C.O. 1999b. Contribution of simulation techniques to the evaluation of alternative cropping systems in Andorra. Proceedings of the first International Symposium Modeling Cropping Systems, Lleida, Spain, 21-23 June, 177-178

FERRER F., VILLAR J.M. STOCKLE C.O. 2000. Evaluación del modelo de simulación CropSyst para maíz de regadío en el Valle del Ebro. Investigación Agraria: Producción y protección de vegetales 15 (3), 237-251

FERRER F., VILLAR J.M., STÖCKLE C.O., VILLAR P., ARÁN M. 2003. Use of pre-sidedress soil nitrate test (PSNT) to determine nitrogen fertilizer requirements for irrigated corn. Agronomie 23 (7): 561-570

FETTWEIS, U.; MITTELSTAEDT, C.S.; FÜHR, F. 2001. Lysimeter experiments on the translocation of the carbon-14-labelled nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in a gleyic cambisol. Biol Fertil Soils 34, pp. 126-130

FRYE W.W., GRAETZ D.A., LOCASCIO S.J., REEVES D.W., TOUCHTON J.T. 1989. Dicyandiamide as a nitrification inhibitor in crop production in the southeastern USA. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 20, 1969-1999

- GEE, G.W.; WARD, A.L.; CALDWELL T.G.; RITTER, J.C. 2002. A Vadose-Zone water-flux meter with divergence control. *Water Resources Research*, vol 58, nº 8
- GONZALEZ, X. 2000. "Evaluació de l'efecte del 3,4-dimetilpirazol fosfat (DMPP) en cereals de regadiu". Treball Pràctic Tutorat. Universitat de Lleida
- GORING CAI. 1962a. Control of nitrification by 2-chloro-6-(trichloromethyl)-pyridine. *Soil Science* 93:431-439
- GORING CAI. 1962b. Control of nitrification of ammonium fertilizers and urea by 2-chloro-6-(trichloromethyl)-pyridine. *Soil Science* 93:211-218
- GOULD, W.D.; HAGEDORN, C.; MCCREADY, R. G. L. 1986. Urea transformations and fertilizer efficiency in soil. *Advances in Agronomy* 40 pp.209-237
- GRANT, O.; MOEHNA, S.; EDEOGUB, I.; PRICEB J.; LEONARDA J. 2005. Manipulation of Dietary Protein and Nonstarch Polysaccharide to Control Swine Manure Emissions. *J Environ Qual* 34 pp. 1461-1466
- GUILLAUMES, E.; VILLAR, J.M.; CARRASCO, I.; VILLAR, P.; ARÁN, M. 2002. Residual effects of fertilizers nitrogen applications in irrigated wheat fields. Book of proceedings -VII congreso of the European Society for Agronomy pp.747-748
- GUILLAUMES, E.; VILLAR, J.M. 2003. Estudio de la producción porcina y de la gestión de purines en Catalunya. Document intern COMPO AGRICULTURA S.L.
- GUILLAUMES, E.; VILLAR J.M. 2004. Effects of DMMP on the growth and chemical composition of ryegrass (*Lolium perenne* L.) in a pot experiment using a calcareous soil. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2 (4), 588-596
- GUILLAUMES, E.; CARRASCO, I.; VILLAR, J.M. 2006. Response of wheat to additional nitrogen fertilizer application after pig slurry on over-fertilized soils. *Agron. Sustain. Dev.* 26 pp. 127-133
- HAGIN, J.; TUCKER, B. 1982. Fertilization of dryland and irrigated soils. 182. Springer-Verlag. Berlin
- HARRISON, R.; WEBB, J. 2001. A review of the effect of N fertiliser type on gaseous emissions. *Advances in Agronomy* 73 pp.65-108
- HERRERO C., BOIXADERA J., DANÉS R., VILLAR J.M. 1993. Mapa de sòls de Catalunya 1:25000 (Bellví) 360-1-2 (65-28). Generalitat de Catalunya (Institut Cartogràfic de Catalunya i Direcció General de Producció i Indústries Agroalimentàries)
- HUGGINS D.R., PAN W.L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: An evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy journal*. Vol. 85:898-905

IRIGOYEN, I. 2001. Acumulación de nitrato en espinaca (*Espinacia oleracea* L.) para congelado. influencia de la fertilización nitrogenada. Tesis doctoral. Universidad Pública de Navarra

JUNTA DE RESIDUS. DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. GENERALITAT DE CATALUNYA. (1996). Programa de gestió de les dejeccions ramaderes a Catalunya (PGDRC). 157 p

LINAJE, A; MUÑOZ-GUERRA, L; CARRASCO, I. 2005. Evaluation of the use of the nitrification inhibitor DMPP on the risk of nitrate leaching in different crops systems in Spain. Proceedings del 14th N workshop: N management in agrosystems in relation to the water framework directive. Octubre 2005

LINZMEIER, W.; GUTSER, R.; SCHMIDHALTER, U. 2001. Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). *Biol Fertil Soils* 34 (2), pp. 103-108

McCORMICK R.A., NELSON D.W., SUTTON A.L., HUBER D.M. 1984. Increased N efficiency from nitrapiryn added to liquid swine manure used as a fertilizer for maize. *Agron. J.* 76, 1010-1014

MAAG, M.; VINTHER, F.P. 1999. Effect of temperature and water on gaseous emissions from soils treated with animal manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, pp. 858-865

MALZER G.L., RANDALL G.W. 1985. Influence of nitrification inhibitors, N source, and time of N application on yield and N utilization of maize. *J. Fert Issues* 2, 117-123

MALZER G.L., KELLING K.A., SCHMITT M.A., HOEFT R.G., RANDALL G.W. 1989. Performance of dicyandiamide in north central states. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20, 2001-2022

MARTIN H.W., GRAETZ D.A., LOCASCIO S.J., HENSEL, D.R. 1997. Dicyandiamide effects on nitrification and total inorganic soil nitrogen in sandy soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28, 613-633

MERINO, P.; MENENDEZ, S.; CAREAGA, L.; PINTO, M.; ESTAVILLO, J.M.; GONZÁLEZ-MURUA, C. 2004. Effect of DMPP on NH₃, N₂O and NO emissions from grassland. In: Land use in grassland dominated regions. *Grassland Science in Europe* 9 pp 340-342

MERINO, P.; MENENDEZ, S.; PINTO, M.; GONZALEZ-MURUA, C.; ESTAVILLO, J.M. 2005. 3,4-dimethylpyrazole phosphate reduces nitrous oxide emissions from grassland after slurry application. *Soil Use and Management* 21, pp.53-57

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. J.* 74:562-564

MORVAN, T.; LETERME, P.; ARSÈNE, G.G.; MARY, B. 1997. Nitrogen transformations after the spreading of pig slurry on bare soil and ryegrass using ¹⁵N-labelled ammonium. *Eur. J. Agron.* 7, pp. 181–188

MUÑOZ-GUERRA, L.M.; CARRASCO, I. 2003. Efectos del inhibidor de la nitrificación DMPP sobre la disminución de pérdidas de N hacia las aguas y atmósfera. I Congreso Iberoamericano de nutrición vegetal-Agrolatino.

MUÑOZ-GUERRA, L.M.; CARRASCO, I.; PÉREZ, M.A.; SÁNCHEZ, M., LÓPEZ H.; DÍEZ, J.A.; LÓPEZ A. 2004a. Evaluación del uso en cultivos extensivos del inhibidor de la nitrificación 3,4-dimetilpirazol fosfato (DMPP). Aspectos ambientales y productivos.

X Simpósio Ibérico de Nutrição Mineral das Plantas. Septiembre 2004. (www.compo.es)

MUÑOZ-GUERRA, L.M.; CARRASCO, I.; EGEA, C.; ALARCÓN, A.L.; ROCA, M.J. 2004b. Optimización del uso de inhibidor de la nitrificación DMPP en cultivos de brócoli fertirrigado bajo distintas estrategias de fertilización. Efectos productivos, nutricionales y medioambientales. X Simpósio Ibérico de Nutrição Mineral das Plantas. Septiembre 2004. (www.compo.es)

ORDRE de 22 d'octubre de 1998. del codi de bones pràctiques agràries en relació al nitrogen (Código de buenas Prácticas Agrarias en relación con el nitrógeno). DOGC 2761 de 9 de novembre. Generalitat de Catalunya

OREA, G.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; QUIÑONES, A.; GONZÁLEZ, C.; MONTAÑA, C.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. 2004. Mejora de la eficiencia de uso del N en función de la frecuencia de aplicación del inhibidor de la nitrificación DMPP en cítricos. X Simpósio Ibérico de Nutrição Mineral das Plantas. Septiembre 2004. (www.compo.es)

PASDA G., HÄHNDEL R., ZERULLA W., 2001. Effect of fertilisers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimetilpirazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol Fertil Soils* 34, 85-97

PISANOVA, J.; RUZEK, P. 2007. Influence of urease and nitrification inhibitors on the utilization of nitrogen from applied mineral fertilizer. 15th N workshop. Towards a better efficiency in N use. pp.16

POTHULURI J.V., WHITNEY D.A., KISSEL D.E. 1991. Residual value of fertilizer phosphorus in selected kansas soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:399-404

PRASAD R., POWER J.F. 1995. Nitrification Inhibitors for agriculture, health, and the environment. *Adv. in Agron.* 54, 233-281

PRINCE, T. J.; SUTTON, A. L.; VON BERNUTH, R. D.; VERSTEGEN, M. W. A. 1999. Application of nutritional knowledge for developing econutrition feeding programs on commercial swine farms. *Proceedings of the American Society of Animal Science*, 1999 (<http://jas.fass.org/cgi/reprint/77/E-Suppl/1-y.pdf>)

- QUIÑONES, A.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; GONZÁLEZ, M.C.; MONTAÑA, C.; LEGAZ, F.; RICARTE, B. 2005. Uso eficiente de la fertilización nitrogenada convencional en cítricos mediante el inhibidor de la nitrificación (DMPP) en riego a goteo. *Revista Levante Agrícola*. 2005. (www.compo.es)
- QUEMADA M., LASA B., LAMSFUS C. i APARICIO-TEJO P.M. 1998. Ammonia volatilization from surface or incorporated biosolids by the addition of dicyandiamide. *J. Environ. Qual.* 27, 980-983
- RAUN W.R, JOHNSON G.V. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy journal*. 91:357-363
- REAL DECRETO 261/1996 de 16 de febrero sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. BOE 61, de 11 de marzo de 1996, pp 9734
- ROCHETTE, P.; CHANTIGNY, M.H.; ANGERS, D.A.; BERTRAND, N.; CÔTÉ, D. 2001. Ammonia volatilization and soil nitrogen dynamics following fall application of pig slurry on canola crop residues. *Can. J. Soil Sci.* 81, pp. 515–523
- SANZ, A.; MISSELBROOK, T.; HERNAIZ, P.; DIEZ, J.A.; ARCE, A.; MINGOT, J.I.; VALLEJO, A. 2007. Ammonia emissions from a soil amended with urea and an inhibitor of urease activity in a Mediterranean area. 15th N workshop. Towards a better efficiency in N use. pp.18
- SCHMITT M.A., EVANS S.D., RANDALL G.W. 1995. Effect of liquid manure application methods on soil nitrogen and maize grain yields. *J. Prod. Agric.* 8, 186-189
- SCHRÖDER J.J., ten HOLTE L., van KEULEN H., STEENVOORDEN J.H.A.M. 1993. Effects of nitrification inhibitors and time and rate of slurry and fertilizer N application on silage maize yield and losses to the environment. *Fertilizer Research* 34, 267-277
- SERNA M.D., LEGAZ F., PRIMO-MILLO E. 1994. Efficacy of Dicyandiamide as a soil nitrification inhibitor in Citrus production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1817-1824
- SERNA, M.D., BAÑULS, J., QUIÑONES, A., PRIMO-MILLO, E., LEGAZ, F. 2000. Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a Citrus-cultivated soil. *Biology and Fertility of Soils* 32: 41-46
- SOMMER, S.G.; HUTCHINGS, N.J. 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction. *Eur. J. Agron.* 15, pp.1–15
- SØRENSEN, P.; AMATO, M. 2002. Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *Eur. J. Agron.* 16, pp. 81–95
- SPALDING, R.F.; EXNER, M.E. 1993. Occurrence of nitrate in groundwater—A review. *J. Environ. Qual.* 22, pp. 392–402

STOCKLE, C.O.; NELSON, R.L. 1998. Cropsyst User's Manual. Biological Systems Engineering Dept., Pullman, Washington, USA, Washington State University

TEIRA, M.R. 2008. Informe per a la millora de la gestió dels purins a Catalunya. Informes del CADS: 5. Barcelona. ISBN: 978-84-393-7712-2. 225 pp.

TEIRA, M.R.; PAGANS, E.; VILLAR, J.M. 2002. Ammonia volatilisation from organic residues applied to soil together with the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpirazol phosphate (DMPP). Book of proceedings -VII congreso of the European Society for Agronomy pp.413-414

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. 1995. Soil fertility and fertilizers. 5th ed. 634. Macmillan Publishing Company. New York

TITTARELLI F., CANALI S., BERTI C., BENEDETTI A. 1997. Effects of dicyandiamide on nitrification in soil amended with animal slurries. Agr. Med. 127, 44-48

TREHAN, S.P.; WILD, A. 1993. Effects of an organic manure on the transformations of ammonium nitrogen in planted and unplanted soil. Plant Soil 151, pp. 287-294

TRENKEL M.E. 1997. Improving fertilizer use efficiency: controlled-released and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris. pp.151

VILLAR, P. 1999. Estudio ambiental, diagnóstico y manejo del nitrógeno en sistemas de agricultura de regadío: aplicación a la zona regable de los canales del Urgell. Tesis doctoral. Universidad de Lleida

VILLAR, J.M., CARRASCO, I., FERRER, F., ARAN, M., VILLAR, P. 2000. Addition of the nitrification inhibitor dmpp to pig slurry applied on winter wheat in a calcareous soil. In Abstracts, Int. Crop Sci. Congr., 3rd, Hamburg, Germany. 17-22 Aug. 2000. Eur. Soc. for Agron., Hamburg Germany

VILLAR-MIR, J.M.; VILLAR-MIR, P.; STOCKLE, C.O.; FERRER, F.; ARAN, M. 2002. On-farm monitoring of soil nitrate-nitrogen in irrigated cornfields in the Ebro valley (northeast Spain). Agronomy journal 94 pp. 373-380

VILLAR J.M., VILLAR P., STOCKLE C.O., FERRER F., ARÁN M. 2003. On-Farm monitoring of soil nitrate-nitrogen in irrigated cornfields in the Ebro Valley (Northeast Spain). Agronomy Journal 96 (2) 373-378

WADMAN W.P., NEETESON J.J., WIJNEN G.J. 1993. Field experiments with slurry and dicyandiamide: response of potatoes and effect on soil mineral nitrogen. Netherlands Journal of Agricultural Science 41, 95-109

- WALTERS D.T., MALZER G.L. 1990. Nitrogen management and nitrification inhibitors effects on nitrogen-15 urea: II. Nitrogen Leaching and Balance. Soil Sci. Soc. Am. J. 54, 122-130
- WATSON, C. J.; STEVENS, R. J.; GARRETT, M. K.; MCMURRAY, C. H. 1990. Efficiency and future of urea for temperate grasslands. Fertiliser Research 26 pp. 341-357
- WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M.B. D. 1998. The efficacy of repeated applications if the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide for improving the efficiency of urea fertiliser utilisations on temperate grassland. Grass and forage science 53 pp.137-145
- WATSON, C. J. 2000. Urease activity and inhibition - principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding No. 454. 2000
- WEISKE, A.; BENCKISER, G; HERBERT T.; OTTOW, J.C.G. 2001. Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. Biol Fertil Soils 34, 109-117
- WESTERMAN, P.W.; OVERCASH, M.R.; EVANS, R.O.; KING, L.D.; BURNS, J.C.; CUMMINGS, G.A. 1985. Swine lagoon effluent applied to coastal bermudagrass: III. Irrigation and rainfall runoff. J. Environ. Qual. 14, pp. 22-25
- ZERULLA W., BARTH T., DRESSEL J., ERHARDT K., HORCHER von LOCQUENGIEN K., PASDA G., RÄDLE M., WISSEMEIER, A.H. 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. Biol Fertil Soils 34, 79-84

