

Oficina de fertilització i tractament de dejeccions ramaderes

Xarxa de plans per a la millora de la fertilització agrària a Catalunya

CATALUNYA CENTRAL
Resultats dels camps d'assaig



SANT MARTÍ SESGUEIOLES (ANOIA)
Campanyes 2007-2012

L'adobatge nitrogenat del cereal d'hivern



Índex

1. El perquè del camp d'assaig	pàg. 1
2. Com és el camp d'assaig	pàg. 1
2.1. Pràctiques agrícoles	pàg. 1
2.2. Adobatge nitrogenat estudiat	pàg. 1
2.3. Tipus de sòl	pàg. 2
2.4. Climatologia de Sant Martí Sesgueioles	pàg. 3
4. Resultats obtinguts	pàg. 3
3.1. Rendiment mitjà	pàg. 3
3.2. Evolució del contingut de nitrats al sòl	pàg. 5
3.3. Contingut de nitrogen al sòl després de la collita	pàg. 6
3.4. Eficiència de la fertilització nitrogenada	pàg. 8
3.5. Eficiència en l'ús de l'aigua (EUA)	pàg. 11
3.6. Extraccions de nitrogen, fòsfor i potassi	pàg. 11
3.7. Evolució dels principals paràmetres de fertilitat del sòl	pàg. 14
3.8. Qualitat del gra	pàg. 15
3.9. Avaluació econòmica	pàg. 18
4. Conclusions	pàg. 19
5. Referències bibliogràfiques	pàg. 20

Índex figures

Figura 1. Diagrama ombromètric de Calaf. Mitjana de 1953-1980	pàg. 3
Figura 2. Rendiments del camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Mitjana del període 2008 – 2012.....	pàg. 4
Figura 3. Rendiments del camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2009-2010.....	pàg. 4
Figura 4. Rendiments del camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2011-2012.....	pàg. 5
Figura 5. Dinàmica del nitrogen mineral del sòl (0-90 cm) al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles.....	pàg. 6
Figura 6. Contingut de nitrats al sòl (0-90 cm) després de la collita al camp de Sant Martí Sesgueioles. El requadre mostra la precipitació de cada període. Campanyes 2008-09, 2009-10, 2010-11 i mitjana del període 2008-2011	pàg. 7
Figura 7. Rendiment i contingut de nitrats després de la collita al camp de Sant Martí Sesgueioles. Mitjana del període 2008-2011	pàg. 8
Figura 8. Eficiència en l'ús del nitrogen al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011	pàg. 8
Figura 9. Eficiència en l'extracció del nitrogen al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011	pàg. 9
Figura 10. Eficiència en l'extracció del nitrogen al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011	pàg. 10
Figura 11. Eficiència en l'ús del nitrogen i collita al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011	pàg. 10
Figura 12. Eficiència en l'ús de l'aigua al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011	pàg. 11
Figura 13. Extraccions de nitrogen, fòsfor i potassi per cada tona de gra d'ordi produïda al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2011/12.....	pàg. 12
Figura 14. Contingut de matèria orgànica (%) (0-30 cm) al camp de Sant Martí Sesgueioles. Any 2011	pàg. 14
Figura 15. Contingut de fòsfor (mg kg^{-1}) (0-30 cm) al camp de Sant Martí Sesgueioles. Any 2011	pàg. 14
Figura 16. Contingut de potassi (mg kg^{-1}) (0-30 cm) al camp de Sant Martí Sesgueioles. Any 2011	pàg. 15
Figura 17. Contingut de proteïna (%) del gra al camp de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2011-2012.....	pàg. 16
Figura 18. Aportació econòmica de les estratègies de fertilització al camp de Sant Martí Sesgueioles en el període 2008-2012.....	pàg. 16
Figura 19. Aportació econòmica de les estratègies de fertilització del camp de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2009-2010.....	pàg. 17
Figura 20. Aportació econòmica de les estratègies de fertilització del camp de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2011-2012.....	pàg. 18
Figura 21. Aportació econòmica de les estratègies de fertilització del camp de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2012.....	pàg. 18

Índex taules

Taula 1. Dosis estudiades al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles.....	pàg. 2
Taula 2. Resultats de l'anàlisi de sòl del camp d'assaig (Data: 07/09/2006).....	pàg. 2
Taula 3. Extracció total de nitrogen, fòsfor i potassi per cada tona de gra d'ordi produïda al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2011-2012.....	pàg. 13

Agraïments

A en Jaume Vidal, propietari del camp, Jordi De Solà i tot l'equip de serveis DSP per a totes les labors i suport durant tots aquests anys.

A tots els col·laboradors i col·laboradores per les seves idees, la il·lusió, el temps i dedicació, la motivació personal i col·lectiva per a fer possible aquest camp d'assaig, que esperem que contribueixi a una millora de l'agricultura a Catalunya.

1. El perquè del camp d'assaig

El camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles (Anoia) es va implantar l'any 2007 dins el marc del Pla per a la millora de la fertilització agrària a la Catalunya central. L'objectiu principal del projecte va ésser implementar pautes per a una millor fertilització i un pla d'adobatge òptim, basat en la maximització de les produccions i la qualitat, l'optimització econòmica de la producció agrícola, la protecció dels recursos naturals i la valorització dels productes disponibles per aquesta fertilització. Quant a l'objectiu principal del camp, va ser l'obtenció de la corba de resposta del cereal d'hivern a la fertilització nitrogenada i els seus efectes sobre el cultiu i el medi ambient, en les condicions de la Catalunya central.

Les comarques de la Catalunya central conformen una de les àrees cerealístiques més importants de Catalunya, de fet la més important en secà, ja que el clima d'un tipus més subhúmit permet produccions regulars i més elevades que en algunes de les comarques veïnes (Cantero-Martínez, C. *et al.* 2012). La precipitació mitjana anual de la zona està al voltant dels 600 mm, i depenent d'aquesta es poden obtenir rendiments d'entre 2.000 i 5.500 kg gra ha⁻¹.

El camp va estar impulsat des del DARP juntament amb l'equip del grup d'agronomia del Dpt. de producció vegetal i ciència forestal, i unitat associada al CSIC, de la universitat de Lleida (UdL), i va estar en actiu fins l'any 2013, fet el qual ha permès obtenir la corba de resposta i observar els efectes de l'adobatge nitrogenat durant diverses campanyes i diferents condicions climàtiques.

Fruit d'aquesta associació amb la UdL, l'any 2012 es va publicar el llibre "Fertilització agrària dels cereals d'hivern a la Catalunya central", el qual recull una descripció de l'agricultura cerealística de la zona i els principals resultats i conclusions extretes del Pla per a la millora de la fertilització agrícola a la Catalunya central. Trobareu l'enllaç per adquirir la publicació en format digital a l'apartat de publicacions de l'Oficina de fertilització i tractament de les dejeccions ramaderes.

En aquesta publicació es mostren els resultats obtinguts, que han permès conèixer la influència de la fertilització nitrogenada sobre:

- El rendiment del cereal d'hivern.
- L'evolució del contingut de nitrats del sòl al llarg del temps, contingut de nitrats després de la collita i la fertilitat del sòl.
- L'aprofitament de l'adob i l'aigua per part del cultiu.
- L'extracció dels principals nutrients.
- La qualitat del gra produït.
- Els beneficis econòmics que s'obtenen a l'explotació.



Imatge 2. Sembrada del camp d'assaig / Font: DARP 2009



Imatge 1. Vista de la zona d'estudi / Font: DARP 2009

2. Com és el camp d'assaig

2.1. Pràctiques agrícoles

El camp es va sembrar segons el sistema de no laboreig (sembra directa) sense realitzar cap tipus de treball de preparació del sòl, i totes les labors es van dur a terme en els mateixos moments i maquinària que els camps comercials de la zona. D'aquesta manera, es pretenia traslladar les condicions reals dels camps comercials al camp d'assaig i aconseguir que els resultats fossin més representatius d'acord a la realitat agrícola.

L'història de maneig de la parcel·la es caracteritza per haver estat sota el sistema de sembra directa abans de l'assaig, haver rebut majoritàriament adobs minerals i picar i distribuir la palla per la superfície. El maneig de la palla va continuar essent el mateix durant els anys que el camp va estar en funcionament.

Durant aquests anys no es va aplicar fòsfor, ja que el nivell al sòl era mitjà i es va considerar que no limitava la producció del cereal. D'altra banda, l'any 2009 es va aplicar 88 kg de K₂O ha⁻¹ per a evitar que el seu contingut al sòl disminuís per sota de les necessitats del cultiu i pogués condicionar la producció.

2.2. Adobatge nitrogenat estudiat

En el camp de Sant Martí Sesgueioles es van estudiar els efectes de 7 dosis de fertilització nitrogenada mineral (Taula 1). La seva distribució va ser 1/3 de la dosi abans de la sembra i els 2/3 restants a la cobertura, i l'adob utilitzat va ser el nitro sulfat amònic (NSA) amb una riquesa del 26% de nitrogen.

El disseny del camp experimental era un factorial simple amb tres repeticions (blocs) i els tractaments estaven ubicats completament a l'atzar, la qual cosa va fer que el camp estigués format per 21 parcel·les elementals, amb una superfície de 300 m² (50 x 6 m) cadascuna.

Tractament	Dosi de nitrogen (kg N ha ⁻¹ i any ⁻¹)	Dosi presembra (kg N ha ⁻¹)	Dosi cobertora (kg N ha ⁻¹)	Dosi d'adob (kg NSA ha ⁻¹ i any ⁻¹)
T1	Control (sense fertilització)	-	-	-
T2	40	-	40	153
T3	80	26	54	307
T4	120	40	80	461
T5	160	53	107	615
T6	200	66	134	769
T7	240	80	160	923

Taula 1. Dosis estudiades al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles.

2.3. Tipus de sòl

Abans d'iniciar l'estudi, es va realitzar una anàlisi completa dels primers 30 cm de sòl per a caracteritzar-lo. Els resultats de l'anàlisi (Taula 2) van mostrar que no existia cap factor que pogués limitar la productivitat d'un cereal, i els principals paràmetres que determinen la fertilitat d'un sòl (matèria orgànica, fòsfor i potassi) van presentar un contingut mitjà-alt. A més, cal afegir que es tracta d'un sòl profund i amb una capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD) moderada (Porta, J. *et al.* 2005), la qual cosa va permetre un bon desenvolupament del cultiu.

Les labors que es duen a terme a un camp agrícola influeixen en les característiques d'un sòl, sobretot en la seva fertilitat. Per tant, és important tenir en compte l'historial de maneig de la parcel·la per a interpretar i entendre els resultats de l'anàlisi i del camp d'assaig. El camp on es va implantar l'assaig es caracteritza per ser un camp de sembra directa, on la palla es pica i s'escampa per la superfície de la parcel·la i es fertilitza amb adobs minerals. Aquest maneig es va continuar duent a terme mentre el camp d'assaig va estar en actiu.



Imatge 3. Material pel mostreig de sòl / Font: DARP 2011

Paràmetre (mètode - unitats)	Valor	Interpretació
pH (1:2,5)	7,9	Moderadament bàsic
Cond. Elèctrica (1:5) (25°C) (dS m ⁻¹)	0,3	No limitant
Carbonat càlcic equivalent (%)	24	Calcari
Matèria Orgànica (%)	2,03	Mitjà
Llim (%)	41,5	-
Argila (%)	35,4	-
Arena total (%)	23,5	-
Textura USDA	-	Franca Argil·losa
Fòsfor (Olsen) (mg kg ⁻¹)	13	Mitjà
Nitrogen Kjeldahl (%)	0,13	Mitjà - Alt
Potassi (ext. acetat amònic) (mg kg ⁻¹)	220	Normal - Alt
Magnesi (ext. acetat amònic) (mg kg ⁻¹)	210	Normal - Alt
Sodi (ext. amònic) (mg kg ⁻¹)	52	-

Taula 2. Resultats de l'anàlisi de sòl del camp d'assaig (Data: 07/09/2006)

2.4. Climatologia de Sant Martí Sesgueioles

La climatologia, juntament amb el sòl, marca el potencial productiu de la parcel·la, i per tant, és molt important conèixer-la per a determinar la seva influència, i a la vegada poder traslladar els resultats observats a les zones amb un potencial productiu i característiques similars.

La zona de l'assaig presenta una temperatura i precipitació mitjanes anuals d'uns 12,3°C i 581 mm respectivament,

segons una sèrie de dades registrades per l'estació de Calaf durant 28 anys, publicada per la Caracterització agroclimàtica de la província de Barcelona del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. La zona es descriu com un secà semi-frescal, ja que com es pot veure al diagrama ombrotèrmic (Fig. 1), solament presenta un període de dèficit hídric durant el mes de juliol.

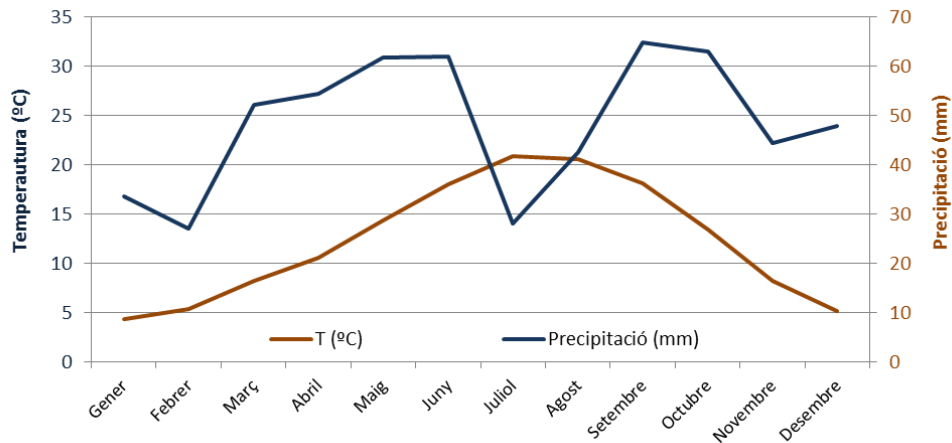


Figura 1. Diagrama ombrotèrmic de Calaf. Mitjana de 1953-1980. / Font: Caracterització agroclimàtica de la província de Barcelona. 1989. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

A l'inici de l'assaig, es va instal·lar una estació meteorològica per a saber la climatologia durant tots aquests anys que va estar en actiu. Durant aquests anys es va registrar una temperatura i precipitació mitjanes anuals de 14°C i 570 mm, tot i que hi va haver anys amb una elevada precipitació (725 mm l'any 2010) i d'altres amb menys (< 500 mm els anys 2011 i 2012).



Imatge 4. Estació meteorològica instal·lada al camp / Font: DARP 2007

3. Resultats obtinguts

3.1. Rendiment mitjà

Durant les campanyes estudiades es va poder observar una resposta positiva a la fertilització nitrogenada, la qual es va veure limitada per la quantitat d'aigua disponible durant el cicle del cultiu. La precipitació va variar entre els 250 (campanya 2011-12) i els 640 mm (campanya 2009-10). Així doncs, les condicions climàtiques de cada campanya van marcar de forma important l'aprofitament de l'adob nitrogenat i per tant, el rendiment de cada estratègia de fertilització, el qual va variar entre els 2000 i 6000 kg gra ha⁻¹.

A continuació es mostren els resultats mitjans obtinguts en el període 2008–2012, en una campanya molt productiva (2009-10) i en una campanya poc productiva (2011-12). Mitjançant aquests es pot observar com va variar la resposta del cultiu a la fertilització nitrogenada segons la pluviometria, i quina va ser l'estratègia més adequada d'acord amb les condicions de cada campanya.

Resultats mitjans del període 2008 - 2012

Durant aquests anys hi va haver una precipitació mitjana anual d'uns 560 mm, la qual cosa va permetre obtenir un rendiment mitjà de fins a 4300 kg gra ha⁻¹. La variació inter-anual va ser molt important, però tot i així, es va observar

que l'aplicació d'entre 80 i 120 kg N ha⁻¹ era suficient per aconseguir els rendiments màxims de la zona (Fig. 2), i que generalment dosis superiors no milloraven significativament la resposta del cultiu.

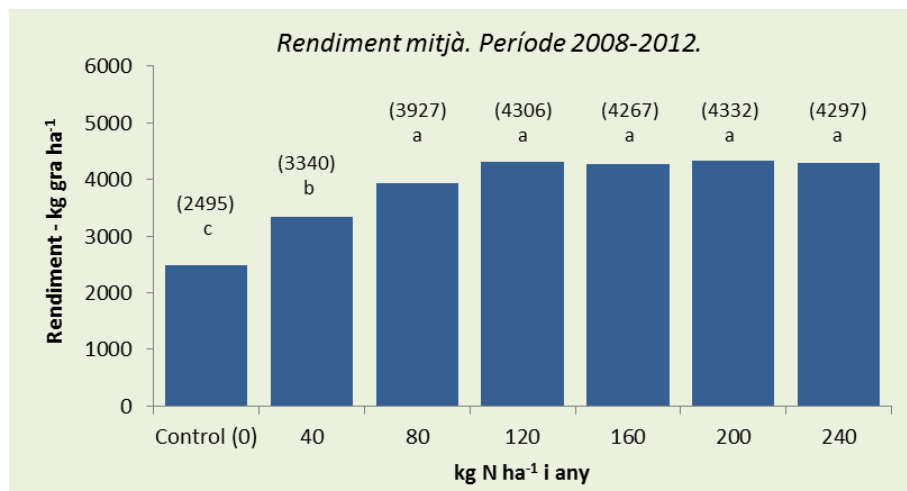


Figura 2. Rendiments del camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Mitjana del període 2008–2012. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

Resultats mitjans de la campanya 2009-2010. Any humit amb elevada productivitat

Com s'ha comentat anteriorment, la precipitació de la campanya marca la disponibilitat del nitrogen, la resposta del cultiu a aquesta i per tant, el potencial productiu de la parcel·la. Durant la campanya 2009-10 va ploure uns 640 mm, la qual cosa va permetre observar la resposta del cereal d'hivern a la fertilització nitrogenada quan hi ha una precipitació abundant, ja que les condicions climàtiques van permetre produir al voltant dels 6000 kg gra ha⁻¹ en els camps de la zona.

En aquestes condicions, el cereal va mostrar una major resposta a la fertilització nitrogenada, mostrant una millora significativa del rendiment fins a la dosi de 120 kg N ha⁻¹ i any⁻¹ (Fig 3). Més enllà d'aquesta dosi, no es va justificar un augment de l'adobatge nitrogenat.

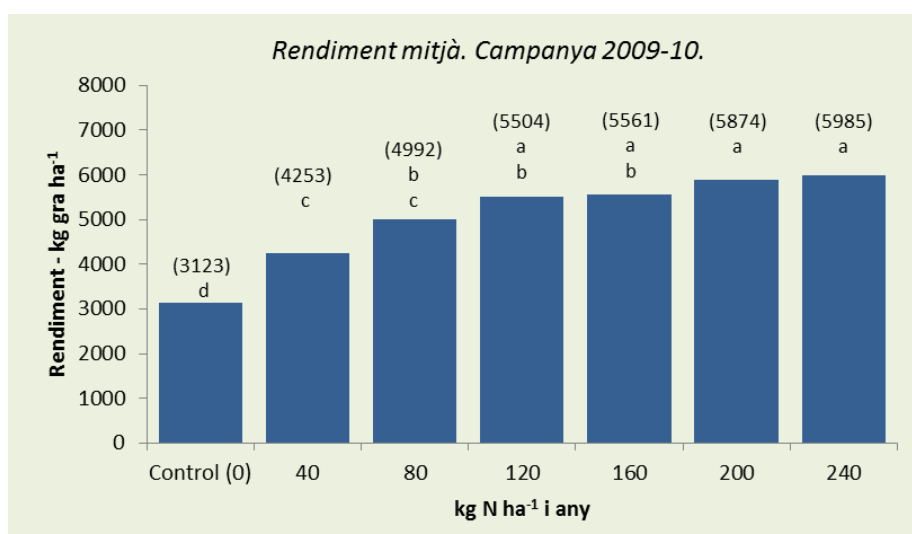


Figura 3. Rendiments del camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2009–2010. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

Resultats mitjans de la campanya 2011-2012. Any sec amb baixa productivitat

Al contrari del que es va observar en la campanya 2009-10, la precipitació no va acompanyar durant la campanya 2011-12, ja que va ploure 250 mm, els quals solament van permetre aconseguir un rendiment màxim de 3000 kg gra ha⁻¹ (Fig. 4). En aquestes condicions no van aparèixer diferències significatives entre l'aplicació de 40 kg N ha⁻¹ i dosis més elevades. No obstant això, l'aplicació de 80 kg N ha⁻¹ va ser la dosi amb què es va obtenir els millors resultats.

Tot i que en aquesta campanya no van aparèixer diferències significatives entre les dosis més elevades, en aquestes condicions s'hauria pogut observar l'efecte advers d'una sobrefertilització nitrogenada sobre la collita. Un ambient amb el contingut de nitrats elevat al sòl estimula la producció de biomassa del cereal, la qual cosa accelera i augmenta el consum d'aigua, i per tant, afecta a la disponibilitat hídrica al final del cicle del cultiu, el que es pot acabar traduint en una disminució del rendiment quan no hi ha aigua suficient (Cantero-Martínez *et al.* 1995).

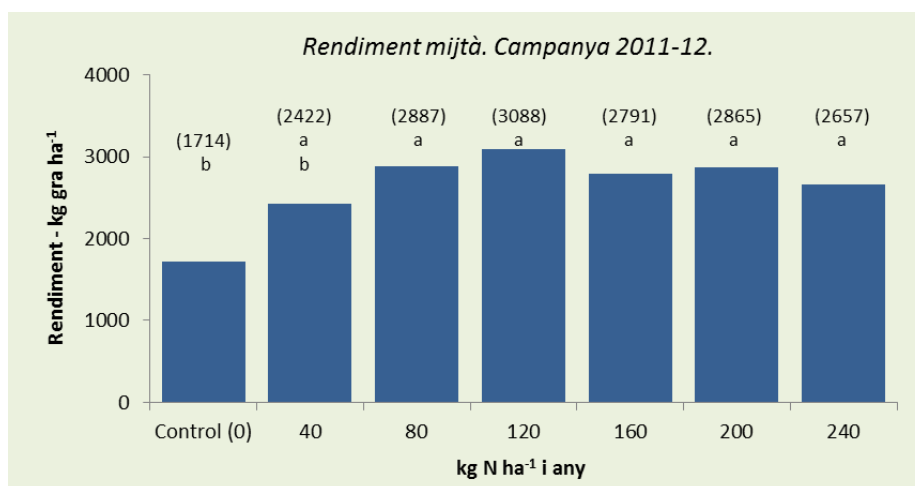


Figura 4. Rendiments del camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2011-2012. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.



Imatge 5. Collita del camp d'assaig / Font: DARP 2009

En un secà semi frescal com el de la zona de l'estudi, un sòl amb un contingut elevat de nitrats pot provocar una disminució de la producció, sobretot quan la precipitació és escassa.

3.2. Evolució del contingut de nitrats al sòl

És molt important conèixer la quantitat de nitrats que s'acumula al sòl, ja que en depèn la productivitat del cereal i les repercussions de la fertilització nitrogenada sobre el medi ambient. Per aquesta raó, en aquest camp d'assaig es va estudiar l'impacte que té cada estratègia de fertilització sobre el contingut de nitrats al sòl.

En la figura 5 es pot observar l'evolució del contingut de nitrats al sòl per cada estratègia de fertilització al llarg de l'estudi. Durant les dos primeres campanyes (del setembre del 2008 al juliol del 2010), l'acumulació de nitrats al sòl va ser poc important, independentment de l'estratègia de fertilització. Aquest fet pot ser degut a que la pluja va ser força

important i va permetre que el cultiu absorbís una major part del nitrogen disponible, i possiblement, també va provocar un major rentat a mesura que va augmentar el nitrogen aplicat. No obstant això, i atesa la poca pluja, a partir de l'any 2011 es van aconseguir produccions més baixes, fet el qual va provocar una acumulació de nitrats al sòl, sobretot en aquelles dosis més altes. Aquest fet és el resultat d'una sobrefertilització, ja que gran part del nitrogen que es va aplicar no va ser absorbit pel cultiu i va quedar romanent al sòl.

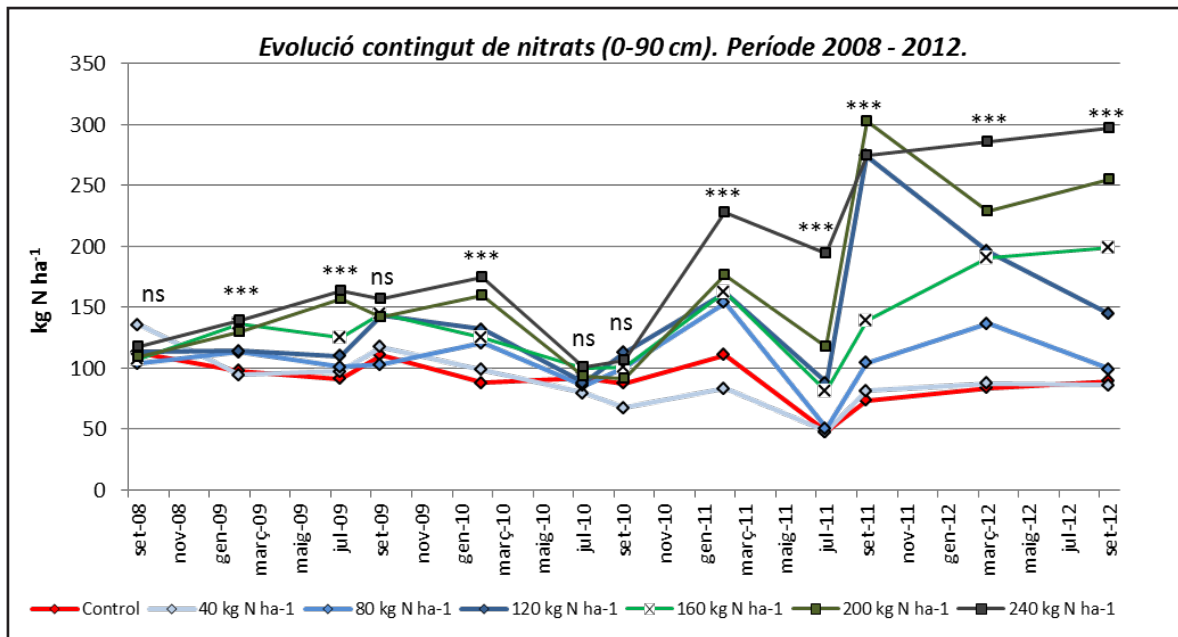


Figura 5. Dinàmica del nitrogen mineral del sòl (0-90 cm de profunditat) al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. (ns) indica diferències no significatives i (***) indica tractaments significativament diferents segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

Cal anar amb compte amb aquests nitrats romanents al sòl, ja que es poden perdre fàcilment en profunditat durant un període important de pluges i causar problemes mediambientals.

En aquest assaig es comprova que una dosi de fertilització nitrogenada superior als 80 kg N ha⁻¹ pot comportar una acumulació de nitrats al sòl, la qual pot tenir conseqüències negatives per al cultiu i el medi ambient.



Imatge 5. Presa de mostres per a determinar el contingut de nitrats i humitat del sòl / Font: DARP 2008

3.3. Contingut de nitrats al sòl després de la collita

En les condicions de secà, les pèrdues de nitrats per rentat es donen majoritàriament durant els períodes de precipitació més importants, i per tant, depenen de la climatologia de la campanya. No obstant això, hi ha certes pràctiques de fertilització que es poden tenir en compte per a minimitzar aquestes pèrdues. Per exemple, reduir el contingut de nitrats del sòl quan el cultiu no està implantat és una mesura que ajuda a reduir les pèrdues de nitrats cap a les aigües subterrànies. Això es pot aconseguir si es disminueix el nitrogen que s'aplica abans de la sembra o si es redueixen els nitrats del sòl després de la collita, la qual cosa es pot aconseguir mitjançant un pla de fertilització adequat.



Imatge 6. Mostres per a determinar els nitrats i la humitat del sòl / Font: DARP 2010

Cal anar amb compte amb els continguts de nitrats elevats després de collita, ja que en l'agricultura de secà, quan hi ha una major pèrdua de nitrats per rentat és en el període posterior a la collita (principalment tardor) fins a la fertilització de cobertura (Reaul, R. *et al.* 1999).

Així doncs, conèixer el contingut de nitrats del sòl després de la collita ens pot ajudar a saber si s'ha fertilitzat en excés o en defecte, ja que l'anàlisi reflectirà gran part dels nitrats que no han estat absorbits pel cultiu, i per tant, en el cas que apareguin continguts de nitrats elevats, ens indicaran que possiblement hi ha hagut una sobrefertilització del cultiu.

En l'estudi de la dinàmica del nitrogen del camp de Sant Martí Sesgueioles es va estudiar el contingut de nitrats després de la collita. D'una banda, ha permès determinar el seu balanç al llarg del cicle de cultiu, i de l'altra, valorar quines estratègies del camp són més adequades.

La climatologia i el rendiment de la parcel·la van variar molt durant el període estudiat, la qual cosa es va reflectir en el contingut de nitrats del sòl després de la collita.

Així doncs, a la figura 6 es pot observar el contingut de nitrats després de la collita en cada campanya i segons la dosi de fertilització nitrogenada. En la campanya 2009–10 no es van observar diferències significatives entre el contingut de nitrats després de la collita de cada dosi de fertilització, ja que va ser una campanya amb una precipitació i un rendiment important, i per tant, gran part dels nitrats del sòl van ser absorbits pel cultiu o rentats.

En canvi, en la resta de campanyes es va poder observar una acumulació important de nitrats en les dosis més elevades (> 80 kg N ha⁻¹), la qual cosa indica que a partir d'aquestes dosis ja es va aportar nitrogen que no va ser aprofitat pel cultiu.

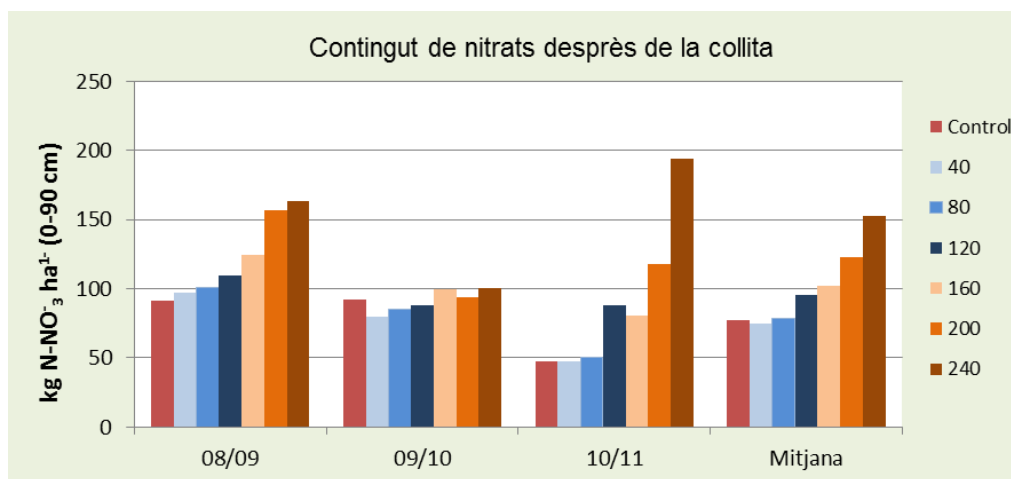


Figura 6. Contingut de nitrats al sòl (0-90 cm) després de la collita al camp de Sant Martí Sesgueioles. El quadre mostra la precipitació de cada període. Campanyes 2008-09, 2009-10, 2010-11 i mitjana del període 2008-2011. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una P<0.05.

Els resultats obtinguts en aquestes campanyes són similars quan s'estudia tot el període, ja que s'ha observat que les acumulacions importants es van donar a partir de les dosis de 120 – 160 kg N ha⁻¹, les quals presentaven un contingut superior als 100 kg N ha⁻¹ després de collita. Per sota d'aquestes no s'hauria acumulat tants nitrats, i per tant, hi hauria menys nitrogen que es desaprofitaria i menys risc d'afectació a les aigües subterrànies.

A més a més, cal recordar que aquestes dosis més elevades no milloren el rendiment del cultiu (Fig. 7), i per tant, l'únic que es va aconseguir amb les dosis superiors a 120 kg N ha⁻¹ va ser acumular nitrats al sòl.



Imatge 7. Vista de l'assaig després de la collita / Font: DARP 2010

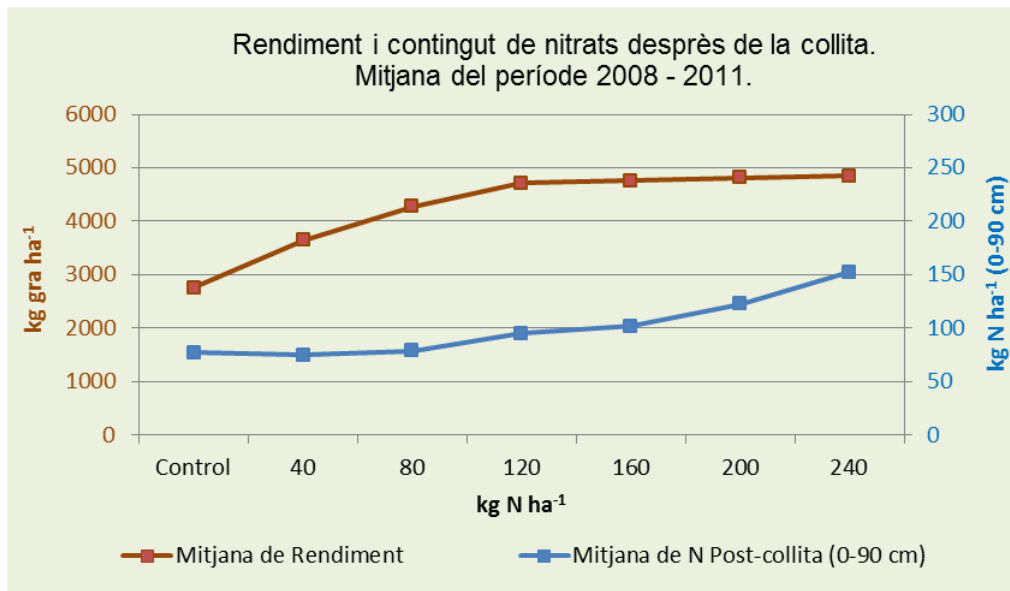


Figura 7. Rendiment i contingut de nitrogen després de la collita al camp de Sant Martí Sesgueioles. Mitjana del període 2008-2011.

3.4. Eficiència de la fertilització nitrogenada

Existeixen diversos índexs que mostren l'eficiència de la fertilització nitrogenada i l'aprofitament dels nutrients per part del cultiu. Mitjançant aquests es pot observar si la fertilització és adequada, o pel contrari, és excessiva

per a les característiques i potencial productiu de la zona.

A continuació es mostren els valors d'alguns d'aquests índexs:

Eficiència en l'ús del nitrogen (EUN)

En aquest camp, l'EUN va mostrar una clara tendència a disminuir a mesura que augmentava la dosi de fertilització (Fig. 8), sobretot a partir de les aplicacions superiors als 80 kg N ha⁻¹ i any. Altres estudis duts a terme prop de l'assaig també han mostrat resultats similars (Cantero-Martínez *et al.* 2012).

vegada que augmenta el risc que aquests nitrats sobrants arribin a les aigües subterrànies i puguin ocasionar problemes mediambientals.

Cal tenir en compte que a mesura que disminueix l'EUN, una major part del nitrogen disponible no és aprofitat i, per tant, provoca un augment de les pèrdues econòmiques, a la

Mitjançant l'aplicació de 80 kg N ha⁻¹ es van arribar a produir al voltant de 20 kg gra per cada kg de N que hi havia disponible al sòl.

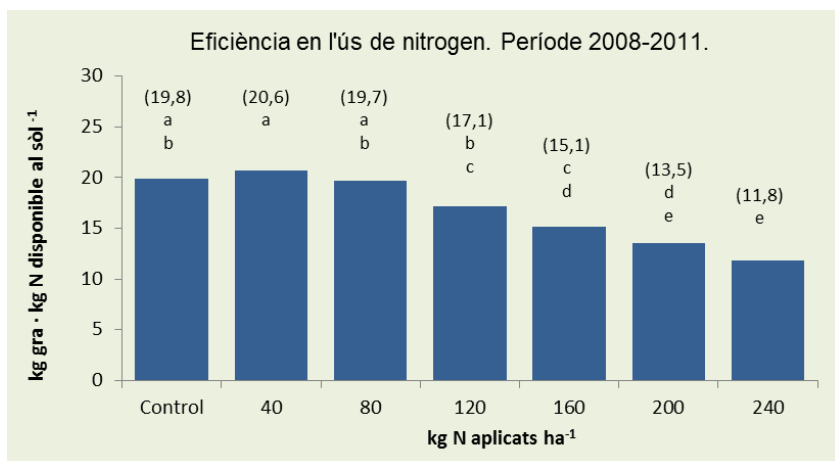


Figura 8. Eficiència en l'ús del nitrogen al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

L'eficiència en l'ús del nitrogen indica quants kg de gra són produïts per cada kg de nitrogen mineral que el cultiu té disponible al sòl*, és a dir, quantifica quin és el retorn de les pràctiques de la fertilització nitrogenada en el rendiment de la parcel·la.

* El nitrogen disponible al sòl és el resultat de la suma del nitrogen romanent al sòl, l'aportació de la mineralització de la matèria orgànica i la fertilització.

Eficiència en l'extracció del nitrogen (EEN)

L'eficiència en l'extracció del nitrogen indica quin percentatge del nitrogen total disponible al sòl extrau el cultiu, és a dir, el nitrogen que aprofita el cultiu.

L'EEN del sòl és un altre paràmetre que indica si l'estratègia de fertilització és adequada, o si pel contrari, és excessiva per a les característiques i potencial productiu de la zona. Aquest índex segueix un patró similar a l'EUN, i també va mostrar com les dosis superiors als 80 kg N ha⁻¹ van aprofitar una part menor del nitrogen disponible al sòl que les dosis més baixes (Fig. 9).

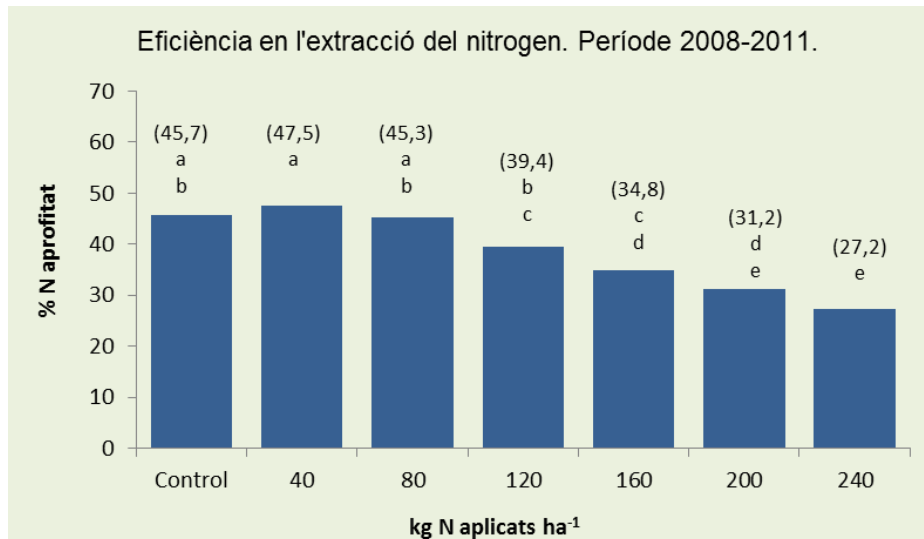


Figura 9. Eficiència en l'extracció del nitrogen al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

En els millors dels casos, l'extracció del nitrogen disponible al sòl va ser pròxima al 50%, és a dir, el cultiu va aprofitar la meitat del nitrogen disponible del sòl. Aquests valors es van donar en les dosis de fertilització més moderades, 40 i 80 kg N ha⁻¹. D'altra banda, a mesura que va augmentar la quantitat de nitrogen aplicada al sòl (> 120 kg N ha⁻¹), va disminuir la proporció que se'n va aprofitar, ja que el cultiu solament va absorbir aquell que necessitava i estava al seu abast. Així doncs, es va observar com les dosis molt elevades van mostrar una EEN pròxima al 30%, la qual cosa significa que el 70% del nitrogen disponible no va ser aprofitat pel cultiu i, per tant, va suposar una major despesa econòmica i un risc més elevat per a la contaminació de les aigües.



Imatge 8. Aplicació manual de l'adob nitrogenat / Font: DARP 2010

Eficiència agronòmica del nitrogen (EAN)

L'EAN indica quant augmenta el rendiment per cada kg de nitrogen aplicat.

Mitjançant aquest índex es pot observar com la fertilització nitrogenada complementa la fertilitat natural de la parcel·la i quant contribueix en la millora del rendiment, ja que es compara la producció entre el tractament control (sense fertilització) i cadascuna de les diferents dosis de nitrogen aplicades.

La figura 10 mostra la mitjana de l'EAN durant els anys que va durar l'estudi. S'hi observa que a mesura que va augmentar la dosi de fertilització, cada quilogram de nitrogen que s'aplicava contribuïa menys en augmentar el rendiment de la parcel·la, ja que cada vegada hi havia una major quantitat de nitrats que no eren aprofitats pel cultiu.



Imatge 9. Detall de l'adob mineral utilitzat /
Font: DARP 2009

A més a més, en les dosis menors ($40 - 80 \text{ kg N ha}^{-1}$), es va observar un augment d'uns $20 \text{ kg gra ha}^{-1}$ per cada kg N ha^{-1} aplicat, si ho comparem amb el tractament control. D'altra banda, en les dosis més elevades ($>160 \text{ kg N ha}^{-1}$), es va reduir aquesta eficiència fins a la meitat, i solament es va aportar una millora d'uns $10 \text{ kg gra ha}^{-1}$ per cada kg N ha^{-1} aplicat respecte al tractament control.

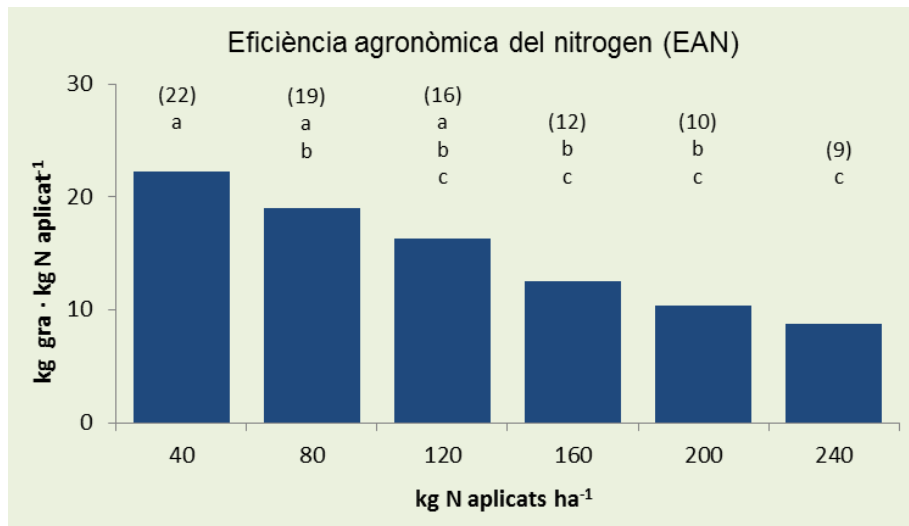


Figura 10. Eficiència en l'extracció del nitrogen al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

Així doncs, si observem tots els resultats obtinguts en el càlcul d'aquestes eficiències, ens n'adonem que, d'una banda cal tenir en compte el rendiment que es pot obtenir, i de l'altra, l'eficiència de cada estratègia de fertilització. D'aquesta manera s'aplicarà aquella estratègia que permeti obtenir la màxima producció amb el mínim impacte al medi ambient.

La figura 11 mostra la relació entre el rendiment i l'EUN, i es comprova que la dosi de fertilització nitrogenada òptima està entre 80 i 120 kg N ha^{-1} .

La decisió d'aplicar una dosi o una altra dins aquest interval dependrà de les característiques de la campanya, així per exemple, la dosi de 120 kg N ha^{-1} solament es justificaria en aquelles campanyes excepcionals, i en les quals s'aconsegueixen produccions superiors als $5000 \text{ kg gra ha}^{-1}$.

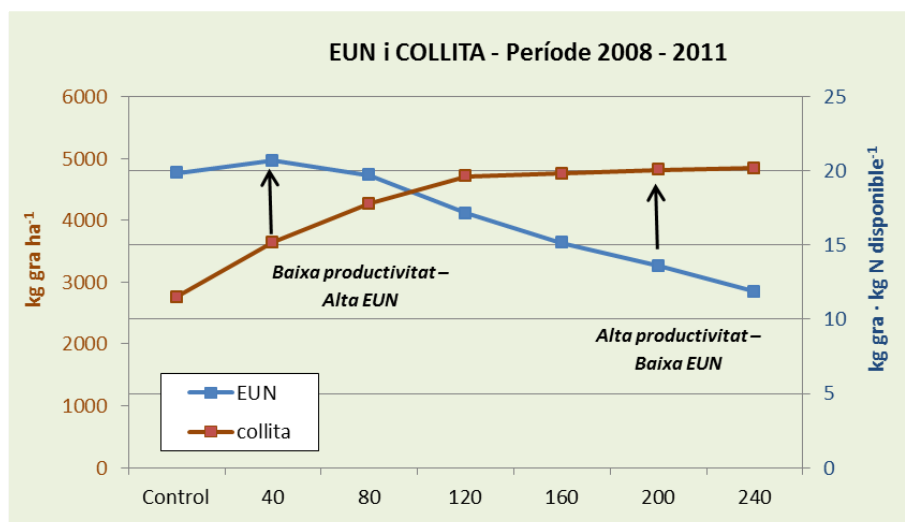


Figura 11. Eficiència en l'ús del nitrogen i collita al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011.

3.5. Eficiència en l'ús de l'aigua

La disponibilitat de l'aigua és el principal limitant per aconseguir els màxims rendiments en l'agricultura de secà, per tant, és important conèixer quin ús en fa el cultiu segons l'estratègia de fertilització, ja que aquesta influeix en el desenvolupament del cultiu i en el seu consum.

La distribució i quantitat de la precipitació varia cada campanya, la qual cosa afecta en el seu aprofitament i fa que cada any s'obtinguin eficiències diferents en cada estratègia de fertilització. Per aquest motiu, a continuació es mostra l'EUA mitjana durant el període 2008–2011 (Fig. 12), on s'observa l'aprofitament mitjà de l'aigua segons la dosi de fertilització nitrogenada durant 3 campanyes.

L'eficiència en l'ús de l'aigua mostra quants kg de gra són produïts per cada mm ($l\ m^{-2}$) absorbit pel cultiu, és a dir, mesura quin és l'aprofitament de l'aigua disponible per part del cultiu.

En aquest període es va observar que a partir de 80 kg N ha⁻¹ ja es van obtenir les millors eficiències en l'ús de l'aigua, i que dosis més elevades no van suposar un millor aprofitament de forma significativa (Fig. 12). Així doncs, aquests valors reforcen l'argument que no és necessari aplicar una dosi de nitrogen molt elevada per obtenir la millor producció, ja que l'aplicació d'entre 80 i 120 kg N ha⁻¹ ja va oferir el millor aprofitament de l'aigua.

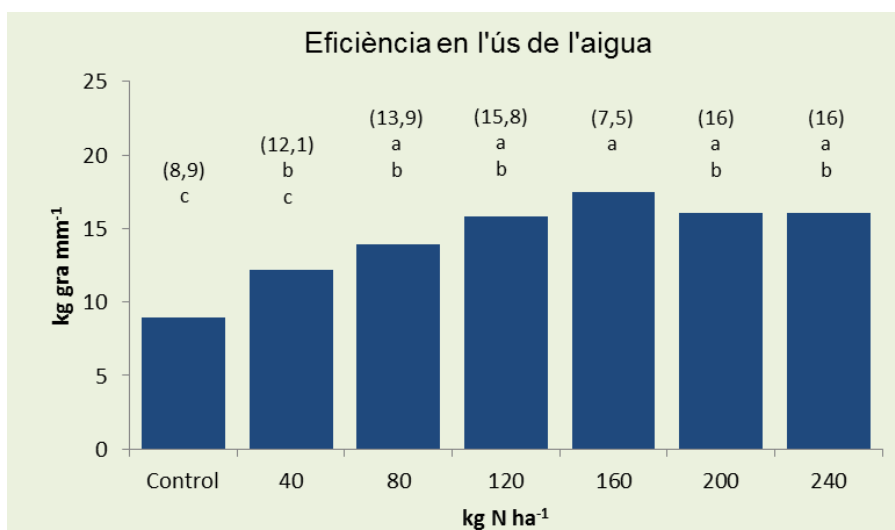


Figura 12. Eficiència en l'ús de l'aigua al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Període 2008-2011. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

3.6. Extraccions de nitrogen, fòsfor i potassi

La fertilització nitrogenada influeix en el desenvolupament i creixement del cultiu, així doncs, a més d'influir en la quantitat de nitrogen que extraguí, també ho farà en les extraccions dels altres nutrients. Per tant, és important conèixer aquesta influència per a planificar una fertilització equilibrada.

En aquest apartat es mostren les extraccions de nitrogen (N), fòsfor (P_2O_5) i potassi (K_2O) de l'ordi durant la campanya 2011-12. Els resultats van confirmar que la quantitat de nitrogen aportada va influir en les extraccions de nitrogen i altres nutrients, principalment el potassi. Com s'observa en les extraccions totals (Fig. 13), a mesura que va augmentar la dosi de fertilització nitrogenada també ho va fer la quantitat de nitrogen i potassi que el cultiu va extraure per a produir una tona de gra. Aquest fet no es va observar en el cas del fòsfor, ja que el cultiu en va absorbir una quantitat similar independentment de la dosi de fertilització nitrogenada.

Quan es van separar les extraccions del gra i la palla, es va observar que la major part de nitrogen i fòsfor va ser extreta pel gra, mentre que el potassi va ser extret principalment per la palla.

A més, en aquesta va ser on van variar més les extraccions en cada estratègia de fertilització, mentre que el gra va mostrar unes extraccions força similars entre les diferents dosis de fertilització nitrogenada. Per tant, la fertilització nitrogenada va influir de forma important en l'extracció i posterior contingut de nitrogen i potassi de la palla.

En aquesta campanya una tona de gra va extraure al voltant de 20 kg N, mentre que solament va extraure uns 5 kg de fòsfor i potassi. I quant a la palla, es va observar que cada tona va extraure un màxim de 10 kg de nitrogen, molt poc fòsfor i fins a 30 kg de potassi. El resultat final va ser, que per cada tona de gra, l'ordi extreia més nitrogen i potassi a mesura que augmentava la dosi de fertilització nitrogenada. En canvi, no va aparèixer cap relació entre l'extracció de fòsfor i l'estratègia de fertilització nitrogenada. No obstant això, encara que s'observi una relació directa entre la quantitat de nitrogen aplicada i la quantitat de nitrogen i potassi absorbida, a la taula 3 es comprova que solament van aparèixer diferències significatives entre les dosis de fertilització nitrogenada més altes ($> 200\ kg\ N\ ha^{-1}$) i les més baixes ($< 40\ kg\ N\ ha^{-1}$).

L'ordi que es va cultivar en un ambient ric en nitrats (fertilització nitrogenada elevada) va extraure una quantitat major de nitrogen i potassi que aquell que es trobava en un sòl amb un contingut més moderat. Tot i així, el rendiment entre ambdós va ser similar.



Imatge 10. Sega del camp d'assaig amb la palla picada / Font: DARP 2010

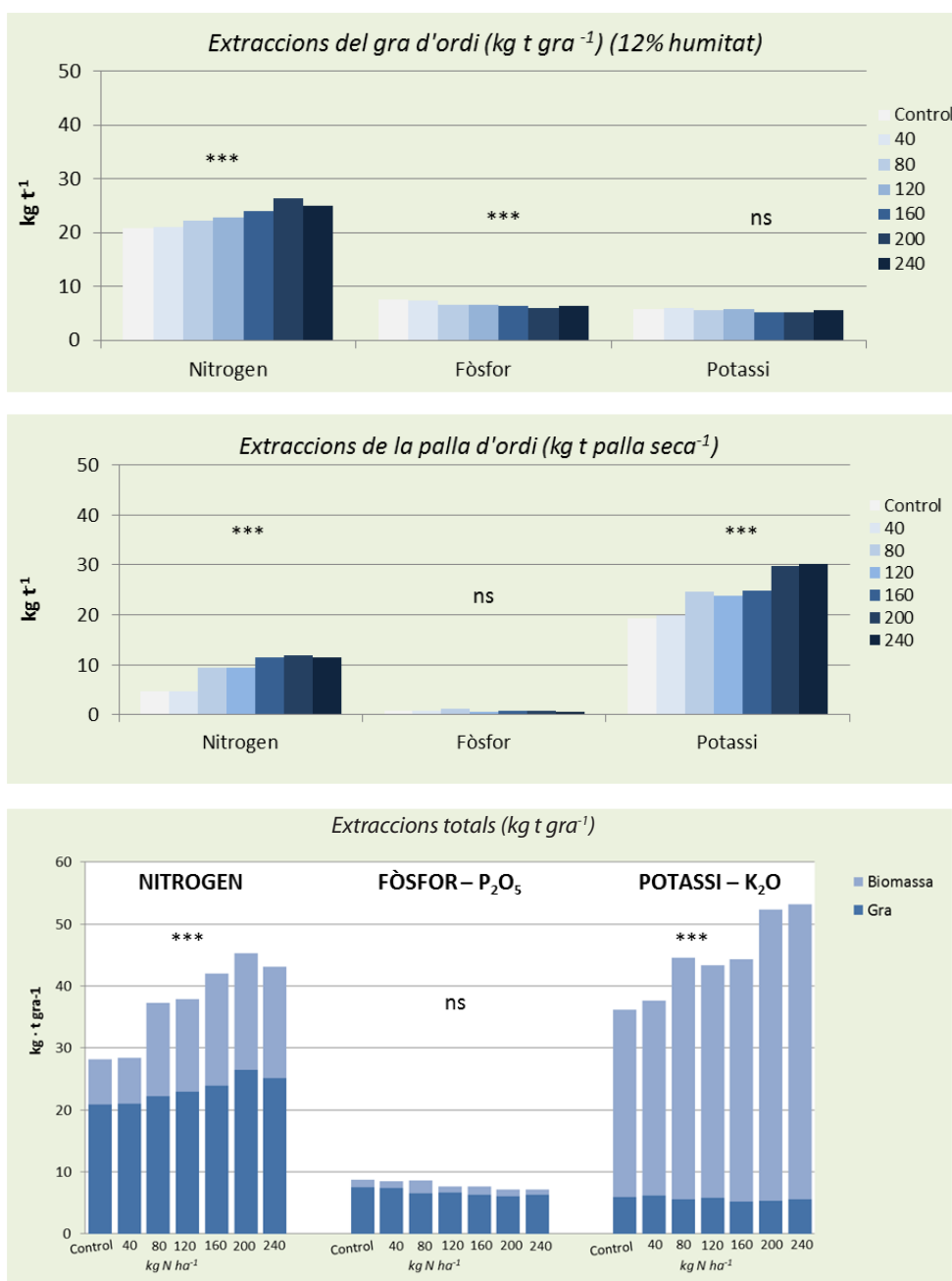


Figura 13. Extracció de nitrogen, fòsfor i potassi per cada tona de gra d'ordi produïda al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Campaña 2011-2012. (ns) indica diferències no significatives i (***) indica tractaments significativament diferents segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

Tractament	Dosi total (kg N ha ⁻¹)	kg nitrogen t gra ⁻¹	Resultats estadístics
T6	200	45	a
T7	240	43	a b
T5	160	42	a b
T4	120	38	b
T3	80	37	b
T2	40	28	c
T1	Control (sense fertilització)	28	c

Tractament	Dosi total (kg N ha ⁻¹)	kg fòsfor t gra ⁻¹	Resultats estadístics
T1	Control (sense fertilització)	9	a
T3	80	9	a
T2	40	8	a
T5	160	8	a
T4	120	8	a
T6	200	7	a
T7	240	7	a

Tractament	Dosi total (kg N ha ⁻¹)	kg potassi t gra ⁻¹	Resultats estadístics
T7	240	53	a
T6	200	52	a
T3	80	45	a b
T5	160	44	a b
T4	120	43	a b
T2	40	38	b
T1	Control (sense fertilització)	36	b

Taula 3. Extraccions total de nitrogen, fòsfor i potassi per cada tona de gra d'ordi produïda al camp d'assaig de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2011-2012. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una P<0.05.

Si s'incorpora la palla al sòl es redueixen molt les exportacions de potassi, i en menor grau, nitrogen, ja que es retorna al sòl una part important de les extraccions del cultiu. Per tant, el seu maneig és un factor important a tenir en compte a l'hora de planificar la fertilització.



Imatge 11. Mostreig per a conèixer els components del rendiment i les extraccions del cultiu / Font: DARP 2012

3.7. Evolució dels principals paràmetres de fertilitat del sòl (matèria orgànica, fòsfor i potassi)

La fertilitat del sòl marca el potencial productiu d'una parcel·la, i l'objectiu de la fertilització és complementar-la per aconseguir la màxima producció. Així doncs, interessa conèixer i millorar la fertilitat d'un sòl per adaptar l'aportació de fertilitzants als requeriments reals, i d'aquesta manera aconseguir la producció objectiu.

Al camp d'assaig, es va realitzar un seguiment dels principals paràmetres de fertilitat del sòl (matèria orgànica, fòsfor i potassi), per a comprovar la influència que té la fertilització nitrogenada sobre aquests, i poder establir estratègies per a mantenir-los en els nivells adequats. Es va fer una anàlisi inicial (30 cm de profunditat) per avaluar els continguts de matèria orgànica, fòsfor i potassi, i al cap de 5 anys es va tornar a analitzar (30 cm de profunditat) cada parcel·la elemental per a observar la seva variació en cada estratègia de fertilització nitrogenada.

Abans de començar l'estudi, el contingut de fòsfor no era molt elevat (13 mg kg^{-1}), tot i així no se'n van fer aportacions perquè es va considerar suficient per a la producció de cereal d'hivern a la zona. Quant al potassi, atesa la seva concentració al sòl (220 mg kg^{-1}) i les seves extraccions elevades, es va decidir aplicar $88 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ (Campanya 2009-10) per a evitar que el seu contingut disminuís, limités el rendiment del cultiu i pogués influir en els resultats del camp.



Imatge 12. Mostres de sòl / Font: DARP 2009

Evolució del contingut de matèria orgànica

El contingut inicial de matèria orgànica era d'un 2% (nivell mitjà), i després de 5 anys se'n va observar una lleugera disminució. Tot i així, no van aparèixer diferències significatives entre les estratègies de fertilització estudiades (Fig. 14), i per tant, no es va observar una relació entre la dosi de fertilització nitrogenada i l'evolució del contingut de matèria orgànica. No obstant això, cal tenir en compte que la variació del contingut de matèria orgànica al sòl és lenta, i mitjançant les dades obtingudes solament es podria concloure que, durant aquests 5 anys, la fertilització nitrogenada no ha influït en el contingut de matèria orgànica del sòl, i que el maneig dut a terme en aquest període ha contribuït a reduir-ne el contingut.

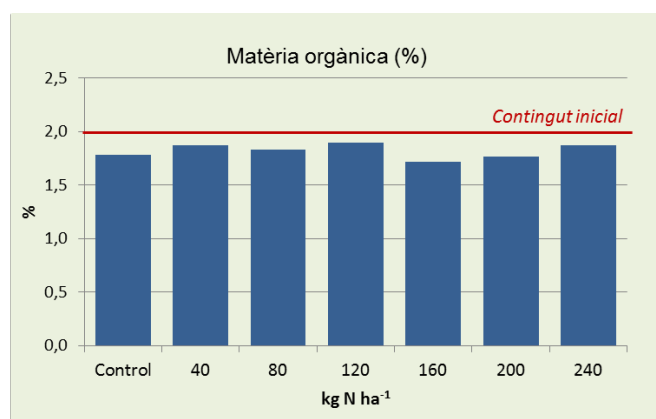


Figura 14. Contingut de matèria orgànica (%) (0-30 cm) al camp de Sant Martí Sesgueioles després de 5 anys d'estudi. Any 2011.

Evolució del contingut de fòsfor

En el cas del fòsfor, es va observar un comportament similar a la matèria orgànica. El contingut inicial era d'uns 13 mg kg^{-1} , i després d'aquests 5 anys, no van aparèixer diferències significatives entre els diferents tractaments, els quals van mostrar un contingut mitjà al voltant dels 10 mg kg^{-1} (Fig. 15). Per tant, igual que en el cas de la matèria orgànica, no es pot concloure que la dosi de fertilització nitrogenada influencis en el contingut de fòsfor del sòl. D'altra banda, sí que se'n va poder observar una disminució general, possiblement causada per les exportacions de fòsfor i per la falta de fertilització fosfòrica durant tots aquests anys.

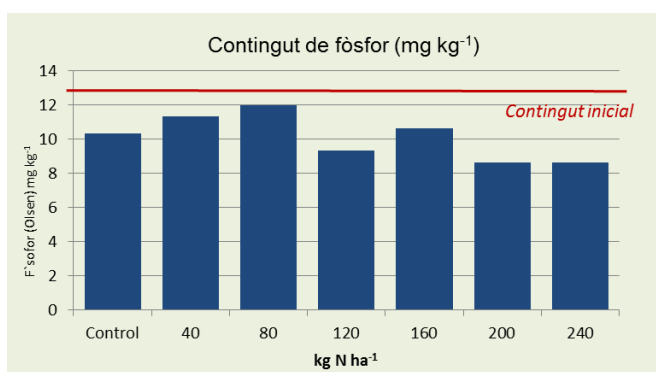


Figura 15. Contingut de fòsfor (P_2O_5) (mg kg^{-1}) (0-30 cm) al camp de Sant Martí Sesgueioles després de 5 anys d'estudi. Any 2011.

Evolució del contingut de potassi

El contingut inicial del camp era de 220 mg kg⁻¹, i després de 5 anys d'estudi, el contingut de potassi no va variar de forma important en les estratègies plantejades, ja que presentaven un contingut mitjà al voltant dels 210 mg kg⁻¹. A la figura 16 es pot observar una lleugera reducció del contingut de potassi a mesura que augmenta la dosi de fertilització nitrogenada, no obstant això, no van aparèixer diferències significatives entre les diferents dosis.

Durant aquests 5 anys, el cultiu va extraure quantitats importants de potassi, però tot i així, a través de la incorporació de la palla i l'aplicació potàssica mineral de la campanya 2009-10, es van mantenir els nivells de potassi força constants. Per tant, es pot concloure que mitjançant el maneig dut a terme durant aquests anys, la fertilització nitrogenada no va influenciar en la variació del contingut de potassi al sòl.

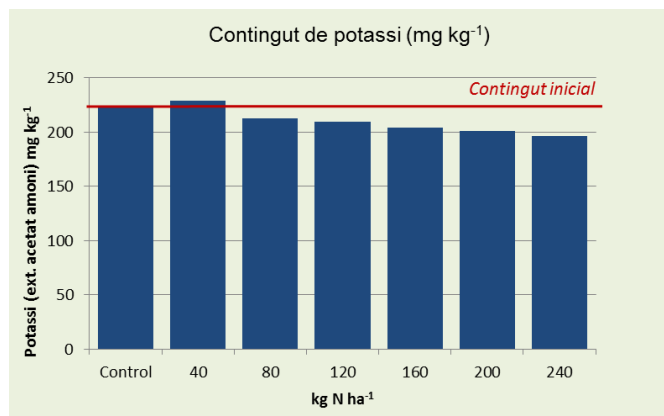


Figura 16. Contingut de potassi (K₂O) (mg kg⁻¹) (0-30 cm) al camp de Sant Martí Sesgueioles després de 5 anys d'estudi. Any 2011.

3.8. Qualitat del gra

El maneig del nitrogen influeix en el pes específic i contingut de proteïna del gra, els quals són paràmetres importants dels components del rendiment i la qualitat.

Avui en dia, cada vegada es valora més la qualitat del gra comercialment, i cal tenir-la en compte segons el seu destí (pinso, indústria maltera, panificació, etc.). Per tant, cal adaptar la fertilització nitrogenada per aconseguir el gra que interessa, i així, donar un valor afegit a la nostra producció i augmentar els beneficis finals de l'explotació.

A l'hora de valorar la qualitat del gra, és important tenir en compte les condicions ambientals, la varietat i la disponibilitat de nitrogen, ja que hi ha estudis que demostren l'existència d'una relació de la qualitat amb la varietat i la dosi de fertilització nitrogenada (McKenzie *et al.* 2005).

En la campanya 2011-12 es va analitzar el contingut de proteïna de l'ordi per avaluar la influència de la fertilització nitrogenada sobre la seva qualitat. Es va observar que el contingut de proteïna augmentava a mesura que ho feia la dosi de fertilització nitrogenada (Fig. 17), no obstant això, les diferències van ser poc importants i solament en van aparèixer entre les dosis més altes i aquelles més baixes. Tot i així, es van observar valors força elevats (>13%) en tots els casos, possiblement a causa de les característiques de la zona i la pròpia campanya.

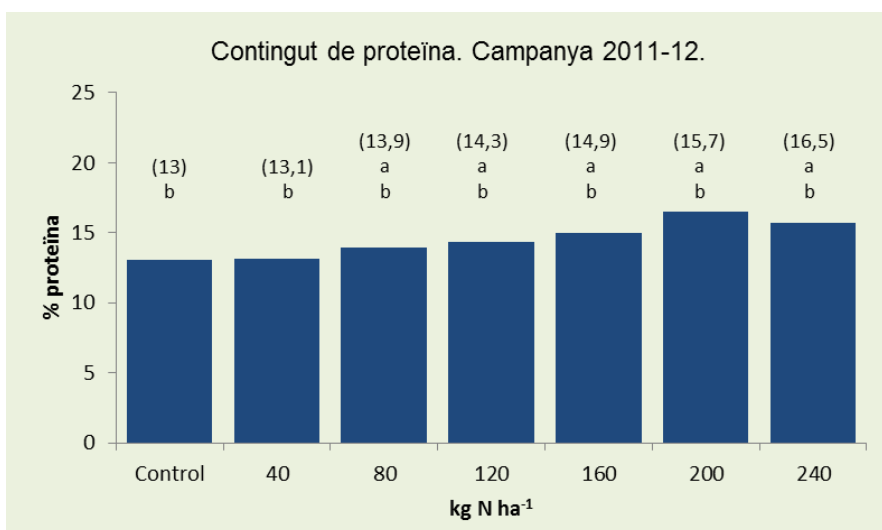


Figura 17. Contingut de proteïna (%) del gra al camp de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2011-2012. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una P<0.05.

Més enllà de la dosi de nitrogen que s'aplica, és important tenir en compte el moment en què s'aplica, tal i com destaca un estudi de González, E. *et al.* (2013), el qual demostra que aplicacions de nitrogen tardanes ajuden a millorar el contingut de proteïna del gra de blat i que dosis excessives de nitrogen maximitzen el contingut en proteïna, però no optimitzen la producció de gra ni el pes específic.

A més del contingut de proteïna, també es va estudiar el pes específic del gra durant totes les campanyes, i tot i que es va observar una tendència a disminuir en aquelles dosis de fertilització nitrogenada més altes, solament van aparèixer diferències significatives en la producció de la campanya 2008-09. Tot i així, en aquesta campanya solament les dosis més baixes (< 80 kg N ha⁻¹) van mostrar un pes específic més elevat que aquelles dosis més elevades (> 200 kg N ha⁻¹).

En la resta de campanyes no va aparèixer cap diferència significativa i, per tant, es pot concloure que la dosi de fertilització nitrogenada no va influir de forma important en el pes específic del gra durant la major part de campanyes estudiades. Possiblement, altres factors (varietat, clima, etc.) van afectar més al pes específic del gra, ja que van aparèixer diferències interanuals importants.

En general, el gra produït va mostrar un pes específic superior als 64 kg hl⁻¹ en totes les campanyes i totes les estratègies de fertilització.

3.9. Avaluació econòmica

L'objectiu principal de l'agricultura és la producció d'aliments i/o primeres matèries, però a la vegada, és imprescindible que sigui rendible econòmicament per a què tingui continuïtat i es pugui dur a terme. En moltes ocasions, la màxima producció d'una parcel·la no va lligada amb l'obtenció dels màxims beneficis, i per tant, és molt important realitzar una bona avaluació econòmica a nivell de parcel·la, comparar les alternatives de producció i escollir aquella que ofereixi els màxims beneficis a l'explotació.

En aquest apartat es comparen les diferents estratègies de fertilització nitrogenada del camp d'assaig des del punt de vista econòmic, és a dir, segons els beneficis que genera cadascuna si tenim en compte el potencial productiu de la zona.

La rendibilitat d'una estratègia de fertilització depèn de la producció que s'obtingui, del preu del cereal, del cost del fertilitzant i la seva aplicació. Per tant, tal i com es pot observar en la figura 18, les característiques de la campanya juguen un paper molt important en la productivitat de la parcel·la i en la rendibilitat de cada estratègia de fertilització.

Com s'ha dut a terme l'avaluació econòmica:

* S'ha suposat que totes les altres pràctiques de maneig (sembra, tractaments fitosanitaris, collita, etc.), tenen el mateix cost, independentment de l'estratègia de fertilització.

* Per al càlcul del cost de la fertilització s'ha tingut en compte el preu del fertilitzant mineral (Font: Preus pagats pel pagès. Catalunya 2005-2015. Generalitat de Catalunya. DARP (2015)) i el cost de l'aplicació (Font pròpia).

* Els ingressos s'han calculat segons la producció i el preu del cereal (Font: Preus percebuts pel pagès. Catalunya 2005-2015. Generalitat de Catalunya (2015)).

* **L'aportació econòmica de la fertilització és el resultat de la diferència entre els beneficis generats per una estratègia de fertilització i el tractament control (sense fertilització).**

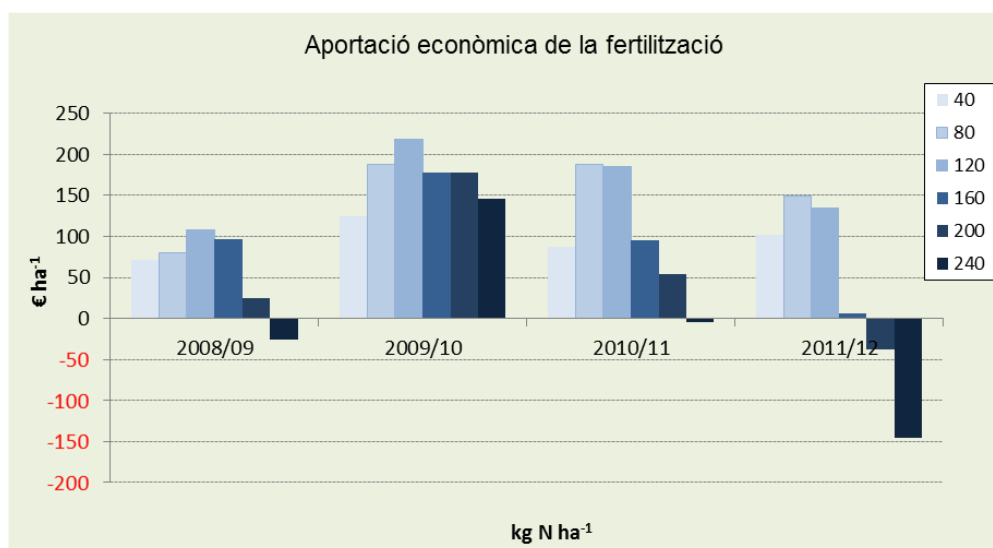


Figura 18. Aportació econòmica de les estratègies de fertilització al camp de Sant Martí Sesgueioles en el període 2008-2012.

Durant aquest període, es va observar la variació de la rendibilitat del cultiu en cada campanya i la importància d'ajustar la fertilització. Aquesta pot arribar a suposar el 35% dels costos totals de l'explotació (Lloveras, J. *et al.* 2015), i per tant, pot determinar la rendibilitat del cultiu, sobretot en aquelles campanyes poc productives, en què una fertilització nitrogenada excessiva pot generar pèrdues en els comptes de l'explotació.

A continuació s'exposen els resultats obtinguts en una campanya molt productiva (2009-10), una poc productiva (2011-12) i la mitjana de tots aquests anys que va durar l'estudi (2008-2012).

Campanya productiva 2009-2010. Any humit amb alta productivitat

Les condicions climàtiques de la campanya 2009-10 van permetre que el cultiu mostrés una resposta important a la fertilització nitrogenada, fet el qual va ajudar a aconseguir rendiments superiors als 5.000 kg gra ha⁻¹. I per tant, com mostra la figura 19, els beneficis generats per la fertilització van ser força elevats en totes les estratègies estudiades, fins hi tot en aquelles més altes.

En aquestes condicions, el màxim rendiment econòmic es va obtenir amb la dosi de 120 kg N ha⁻¹ (es van ingressar 218 € ha⁻¹ més que en el tractament control), tot i que no va mostrar diferències significatives amb l'aplicació de 80 kg N ha⁻¹. Ambdues van oferir una aportació econòmica major que la dosi de 40 kg N ha⁻¹, la qual cosa no es va donar quan es van aplicar dosis superiors a 120 kg N ha⁻¹.

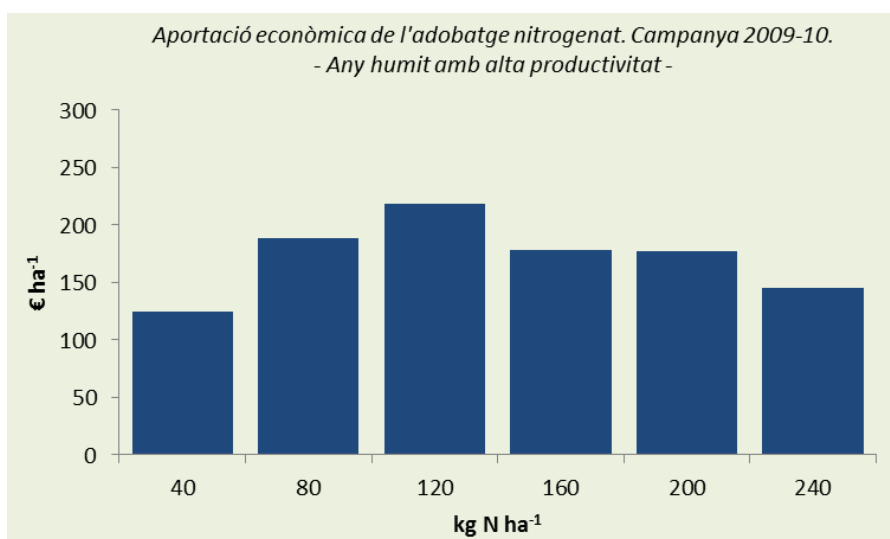


Figura 19. Aportació econòmica de les estratègies de fertilització del camp de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2009-2010. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una P<0.05.

Campanya 2011-12. Any sec amb baixa productivitat

En la campanya 2011-12 es va observar el cas contrari al punt anterior. Va ser un any en què la resposta del cultiu es va veure limitada per la climatologia i en el qual solament es van obtenir rendiments pròxims als 3.000 kg gra ha⁻¹. La falta de precipitació va limitar la resposta a la fertilització nitrogenada i va provocar que l'adobatge nitrogenat aportés menys beneficis a l'explotació. En alguns casos, fins hi tot va originar pèrdues econòmiques (Fig. 20), ja que l'augment del cost del fertilitzant no va ser compensat per l'augment del rendiment.

En aquesta campanya no van aparèixer diferències significatives importants a causa de la gran variabilitat que hi va haver entre els resultats obtinguts. No obstant això, es va observar que les estratègies amb una major aportació econòmica van ser les dosis de 40, 80 i 120 kg N ha⁻¹, i que les dosis més elevades quasi no van generar beneficis, o inclús, van ocasionar pèrdues econòmiques, com és el cas de les dosis superiors a 200 kg N ha⁻¹.

La fertilització té un paper molt important en la balança econòmica de la producció d'un cereal, ja que pot suposar el 35% dels costos totals (Lloveras, J. *et al.* 2015) i per tant, l'èxit d'una explotació pot dependre en gran part de la bona gestió que se'n faci.

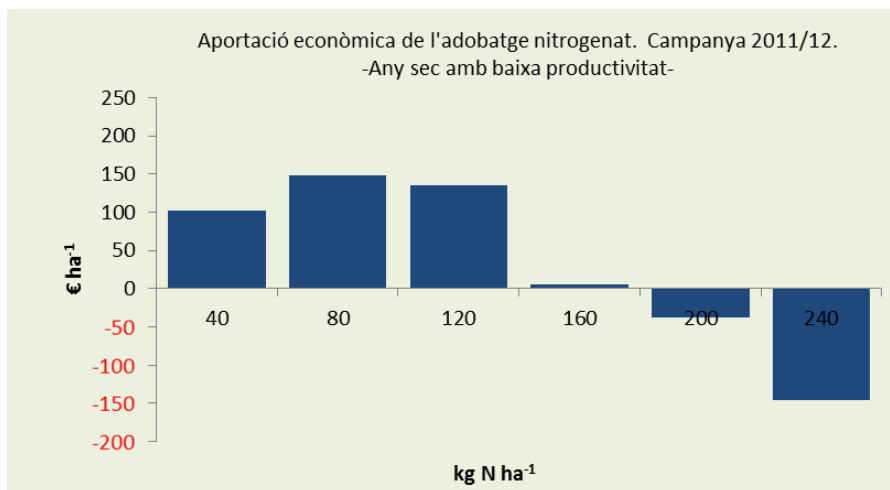


Figura 20. Aportació econòmica de les estratègies de fertilització del camp de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2011-2012. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

Mitjana del període 2008-2012

La climatologia és molt incerta i és difícil anticipar-se a l'hora d'escollir l'estratègia de fertilització més adequada per aconseguir els màxims beneficis. Per aquesta raó, és molt important observar la resposta del cultiu durant diverses campanyes, ja que ens pot ajudar a saber quina estratègia de fertilització garanteix els màxims beneficis.

A continuació es mostra l'aportació econòmica mitjana de cada estratègia de fertilització durant aquestes 4 campanyes (Fig. 21). Com s'ha vist anteriorment, hi ha hagut campanyes excepcionalment bones i altres molt poc productives, i per tant, els resultats poden ser útils per a conèixer quina estratègia de fertilització pot oferir uns resultats econòmics més bons i estables a llarg termini.

En aquest període es va observar que una dosi entre 80 i 120 kg N ha⁻¹ ja va ser suficient per aconseguir els màxims beneficis. A més, l'aplicació de 80 o 120 kg N ha⁻¹ van garantir unes aportacions econòmiques majors que les dosis més elevades, 200 i 240 kg N ha⁻¹.

Així doncs, es podria concloure que l'aplicació d'entre 80 i 120 kg N ha⁻¹ i any ja són suficients per aconseguir els millors resultats econòmics. Les previsions de collita marcaran si la dosi d'adobatge nitrogenat que caldria aplicar és més pròxima als 80 o 120 kg N ha⁻¹, aplicant valors pròxims als 80 kg N ha⁻¹ quan la previsió de collita sigui mitjana o baixa, i valors pròxims a 120 kg N ha⁻¹ quan es prevegi un rendiment igual o superior als 5000 kg gra ha⁻¹.

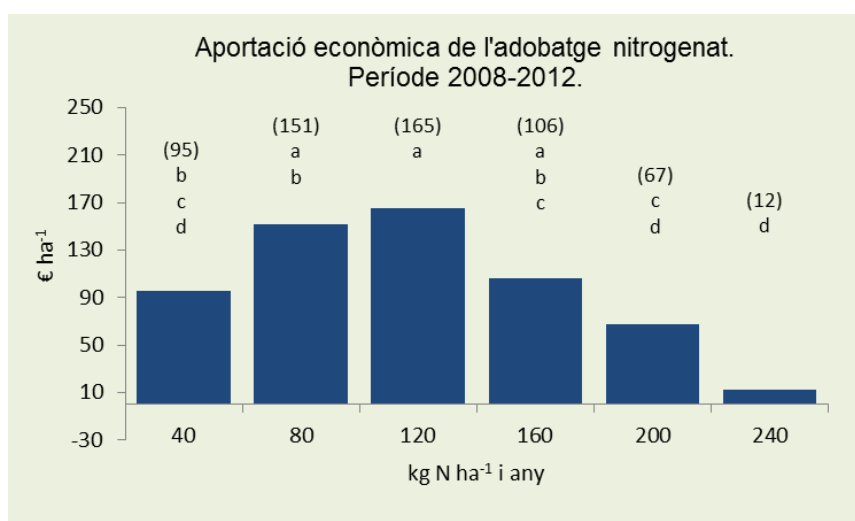


Figura 21. Aportació econòmica de les estratègies de fertilització del camp de Sant Martí Sesgueioles. Campanya 2008-2012. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament segons un test de comparació de mitjanes de Tukey amb una $P < 0.05$.

És imprescindible invertir (temps, assessorament tècnic, anàlisis,...) en realitzar una bona fertilització, ja que en la majoria d'ocasions els costos de la inversió seran menors que els beneficis que ens pugui aportar i, per tant, ens ajudarà a rendibilitzar encara més el nostre cultiu.

4. Conclusions

Dosi de nitrogen més adequada

L'aplicació de 80 - 120 kg N ha⁻¹ és suficient per aconseguir els màxims rendiments usuals de la zona. Les característiques climàtiques i la previsió de collita de la campanya definiran la dosi, aplicant al voltant de 80 kg N ha⁻¹ quan la previsió de collita sigui mitjana o baixa, i valors pròxims als 120 kg N ha⁻¹ quan es prevegi un rendiment més elevat (> 5000 kg gra⁻¹).



A més d'obtenir els màxims rendiments, mitjançant aquestes dosis també s'obtenen els millors resultats econòmics.



Conseqüències de l'adobatge nitrogenat sobre el contingut de nitrats del sòl



En un sòl profund i amb una CRAD moderada, l'aplicació d'una dosi superior als 80 kg N ha⁻¹ pot comportar una acumulació de nitrats al sòl important, la qual cosa podria tenir conseqüències negatives per al cultiu i medi ambient.



Les estratègies de fertilització més elevades (>120 – 160 kg N ha⁻¹) van mostrar un contingut de nitrats al sòl després de la collita superior als 100 kg N ha⁻¹ (0-90 cm de profunditat). Per tant, en aquestes condicions, podria ser un bon indicador per a conèixer si l'estratègia de fertilització que es segueix s'adapta a les necessitats del cultiu o és excessiva.

Eficiència en l'ús del nitrogen: Dosi més adequada per aconseguir el millor aprofitament de l'adob?

La màxima eficiència del nitrogen s'aconsegueix amb una dosi igual o menor a 80 kg N ha⁻¹. L'aplicació d'una dosi superior disminueix l'aprofitament de l'adob i provoquen una major acumulació de nitrats al sòl.



Eficiència en l'ús de l'aigua: Dosi més adequada per aconseguir el millor aprofitament de l'aigua

L'aplicació de 80 kg N ha⁻¹ ja garanteix el desenvolupament del cultiu necessari per aconseguir el millor aprofitament de l'aigua.

Influència del maneig de la palla en la fertilització del cereal

El maneig de la palla és molt important a l'hora d'establir l'estratègia de fertilització. El fet de deixar-la a la parcel·la pot suposar no extraure fins a un 35% del nitrogen i més del 80% del potassi absorbits pel cultiu. Per tant, pot contribuir a la fertilitat de la parcel·la i ajudar a estalviar en la fertilització.



Influència de la fertilització nitrogenada sobre la qualitat del gra

Una dosi de nitrogen elevada fa augmentar el contingut de nitrats al sòl i, consegüentment, el contingut de proteïna del gra. Tot i així, hi ha altres estratègies més sostenibles que permeten augmentar el contingut de proteïna del gra a la vegada que es disminueix el cost ambiental, per exemple, fraccionar la fertilització nitrogenada, prioritzar la cobertura i/o realitzar aportacions tardanes (al voltant de floració) (González, E. *et al* (2015)).



5. Referències bibliogràfiques

Cantero-Martínez C. Villar JM, Romagosa I., Fereres E. 1995. Nitrogen fertilization of barley under semi-arid rainfed conditions. European Journal of Agronomy, vol.4 n°3:309-316.

Cantero-Martínez, C.; Plaza-Bonilla, D.; Ovejero, J.; Morell, F.J.; Álvaro-Fuentes, J. (2012). Optimizing tillage and fertilization in mediterranean rainfed areas. 19TH ISTROInternational Soil and Tillage Research Organization Conference. CONFERENCE. Striving for Sustainable High Productivity. 24-28- September 2012. Montevideo. Uruguay.

Cantero-Martínez, C.; Tugues, J.; Murillo, G.; Puigpinós, E.; Nabau, C.; (2012). Fertilització agrària dels cereals d'hivern a la Catalunya central. Edicions de la Universitat de Lleida.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1989.) Caracterització agroclimàtica de la província de Barcelona (1989). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

González, E.; Roselló, A.; Geli, I.; Serra, J.; Domingo, F. (2013). Fertilización nitrogenada en cobertura y calidad del trigo para panificación. Vida Rural, n356. Págs. 20-25.

Lloveras, J.; Angels, M^a. (2014) Avaluació dels costos de producció de cultius extensius en secà i regadiu. Dossier tècnics 69 Costos en l'agricultura. Generalitat de Catalunya.

McKenzie R.H.; Middleton, A.B.; Bremer E. (2005). Fertilization, seeding date, and seeding rate for malting yield and quality in Southern Alberta. Canadian journal of Plant Science. 85(3): 603-614, 10.4141/P04-152

Porta, J.; López-Acevedo, M. (2005). Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed.Mundi Prensa.

Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (2015). Preus pagats pel pagès. Catalunya 2005-2015. Generalitat de Catalunya. DARP.

Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (2015). Preus percebuts pel pagès. Catalunya 2005-2015. Generalitat de Catalunya. DARP.

Reaul, R.; Gigandon, C.; Bouthier, A.; Dupont, J. (1999). Nitrate losses in western european oilseed rape – cereal rotation. New Horizons for an Old Crop. Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress, Canberra Australia. <http://www.regional.org.au/au/gcirc/2/341.htm>

**Per qualsevol CONSULTA RELACIONADA AMB EL CONTINGUT D'AQUEST DOCUMENT
posis en contacte amb:**

Oficina de fertilització i tractament de dejeccions ramaderes

Tel. 973 220868

Correu electrònic: fertilització.daam@gencat.cat

Autors/es: Jordi Tugues – jordi.tugues@gencat.cat

i

Elena Puigpinós

Gemma Murillo

Josep Maria Llop

Carlos Ortiz

Núria Canut

Albert Piñol

Carlos Cantero-Martínez



Generalitat de Catalunya
**Departament d'Agricultura,
Ramaderia, Pesca i Alimentació**



Oficina de fertilització i tractament
de dejeccions ramaderes

<http://www.ruralcat.net/web/guest/oficina-de-fertilitzacio>