



Beta

Biodiversitat, Ecologia,
Tecnologia Ambiental i Alimentària



UNIVERSITAT DE VIC
UNIVERSITAT CENTRAL
DE CATALUNYA



Generalitat
de Catalunya

Estratègies de fertilització en sistemes de doble cultiu en condicions de secà a la Plana de Vic (Osona)

Document tècnic sobre un assaig experimental
de llarga durada (2006-2024)

Autors dels continguts:

Carme Casas Arcarons, Centre Tecnològic BETA.
Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya
(carme.casas@uvic.cat)

Jonatan Ovejero García. Centre Tecnològic BETA.
Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya
(jonatan.ovejero@uvic.cat)

Xavier Serra Jubany. Centre Tecnològic BETA.
Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya
(xavier.serra@uvic.cat)

Ezequiel Arqué Moreno. Oficina de fertilització i tractament de dejeccions ramaderes, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (ezequielarque@gencat.cat)

Carlos Ortiz Gama. Oficina de fertilització i tractament de dejeccions ramaderes, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (carlos.ortiz@gencat.cat)

Aquest treball s'ha de citar com:

Casas, C., Ovejero, J., Serra, X., Arqué, E., Ortiz, C. (2024) Estratègies de fertilització en sistemes de doble cultiu anual en condicions de secà a la Plana de Vic (Osona). Centre Tecnològic BETA (UVic-UCC). Vic, 84 pàgines.

Finançament:

L'edició i publicació d'aquest document ha estat finançada a través de l'operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de Desenvolupament Rural de Catalunya 2014-2022. Els resultats presentats en aquest treball s'han obtingut gràcies al finançament efectuat pel Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació que ha permès el manteniment i l'execució de l'assaig experimental de llarga durada (2006-2024).



Centre Tecnològic BETA
Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya
Edifici Can Baumann
Ctra de Roda, 70. 08500 Vic
+34 93 881 61 68
info.beta@uvic.cat
www.betatechcenter.com

© 2024, Centre Tecnològic BETA (Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya) i Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (DARPA).

Fotografies: Carme Casas, Jonatan Ovejero,
Disseny: Duplex Creativity www.duplexcreativity.com



Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de llicència pública Creative Commons. Es pot reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada. Es pot trobar una còpia completa dels temes d'aquesta llicència a l'adreça: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/>

Amb el finançament de:



Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals



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

Oficina de fertilització i tractament de dejeccions ramaderes
Av. Alcalde Rovira Roure, 191 / 25198 Lleida
+34 973 22 08 68
fertilitzacio.agricultura@gencat.cat
<http://ruralcat.net/web/guest/oficina-de-fertilitzacio>

Resum

A la comarca d'Osona, és habitual la rotació farratgera de dos cultius en un any, principalment en les explotacions ramaderes de boví. La possibilitat d'obtenir una segona collita cada any redueix la dependència del sector agrícola i ramader de fonts externes, permet augmentar potencialment la productivitat de les terres agrícoles, i reduir la pressió de tractar les dejeccions ramaderes en ser possible l'aplicació directa, afavorint els principis de l'economia circular.

Actualment, la majoria de municipis de la comarca d'Osona són designats com a zones vulnerables amb relació a la contaminació per nitrats procedents de fonts agràries. En aquestes zones, és especialment rellevant gestionar adequadament l'excés de nutrients per tal de revertir la tendència d'afectació a les aigües subterrànies. Segons indica el Decret 153/2019, a Osona, no es poden superar els 170 kg N/ha i any provinents de fertilitzants orgànics.

Amb l'objectiu de promoure pràctiques de fertilització racionals i una correcta gestió de les dejeccions ramaderes, el DARPA va implementar el Pla per a la millora de la fertilització agrària a Osona. En aquest context, conjuntament amb la Universitat de Vic, l'any 2006 es va iniciar un assaig de llarga durada de fertilització amb purí de porc en sistemes de doble cultiu anual, implementat en condicions de secà a la Plana de Vic. La finalitat de l'assaig ha consistit en avaluar si la dosi de nitrogen establerta a la normativa és un factor limitant per a la producció en les rotacions de doble cultiu anual, en una zona on la disponibilitat d'aigua se situa al llindar que permet aquesta segona collita.

La realització d'aquest assaig respon a la necessitat del sector de disposar d'informació, sobre quines són les necessitats reals de nutrients dels cultius en els sistemes de doble cultiu anual en condicions de secà i quina és l'estratègia de fertilització òptima en aquests sistemes que facin compatible la rendibilitat econòmica i els efectes mediambientals que poden comportar els excedents de nutrients.

En l'assaig, ubicat a Torelló (Osona), s'hi han avaluat diferents estratègies de fertilització durant 18 campanyes (2006-2024), en una rotació farratgera

de dos cultius anuals (un cereal d'estiu i un cereal d'hivern). L'estudi s'ha centrat, per una banda, en els efectes que tenen els diferents nivells d'adobatge sobre el rendiment agronòmic i la qualitat farratgera dels cultius en les rotacions de doble collita anual. Per una altra banda, s'ha focalitzat en els efectes que comporta l'ús continuat de purí de porc com a fertilitzant, en l'evolució del contingut de nitrats en el sòl i en altres paràmetres relacionats amb la qualitat del sòl.

La lixiviació de nitrats ha tingut una importància cabdal en la regulació de les normes de fertilització i en la gestió de les dejeccions ramaderes durant les últimes dècades. No obstant això, en els darrers anys, altres preocupacions en matèria de sostenibilitat agrícola han passat al primer pla, com els continguts de fòsfor, potassi, metalls pesats i matèria orgànica. El document inclou també una avaluació de com ha afectat la fertilització continuada amb purins en aquests paràmetres.

Aquest document tècnic inclou una síntesi dels resultats i les conclusions obtingudes en aquest assaig de llarga durada (2006-2024) i es recullen les recomanacions específiques per a la fertilització de les rotacions de doble cultiu anual a la Plana de Vic en condicions de secà.

Els resultats evidencien que, en el context de canvi climàtic actual, atenent a les condicions climàtiques particulars de la Plana de Vic i a les característiques dels sòls on s'ha fet l'assaig, el cultiu d'estiu serà cada vegada menys viable i la dosi de 170 kg N/ha i any sembla ser la més adequada per assegurar uns rendiments de collita òptims i, alhora, per minimitzar el risc de lixiviació de nitrats i l'acumulació de fòsfor en el sòl. Aquesta conclusió no seria extrapolable a aquelles zones que, per les característiques edàfiques o la posició fisiogràfica, tenen una major disponibilitat d'aigua durant el període d'estiu. En els anys de sequeres més severes, caldria, fins i tot, reduir aquesta dosi de 170 kg N/ha.



01

— pàg.7

Introducció i objectius



03

— pàg.23

Dades meteorològiques

- 3.1 Temperatura
- 3.2 Pluviometria



02

— pàg.11

Metodologia

- 2.1 Disseny experimental i estratègies de fertilització
- 2.2 Maneig i pràctiques agronòmiques
- 2.3 Mostreig i anàlisi
 - 2.3.1 Material Vegetal
 - 2.3.2 Sòl
 - 2.3.3 Dejeccions ramaderes
- 2.4 Indicadors agroambientals
 - 2.4.1 Balanç de nutrients
 - 2.4.2 Eficiència en l'ús del nitrogen
- 2.5 Anàlisi estadística



04

— pàg.31

Resultats argonòmics

- 4.1 Rendiment
- 4.2 Extraccions de nutrients
 - 4.2.1 Extraccions de nitrogen
 - 4.2.2 Extraccions de fòsfor i potassi
- 4.3 Qualitat farratgera



05

— pàg.51

Dinàmica de nutrients al sòl

5.1 Contingut i dinàmica dels nitrats al sòl

5.2 Fertilitat del sòl

5.2.1 Matèria orgànica

5.2.2 Nitrogen total

5.2.3 Fòsfor assimilable

5.2.4 Potassi assimilable

5.3 Coure i zinc



06

— pàg.65

Avaluació agroambiental

6.1 Balanç de nutrients

6.2 Eficiència en l'ús del nitrogen

6.3 Nitrogen i fòsfor residuals al sòl



07

— pàg.71

Valoració final de les estratègies

7.1 Conclusions

7.2 Recomanacions

7.2.1 Fertilització nitrogenada

7.2.2 Moment i distribució del fertilitzant

7.2.3 Fertilització fosfòrica i potàssica



08

— pàg.79

Bibliografia i agraïments



01

Introducció i objectius

1. Introducció i objectius

Osona és una comarca amb una elevada activitat ramadera, amb una producció porcina intensiva, on la destinació habitual de les dejeccions generades és l'aplicació agrícola com a fertilitzant, probablement pel fet que és l'opció més econòmica. El volum de nutrients de les dejeccions ramaderes generades supera la capacitat que té el sistema agrícola per reciclar-los adequadament, cosa que comporta tenir excedents de nitrogen en aquesta comarca. Això ha donat lloc al fet que Osona hagi estat declarada com a zona vulnerable en relació amb la contaminació per nitrats procedents de fonts agràries.

Per evitar problemes ambientals derivats d'aquest excedent de nitrogen és necessari optimitzar la fertilització nitrogenada provinent de dejeccions ramaderes. Segons la normativa catalana sobre la fertilització i la gestió de les dejeccions (Decret 153/2019), la dosi màxima anual de nitrogen permesa que es pot aplicar amb fertilitzants orgànics a les zones vulnerables és de 170 kg N/ha i any.

Les condicions climàtiques particulars de la comarca d'Osona, amb clima submediterrani, i pluviometria mitjana anual entre 600 i 700 mm, permeten implementar rotacions farratgeres de doble cultiu anual en condicions de secà. En aquestes rotacions es combina habitualment un cereal d'hivern (ordi, blat o triticle) i un cereal d'estiu (blat de moro, sorgo o mill), ambdós cultius destinats a farratge. Aquesta pràctica és freqüent a la comarca d'Osona, sobretot a les explotacions de boví.

Atès el caràcter singular que tenen aquestes explotacions on es fa el doble cultiu anual, cal fer una gestió adequada de les dejeccions ramaderes i del seu ús en la fertilització.

En el marc del Pla per a la millora de la fertilització agrària a Osona, el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació i el Centre Tecnològic BETA de la UVic-UCC han portat a terme un assaig de fertilització durant 18 anys (2006-2024) en una parcel·la ubicada al terme municipal de Torelló, per avaluar els efectes de la fertilització amb purí de porc en els sistemes de doble cultiu anual en condicions de secà (Ovejero et al., 2016; 2022).

L'assaig s'ha centrat, per una banda, en avaluar els efectes que els diferents nivells d'adobatge tenen en el rendiment agronòmic i en la qualitat farratgera dels cultius en un sistema de doble cultiu anual. I per una altra banda, s'ha focalitzat en conèixer l'evolució del contingut de nitrats en el sòl, donat el risc ambiental de lixiviació de nitrats que comporta l'ús del purí de porc com a fertilitzant, i també en els efectes dels diferents règims de fertilització sobre la qualitat del sòl, des del punt de vista físic, químic i biològic. La lixiviació de nitrats ha tingut una importància cabdal en la regulació de les normes de fertilització i en la gestió de les dejeccions ramaderes durant les últimes dècades. No obstant això, en els darrers anys hi ha altres preocupacions en matèria de sostenibilitat agrícola que han passat al primer pla, com són els continguts de fòsfor, potassi, metalls pesants, i de matèria orgànica.

Els resultats obtinguts en l'assaig realitzat a llarg termini amb aportacions continuades de purí de porc com a fertilitzant permeten definir estratègies de fertilització sostenibles. En aquest document tècnic es recull la informació generada en l'assaig agronòmic durant gairebé dues dècades i es proposa l'estratègia de fertilització adequada per a les rotacions farratgeres de doble cultiu anual en condicions de secà a la Plana de Vic.

El camp d'assaig es va plantejar amb l'objectiu general d'avaluar els efectes a llarg termini de la fertilització orgànica amb purí de porc en rotacions de doble cultiu típiques de la zona, les quals acostumen a combinar la sembra de cereals d'hivern seguida de cereals d'estiu.

Per assolir l'objectiu general, es van dissenyar els objectius específics següents:

- Avaluar les limitacions i riscos del cultiu associats a la pluviometria a través de l'anàlisi de les dades climàtiques del període d'estudi.
- Avaluar els efectes de diferents dosis de fertilització nitrogenada amb purí de porc i adob mineral sobre la productivitat i la qualitat farratgera dels cultius.
- Estudiar el contingut i la dinàmica dels nitrats en el sòl, així com els efectes de la fertilització de llarga durada sobre la qualitat del sòl.
- Escollir la dosi òptima de fertilització entre les diferents estratègies de fertilització plantejades.

Per donar resposta a aquests objectius, el present document finalitza amb un recull de recomanacions, específiques per a les condicions de secà de la Plana de Vic, sobre pràctiques de fertilització raonables en rotacions de doble cultiu farratger anual.





02

02

Metodologia

2.1 Disseny experimental i estratègies de fertilització	12
2.2 Maneig i pràctiques agronòmiques	16
2.3 Mostreig i anàlisi	17
2.4 Indicadors agroambientals	20
2.5 Anàlisi estadística	20

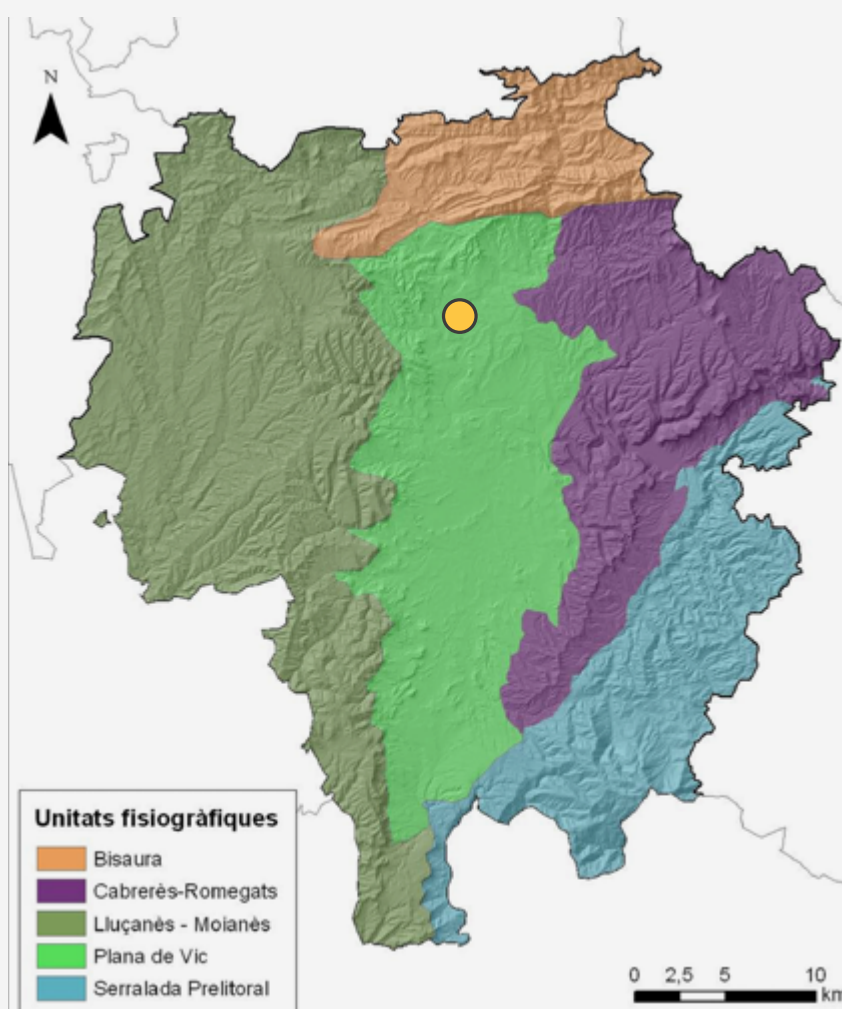
2. Metodologia

2.1 Disseny experimental i estratègies de fertilització.

L'assaig de fertilització a llarg termini s'ha realitzat en un camp del municipi de Torelló a la comarca d'Osona (coordenades UTM: X:438315 / Y:4654020), a l'extrem nord-est de la depressió central de Catalunya (Figura 1). Aquesta zona presenta un clima submediterrani, de muntanya mitjana, amb tendència continental. La temperatura mitjana anual no supera els 13°C i la precipitació mitjana anual és al voltant de 700 mm. El sòl del camp d'assaig és calcari, de pH moderadament bàsic i de textura franca.

Figura 1

**Unitats fisiogràfiques de la comarca d'Osona. (Font: Baltiérrez, 2012).
Punt groc: localització del camp d'assaig.**



En aquest assaig s'ha fet una rotació de conreus de doble cultiu anual, combinant la sembra d'un cereal d'hivern amb un cereal d'estiu, ambdós cultius destinats a farratge.

Durant els anys de l'assaig s'han fet diferents canvis en base als resultats parcials obtinguts amb l'objectiu de millorar certs aspectes, entre els quals destaquen el canvi de cultius en la rotació, el fraccionament de la fertilització i el moment d'aplicació.

Durant el període 2006-2012, es va fer la rotació de triticle (cereal d'hivern) i blat de moro (cereal d'estiu), i des del 2012 fins al 2024 es va combinar ordi (cereal d'hivern) i sorgo (cereal d'estiu).

Durant tots els anys, s'han realitzat tres tractaments de fertilització orgànica amb purí de porc d'engreix, i fracció líquida de purí de porc al darrer període, a més del control (testimoni, sense fertilitzar amb nitrogen). A partir de l'any 2017, es va introduir un altre assaig de fertilització exclusivament mineral, avaluant tres dosis de fertilització nitrogenada i un tractament control sense fertilitzar.

Al llarg de tot el període, es van avaluar els diferents tractaments en 4 estratègies de fertilització, segons els tipus de cultiu de la rotació i el tipus de fertilitzant aplicat (Taula 1 i Figura 2).

El disseny experimental de l'assaig es basa en la distribució de 6 blocs en el camp completament aleatoritzats, 3 per a la fertilització amb purí de porc i 3 per a l'adob mineral, en forma de sulfat amònic amb una riquesa del 21% (Figura 3). Les parcel·les utilitzades en l'aplicació de purí tenen una superfície de 480 m² (12 x 40 m) i les parcel·les de l'adob mineral, tenen una superfície de 144 m² (12 x 12 m).

En les dues rotacions (blat de moro–triticle i sorgo–ordi), a les parcel·les control (T0), on no hi va haver aplicació de fertilitzant orgànic, s'hi va aplicar anualment 80 kg de K /ha en fons abans de la sembra del cultiu d'estiu.

Taula 1

Distribució de les aportacions de nitrogen teòriques en cadascun dels tractaments de fertilització amb purí de porc d'engreix (període 2006-2017), amb fracció líquida de purí i adob mineral (període 2017-2024).

ROTACIÓ (PERÍODE)	ADOB	TRACTAMENT	APORTACIONS DE NITROGEN			
			TOTAL ANUAL (kg N/ha)	CULTIU D'ESTIU	CULTIU D'HIVERN	
				Fons (kg N/ha)	Fons (kg N/ha)	Cobertura (kg N/ha)
Blat de moro- Triticle (2006-2012)	Purí de porc	T0	0	0	0	-
		T1	170	170	0	-
		T2	250	170	80	-
		T3	330	250	80	-
Sorgo-Ordi (2012-2017)	Purí de porc	T0	0	0	-	0
		T1	170	170	-	0
		T2	250	170	-	80
		T3	330	250	-	80
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Fracció líquida de purí de porc	T0	0	0	-	0
		T1	170	70	-	100
		T2	250	100	-	150
		T3	330	130	-	200
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Mineral (Sulfat amònic 21%)	M0	0	0	-	0
		M1	90	40	-	50
		M2	170	70	-	100
		M3	250	100	-	150



Figura 2

Imatges del camp d'assaig i dels cultius implantats en les rotacions de l'assaig.

Blat de Moro-Triticale (2006-2012)



Blat de moro



Triticale

Sorgo-Ordi (2012-2024)



Sorgo



Ordi

Figura 3

Disposició en el camp d'assaig dels 3 blocs amb les 4 parcel·les tractades amb purí o la fracció líquida (FL) (T0, T1, T2 i T3) i dels tres blocs dels tractaments amb adob mineral (M0, M1, M2 i M3).



2.2 Maneig i pràctiques agronòmiques

Les pràctiques agronòmiques realitzades a l'assaig van ser les habituals a la zona per a sistemes productius de maneig convencional. Posteriorment a la collita dels cultius, tant el d'hivern com el d'estiu, es va realitzar una labor superficial del camp amb cultivador per incorporar el rostoll. A continuació, es van aplicar els adobs corresponents a cada tractament i, seguidament, es va tornar a fer una passada superficial del cultivador per tal d'incorporar-los i preparar el llit de sembra. La sembra dels cultius es va realitzar amb una sembradora pneumàtica amb curra incorporada al tren de sembra. Les varietats sembrades van ser les utilitzades habitualment a la zona.

Durant el primer període, des del 2006 fins al 2012, l'aplicació del purí es va fer amb una cisterna i un plat que el distribuïa en forma de ventall. A partir del 2012, l'aplicació del purí i de la fracció líquida de purí es va fer amb un sistema de mànegues o tubs penjants acoblat a la cisterna (Figura 4). La dosificació de cada tractament s'obtenia amb un ajust de la velocitat del tractor en funció de la concentració de nitrogen del purí o de la fracció líquida, segons el període, en tots dos casos estimada mitjançant l'ús d'un conductímetre.

L'aplicació dels fertilitzants minerals es va realitzar manualment.

Figura 4

Aplicació en cobertura del cereal d'hivern del fertilitzant orgànic (purí i fracció líquida) mitjançant el sistema de tubs penjants acoblats a la cisterna.



2.3 Mostreig i anàlisis

2.3.1 Material Vegetal

La collita del cereal d'hivern (ordi o triticale) i del cereal d'estiu (blat de moro o sorgo) es va fer amb una segadora-picadora convencional de 5,25 m d'amplada amb balança incorporada. La superfície segada ha estat de 416 m² (40 m de llarg x 5,20 m d'ampla x 2 passades) a les parcel·les dels tractaments amb purí o amb fracció líquida i de 124,8 m² (12 m de llarg x 5,20 m d'ampla x 2 passades) a les parcel·les d'adob mineral. De cada parcel·la es va recollir una mostra de material vegetal fresc que, posteriorment, es va assecat al laboratori, en una estufa d'aire forçat, a 60°C durant 48 hores, per determinar el percentatge de matèria seca. Els resultats s'expressen en quilograms de matèria fresca i matèria seca per hectàrea.

En cadascuna de les collites realitzades, a partir de la mostra seca triturada, es va analitzar la composició mineral i la qualitat farratgera de cada cultiu. Els paràmetres analitzats van ser els següents: contingut de matèria seca, nitrogen, fòsfor, potassi, midó, proteïna bruta (PB), proteïna digerible (PD), fibra bruta (FB), fibra àcid detergent (FAD), fibra neutre detergent (FND) i lignina àcida detergent (LAD).

Les anàlisis de la composició mineral i la qualitat farratgera es van efectuar mitjançant el mètode d'espectrometria d'infraroig proper (NIR), a excepció del fòsfor i del potassi que es van determinar per espectroscòpia d'emissió atòmica per plasma d'inducció acoblat (ICP-AES). Les mostres que van donar lloc a valors fora de la recta de calibratge del NIR es van determinar mitjançant el mètode convencional (mètode Kjeldhal per al nitrogen i gravimètric per a les fibres i lignines). La proteïna bruta (PB) es va calcular multiplicant el percentatge de nitrogen total per la constant 6,25.

Les extraccions de nitrogen, fòsfor i potassi, expressades en quilograms d'unitat fertilitzant per hectàrea, van ser calculades multiplicant el rendiment del cultiu per la composició dels respectius nutrients de cadascuna de les mostres.

2.3.2 Sòl

A l'inici de l'assaig (any 2006), es va fer una caracterització físicoquímica completa del sòl, a tres profunditats (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) per conèixer el punt de partida de les parcel·les que es fertilitzarien amb purí o amb fracció líquida. Posteriorment, l'any 2017, es va efectuar una caracterització similar per a les parcel·les on es varen fer els tractaments amb adob mineral, adjacents a la resta de l'assaig (Figura 3). Els paràmetres analitzats van ser els següents: pH, CE, textura, CRAD (capacitat de retenció d'aigua disponible), matèria orgànica, nitrogen, fòsfor, potassi, calci, magnesi, CIC (capacitat d'intercanvi catiònic), cations de canvi, carbonat càlcic i metalls pesants.

Posteriorment, els anys 2011, 2016, 2021 i 2023, es van determinar certs paràmetres relacionats amb la fertilitat del sòl (matèria orgànica, nitrogen total, fòsfor, potassi), així com metalls pesants (coure i zinc), per observar la seva evolució al llarg dels anys. Les mostres es van obtenir de la capa superior del sòl (0-30cm).

El nitrogen total es va determinar pel mètode Kjeldahl, el fòsfor assimilable (Olsen) per espectrofotometria UV-VIS, el potassi assimilable, el coure i el zinc

per espectrometria ICP-OES i la matèria orgànica per titulació potenciomètrica (mètode Walkley-Black). Durant tot l'assaig es va fer el seguiment del contingut de nitrogen nítric (nitrats) en el sòl. El mostreig es va realitzar després de cada collita (al juny i a l'octubre) i abans de l'aplicació del fertilitzant en cobertura (al febrer). A cada parcel·la es van mostrejar 3 punts escollits a l'atzar i a 3 profunditats: 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm. De cada parcel·la es va obtenir una sola mostra composta per cada profunditat.

2.3.3 Dejeccions ramaderes

De cada cisterna de purí aplicada se'n va extreure una mostra per analitzar-ne la seva composició al laboratori. A partir dels resultats obtinguts, s'ha calculat la dosi real de nitrogen aplicada a cada tractament.

El purí aplicat durant la primera rotació (2006-2012) era el més concentrat, amb un elevat contingut de matèria orgànica, de nitrogen i de fòsfor (Taula 2). En canvi el purí que es va aplicar en la segona rotació (2012-2017) era més líquid, amb un contingut menor de matèria orgànica i de fòsfor. La composició de la fracció líquida aplicada els darrers anys, va resultar ser molt variable i, de mitjana, va donar valors molt similars al purí aplicat en el període anterior, tant en els continguts de matèria orgànica, nitrogen, fòsfor i potassi, com en la relació de N/P i N/K (Taula 2).

Les dosis reals de nitrogen aplicades amb els purins es van ajustar força a les dosis teòriques (Taula 3). Per contra, les dosis de fracció líquida de purí aplicades van ser superiors a les previstes degut, probablement, a una elevada variabilitat en la composició, fins i tot, entre les diferents cisternes aplicades el mateix dia, juntament amb la dificultat de treballar amb maquinària comercial en parcel·les relativament petites.

Taula 2

Composició mitjana del purí i la fracció líquida de purí en les diferents rotacions al llarg de l'assaig. Els valors corresponen a la mitjana de les cisternes aplicades en cada període; entre parèntesi els valors mínims i màxims.

PARÀMETRES	PURÍ DE PORC		FRACCIÓ LÍQUIDA de purí de porc
	Blat de moro-Triticale (2006-2012)	Sorgo-Ordi (2012-2017)	Sorgo-Ordi (2017-2024)
Matèria seca (% s.m.f)	6,9 ± 2,5 (2,8 - 10,8)	3,7 ± 1,6 (1,7 - 6,4)	2,6 ± 2,5 (0,6 - 9,3)
CE a 25 °C (dS/m)	21,7 ± 3,9 (16,1 - 31,2)	21,9 ± 3,2 (19,2 - 29,0)	15,8 ± 4,2 (5,3 - 24,9)
pH aigua (1:5)	8,4 ± 0,3 (7,9 - 8,7)	8,4 ± 0,2 (8,0 - 8,7)	8,4 ± 0,2 (8,0 - 8,7)
Matèria orgànica (% sms)	70,2 ± 4,25 (60,4 - 76,3)	59,8 ± 5,8 (50,9 - 66,9)	55,9 ± 9,8 (35,7 - 70,7)
Nitrogen total (kg N/m³)	6,9 ± 2,5 (2,8 - 10,8)	3,7 ± 1,6 (1,7 - 6,4)	2,6 ± 2,5 (0,6 - 9,3)
Nitrogen amoniacal (kg N/m³)	5,1 ± 1,9 (2,5 - 8,9)	3,5 ± 0,7 (2,7 - 5,2)	2,8 ± 1,6 (0,7 - 7,0)
Fòsfor (kg P/m³)	3,4 ± 0,8 (2,1 - 4,4)	2,8 ± 0,2 (2,2 - 3,0)	2,0 ± 1,0 (0,5 - 4,7)
Potassi (kg K/m³)	2,8 ± 1,0 (1,4 - 4,5)	2,2 ± 0,23 (1,7 - 2,4)	1,7 ± 1,0 (0,1 - 4,3)
N/P	3,3 (1,9-9,8)	4,1 (3,4-23,6)	3,5 (1,8-33,6)
N/K	1,5 (1,4-2,4)	1,7 (0,8-2,4)	1,6 (0,5-5,8)

Taula 3

Distribució de les quantitats reals mitjanes de nitrogen aportades amb els diferents tractaments avaluats, per als diferents períodes de l'assaig.

ROTACIÓ (PERÍODE)	ADOB	TRACTAMENT	APORTACIONS DE NITROGEN			
			TOTAL ANUAL (kg N/ha)	CULTIU D'ESTIU	CULTIU D'HIVERN	
				Fons (kg N/ha)	Fons (kg N/ha)	Cobertura (kg N/ha)
Blat de moro- Triticale (2006-2012)	Purí de porc	T0	0	0	0	-
		T1	176	176	0	-
		T2	288	176	112	-
		T3	429	317	112	-
Sorgo-Ordi (2012-2017)	Purí de porc	T0	0	0	-	0
		T1	148	148	-	0
		T2	253	148	-	105
		T3	354	249	-	105
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Fracció líquida de purí de porc	T0	0	0	-	0
		T1	214	76	-	138
		T2	316	138	-	178
		T3	391	142	-	249
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Mineral (Sulfat amònic 21%)	M0	0	0	-	0
		M1	90	40	-	50
		M2	170	70	-	100
		M3	250	100	-	150



2.4 Indicadors agroambientals

2.4.1 Balanç de nutrients

El balanç de nitrogen s'ha realitzat per a cadascun dels anys analitzats en cada rotació, tenint en compte el sumatori de les aportacions anuals i el nitrogen mineral disponible al sòl a l'inici de la campanya, així com les extraccions del cultiu i el nitrogen residual al sòl al final de la campanya. La fórmula simplificada que inclou els paràmetres mencionats és la següent:

$$\begin{aligned} & \text{N extret pel cultiu} + \text{N mineral del sòl després cultiu} \\ &= \text{N aportat amb els adobs} + \text{N mineral del sòl abans cultiu} \end{aligned}$$

El balanç del fòsfor i del potassi s'ha determinat tenint en compte les aportacions d'adobs i les extraccions de cada element.

$$\begin{aligned} & \text{P extret pel cultiu} = \text{P aportat amb els adobs} \\ & \text{K extret pel cultiu} = \text{K aportat amb els adobs} \end{aligned}$$

2.4.2 Eficiència en l'ús del nitrogen

La relació entre els quilograms de nitrogen que surten i entren del sistema sòl-planta, és a dir, entre les exportacions de farratge i els adobs aportats, permet estimar l'eficiència en l'ús del nitrogen (NUE, en anglès). El Panell d'Experts en Nitrogen (Oenema et al., 2015) va establir com a rang desitjable valors de NUE entre 50 i 90%. Per una banda, aquests llindars indiquen que, per sota del 50% d'eficiència en l'ús de nitrogen, les pràctiques agronòmiques associades no estan aprofitant tot el nitrogen incorporat al sòl, i poden provocar riscos mediambientals. Per una altra banda, el fet d'obtenir valors per sobre del 90% pot suposar que s'estigui empobrint el sòl.

2.5 Anàlisi estadística

S'ha utilitzat l'anàlisi de la variança ANOVA de 2 factors (tractament i any) per a l'anàlisi dels resultats de les variables analitzades (material vegetal i paràmetres edàfics) de cada cultiu i rotació. Quan es van detectar diferències significatives entre tractaments, es va realitzar una comparació múltiple de mitjanes segons el test de Duncan amb un interval de confiança del 95%. Les anàlisis estadístiques es van realitzar utilitzant el programari IBM SPSS software para Windows, versió 28.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).





03

03

Dades meteorològiques

3.1 Temperatura	24
3.2 Pluviometria	24

3. Dades meteorològiques

Un dels punts crítics per a una correcta implantació de les rotacions de dobles cultius anuals en la zona d'estudi, especialment rellevant en els cultius d'estiu, és la pluviometria. Per aquest motiu, s'han recopilat i analitzat les dades climàtiques de tot el període de l'assaig, des de l'inici al 2006 fins al 2024. Aquestes dades procedeixen de l'estació meteorològica de Torelló, propera al camp experimental, situada a 511 m d'altitud i pertanyent a l'Observatori de Torelló.

En el present treball també s'han incorporat les dades termopluviomètriques procedents de l'Atles Climàtic de Catalunya, concretament dels atles corresponents a les sèries climàtiques 1961-1990 i 1991-2020, elaborades pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC, 2024).

3.1 Temperatura

La temperatura mitjana anual en el període 2006-2024 (Taula 4) se situa dins de l'interval que oscil·la entre els 13 i 14 °C indicat a la sèrie climàtica per al període 1991-2020 (Figura 5). Si es comparen les dues sèries climàtiques corresponents als períodes 1961-1990 i 1991-2020 (Figura 5), s'observa com s'ha registrat un increment d'un grau a la zona de l'assaig, tot i que també s'entreveu que aquest increment es fa extensiu a tota la comarca.

Les diferències en la temperatura mitjana entre tots els anys de l'assaig van ser relativament petites. La temperatura mitjana anual més baixa es registrava l'any 2010 (12,0 °C), mentre que la més alta corresponia a l'any 2006 (14,4 °C).

3.2 Pluviometria

La precipitació anual mitjana de tot el període 2006-2024 va ser de 705 mm (Taula 4), dada que correspon a l'interval superior (650-700 mm) de la sèrie climàtica per al període 1991-2020 (Figura 6). No obstant això, si es comparen les sèries climàtiques d'ambdós períodes (1961-1990 vs 1991-2020) es pot observar una reducció en els registres de la pluviometria en aquesta zona (Figura 6).

La reducció de les precipitacions registrades si es comparen ambdues sèries climàtiques (1961-1990 vs 1991-2020) també es fa palesa durant els mesos d'estiu, tal i com indica la Figura 7. En aquest cas, la zona on s'ubica l'assaig rep de l'ordre de 20 mm menys en l'actual sèrie climàtica.

En termes generals, es visualitza una reducció de les precipitacions mitjanes anuals i estivals a tota la comarca d'Osona. Aquest fet, juntament amb una major evapotranspiració causada per les temperatures més elevades, agreuja la correcta implantació de qualsevol cultiu d'estiu a la zona.

Taula 4

Precipitació total anual i temperatura mitjana anual des del 2006 al 2024 i de la sèries climàtiques 1985-2006 i 2006-2024, a l'observatori de Torelló. En color vermell es destaquen els anys què la precipitació anual és inferior al llindar de 600 mm.

ANY	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓ (mm)
2006	14,4	540
2007	13,6	464
2008	12,8	938
2009	13,4	813
2010	12,0	857
2011	13,2	1077
2012	13,9	548
2013	13,0	807
2014	13,8	1135
2015	13,8	575
2016	13,8	702
2017	12,7	419
2018	12,6	1143
2019	13,1	419
2020	13,4	788
2021	12,9	409
2022	14,3	477
2023	13,7	521
2024	13,6	760
Mitjana període 2006-2024	13,4	705
Mitjana període 1985-2006	13,1	651

Taula 5

Precipitació total dels mesos dels cultiu d'estiu i d'hivern durant les campanyes de l'assaig i en les sèries climàtiques 1985-2006 i 2006-2024, a l'observatori de Torelló. En vermell es destaquen els anys en què la precipitació és inferior als valors de la mitjana de les series climàtiques.

CAMPANYA	CULTIU D'ESTIU		CULTIU D'HIVERN	
	Juny - Octubre (mm)	Juny-Juliol (mm)	Novembre - Maig (mm)	Abril-Maig (mm)
2006/07	314	59	241	61
2007/08	237	47	379	171
2008/09	448	265	377	275
2009/10	504	212	341	115
2010/11	524	181	333	178
2011/12	594	297	400	127
2012/13	312	32	374	164
2013/14	401	193	245	246
2014/15	752	382	371	112
2015/16	358	200	264	105
2016/17	379	82	329	131
2017/18	185	30	481	74
2018/19	586	136	212	243
2019/20	198	70	378	114
2020/21	420	241	259	104
2021/22	185	50	256	107
2022/23	225	58	209	113
2023/24	331	191	379	117
Mitjana període 2006-2024	386	151	315	142
Mitjana període 1985-2006	352	132	299	133

Figura 5

Temperatura mitjana anual a la comarca d'Osona (Font: elaborat a partir de les sèries climàtiques de Catalunya 1961-1990 i 1991-2020, proporcionades pel SMC). Punt groc, localització de l'assaig, les fletxes grogues indiquen l'interval de dades que corresponen a l'assaig.

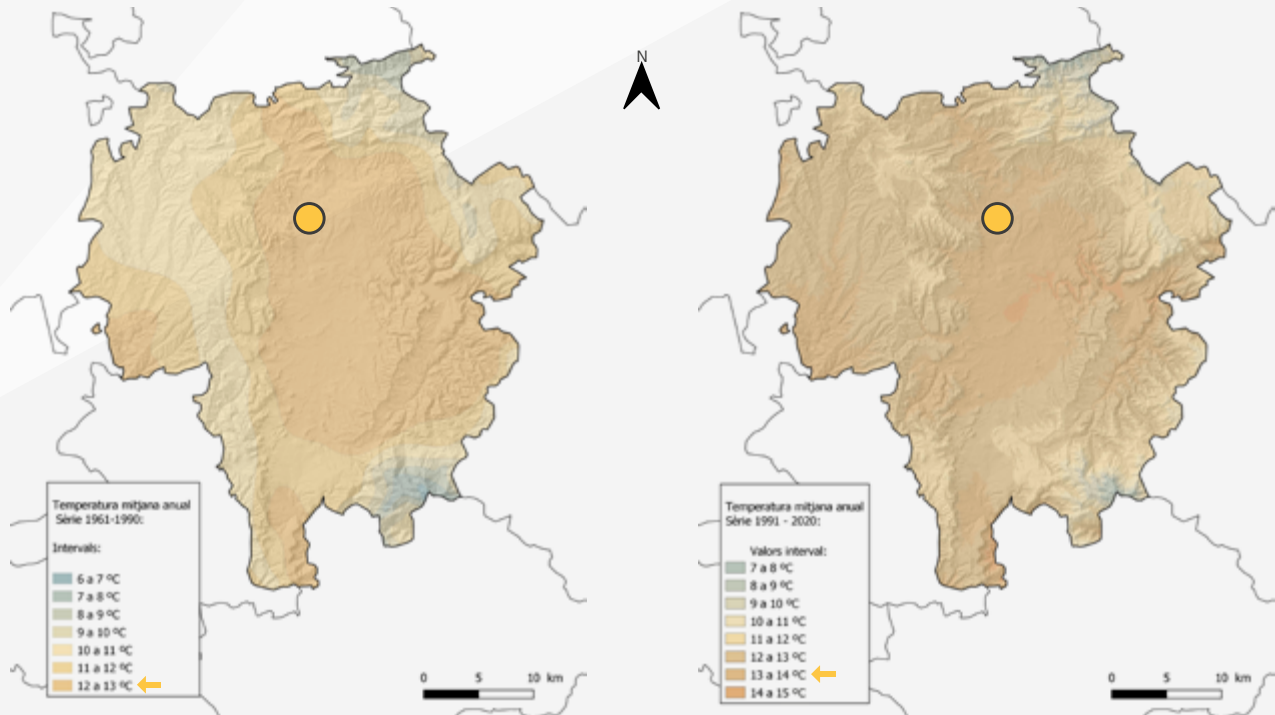


Figura 6

Precipitació mitjana anual a la comarca d'Osona (Font: elaborat a partir de les sèries climàtiques de Catalunya 1961-1990 i 1991-2020, proporcionades pel SMC). Punt groc: localització de l'assaig. Fletxes grogues: indiquen l'interval de dades que corresponen a l'assaig.

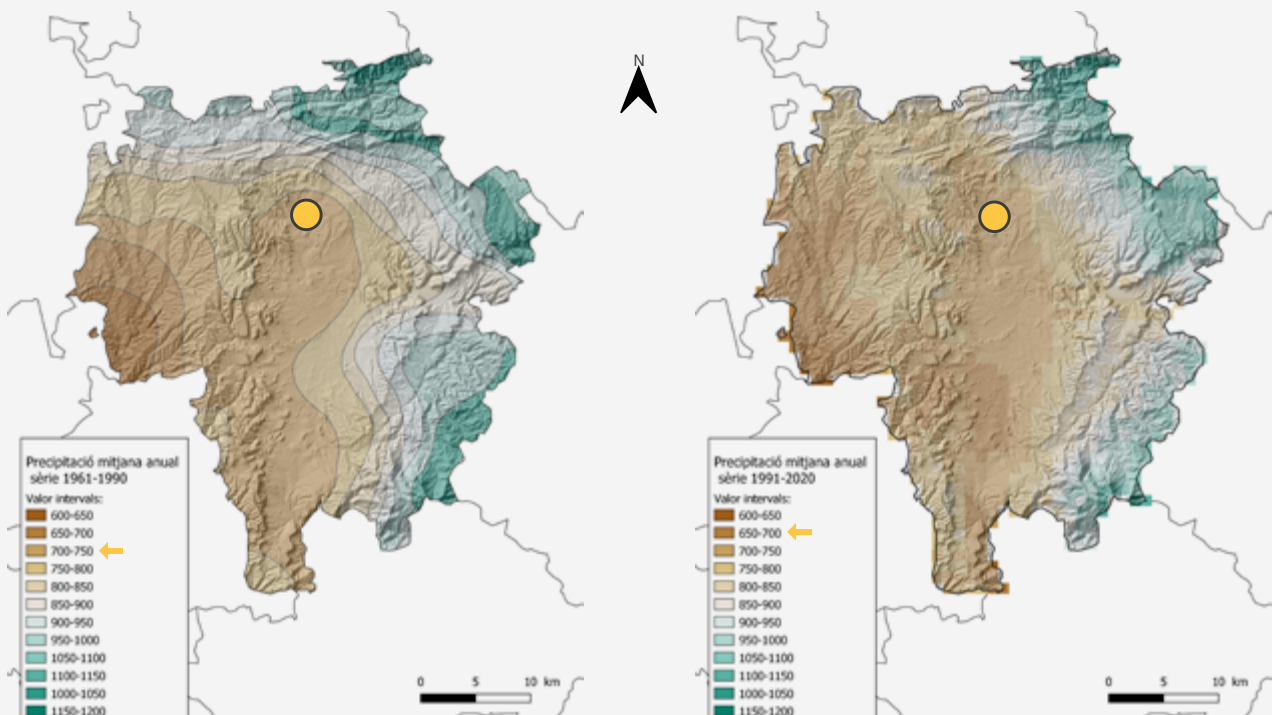
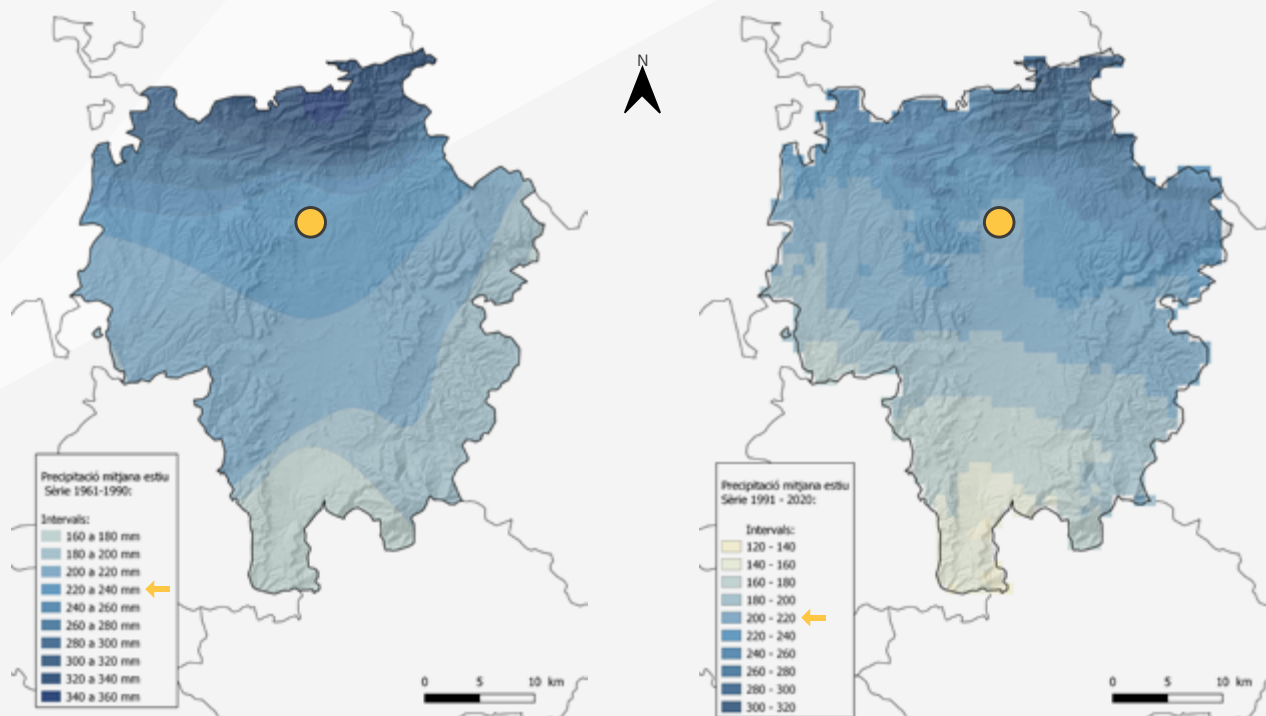


Figura 7

Precipitació mitjana estival a la comarca d'Osona (Font: elaborat a partir de les sèries climàtiques de Catalunya 1961-1990 i 1991-2020, proporcionades pel SMC). Punt groc: localització de l'assaig. Fletxes grogues: indiquen l'interval de dades que corresponen a l'assaig.

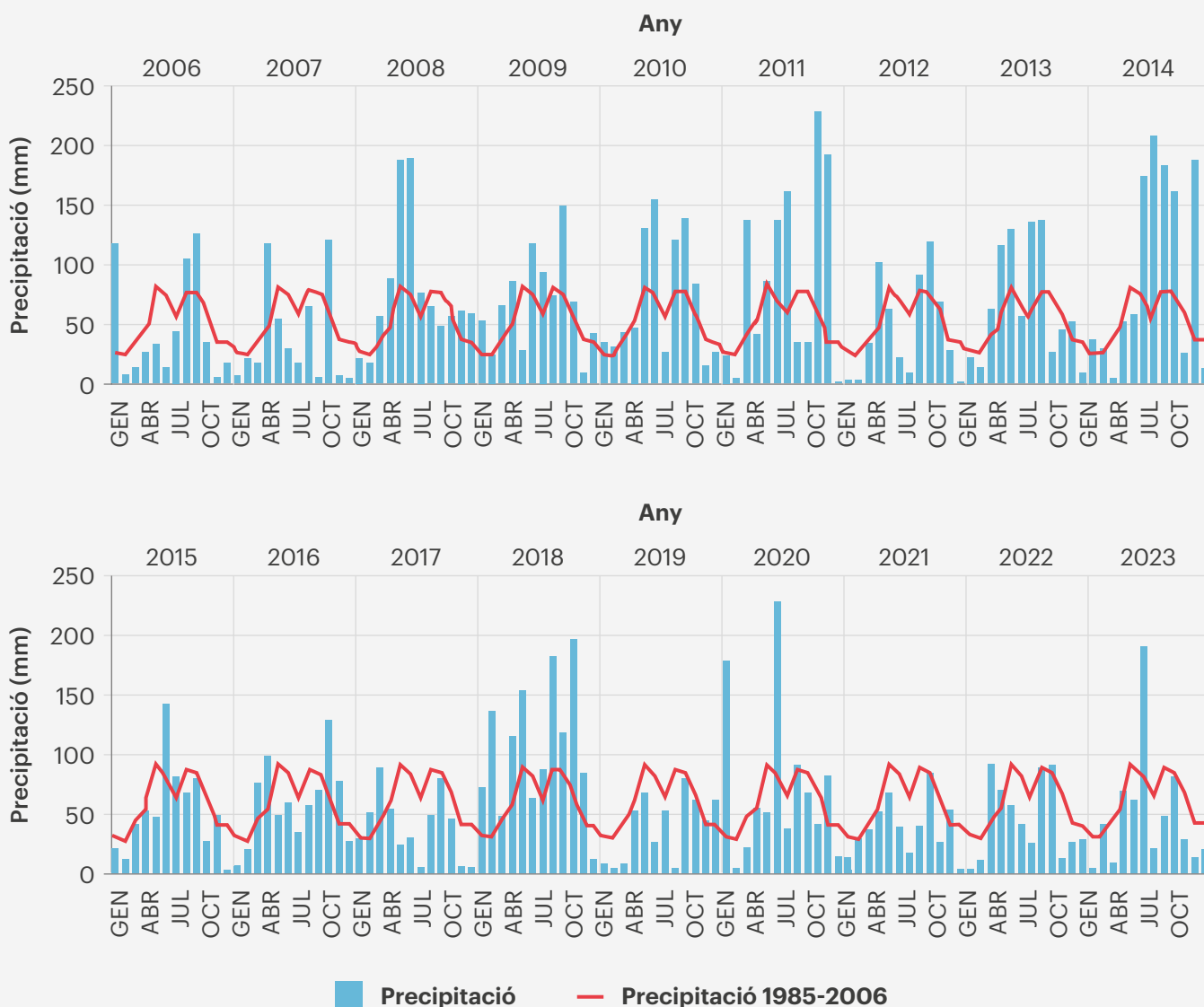


La precipitació total anual registrada durant el període d'estudi va ser molt variable durant tot el període d'assaig, amb una diferència de 734 mm entre les precipitacions màximes (1143 mm a l'any 2018) i les precipitacions més baixes (409 mm a l'any 2021). A la figura 8 es pot observar aquesta elevada variabilitat anual i també mensual. Dels 18 anys analitzats, n'hi ha nou en què la precipitació anual va ser inferior als 600 mm (Taula 4), sis dels quals van tenir lloc en els darrers nou anys del període analitzat. Els registres indiquen una sequera continuada en els darrers tres anys (2021, 2022, i 2023).

L'anàlisi de les dades de precipitacions mensuals indica que és destacable el fet que durant els últims cinc anys (des del 2019 al 2023) només hi ha hagut 6 mesos en els quals les precipitacions han estat superiors a la mitjana del període 1985-2006 (Figura 8). La manca de pluviometria durant aquests anys ha provocat una sequera important que ha causat un fort dèficit d'aigua per als cultius (Figura 9).

Figura 8

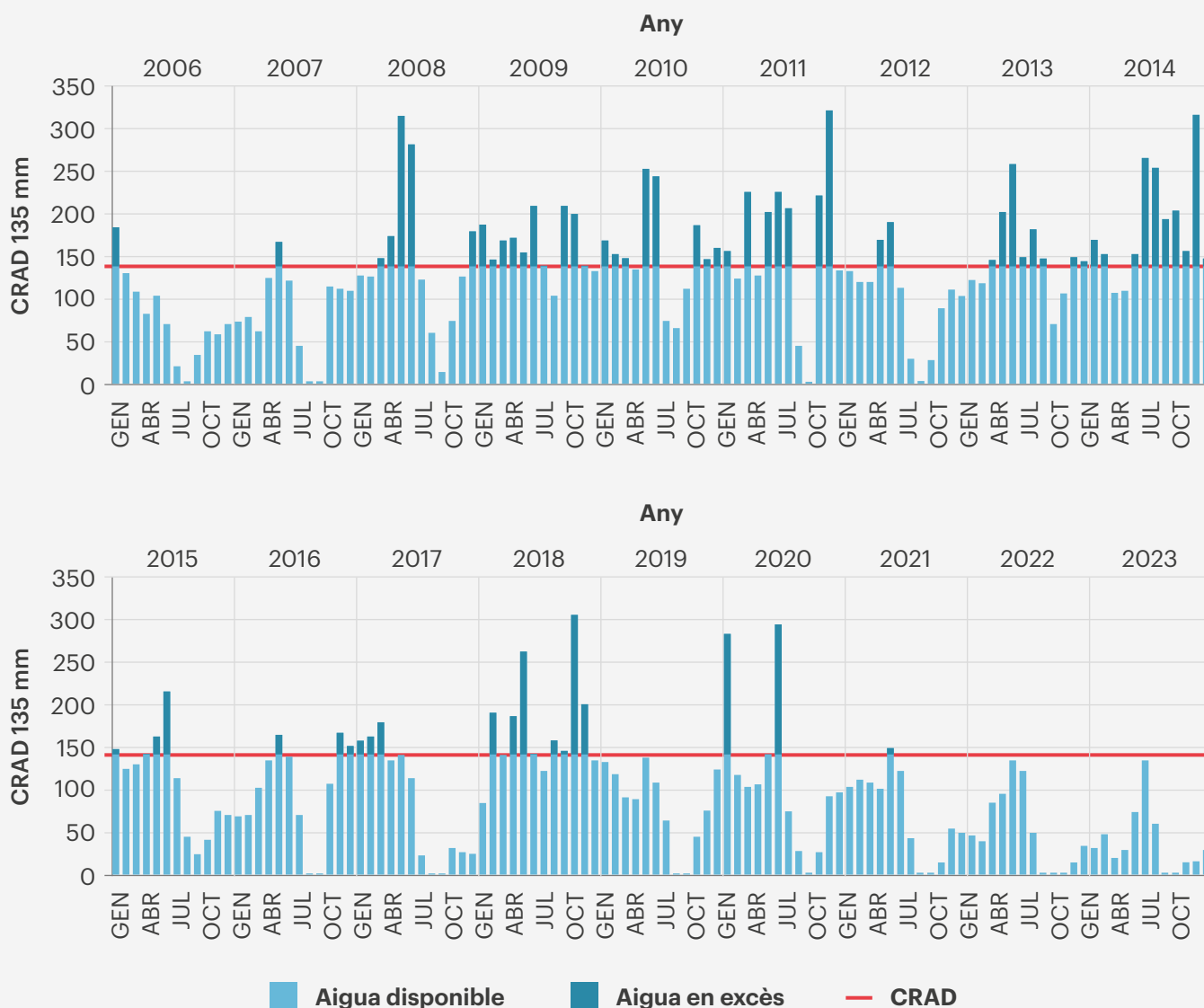
Precipitació total mensual a Torelló durant el període experimental (2006-2023). La línia sòlida vermella correspon a les mitjanes mensuals del període 1985-2006, obtingudes a la mateixa estació de l'Observatori de Torelló.



A partir de les anàlisis inicials del sòl (textura i retenció d'aigua a -33 kPa i a -1500 kPa), s'ha calculat una capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD) de 135 mm per als primers 90 cm de profunditat de sòl. En alguns anys, com ara 2006, 2007, 2012, 2021, 2022 i 2023, la quantitat d'aigua disponible al sòl va ser molt baixa, arribant a valors inferiors al 25% de la CRAD (Figura 9). Per contra, en alguns anys com ara, 2008, 2010, 2011, 2014 i 2018, en què la precipitació va ser abundant, hi va haver un excés d'aigua que no va poder ser retinguda pel sòl (Figura 9). En les condicions de l'assaig, en un clima mediterrani subhúmit de secà, el fet que hi hagi una major probabilitat de pluges elevades a l'octubre i al novembre, així com la molt baixa absorció d'aigua dels cultius durant la tardor, podria augmentar significativament el risc de pèrdues de nitrogen per lixiviació durant aquest període.

Figura 9

Balanç hídric del sòl al llarg de tot el període 2006-2023. CRAD de 135 mm.





04**Resultats agronòmics**

4.1 Rendiment	32
4.2 Extraccions de nutrients	38
4.3 Qualitat farratgera	47

4. Resultats agronòmics

4.1 Rendiment

Durant les gairebé dues dècades d'assaig, ha quedat palès que, a la Plana de Vic, el cultiu d'estiu té una forta dependència de les condicions climàtiques, principalment de les precipitacions durant el període estival. Les pluges dels mesos de juny i juliol han condicionat el naixement i la implantació del cultiu, mentre que les de l'agost i setembre han estat rellevants per al creixement i el rendiment final.

Arran de les dades obtingudes, es constata que els anys amb una pluviometria inferior als 100 mm, durant els mesos de juny i juliol (Taula 5), la sembra del cultiu d'estiu no és viable. De les 18 campanyes de seguiment (2006-2024), gairebé la meitat dels anys avaluats (8 de 18) el cultiu d'estiu ha donat lloc a produccions molt baixes o, fins i tot, sense collita (Figures 10 i 11). Per contra, el cultiu d'hivern no pateix aquesta limitació de manera tan acusada i només es manifesta en anys extremadament secs, com ara la campanya 2022-2023.

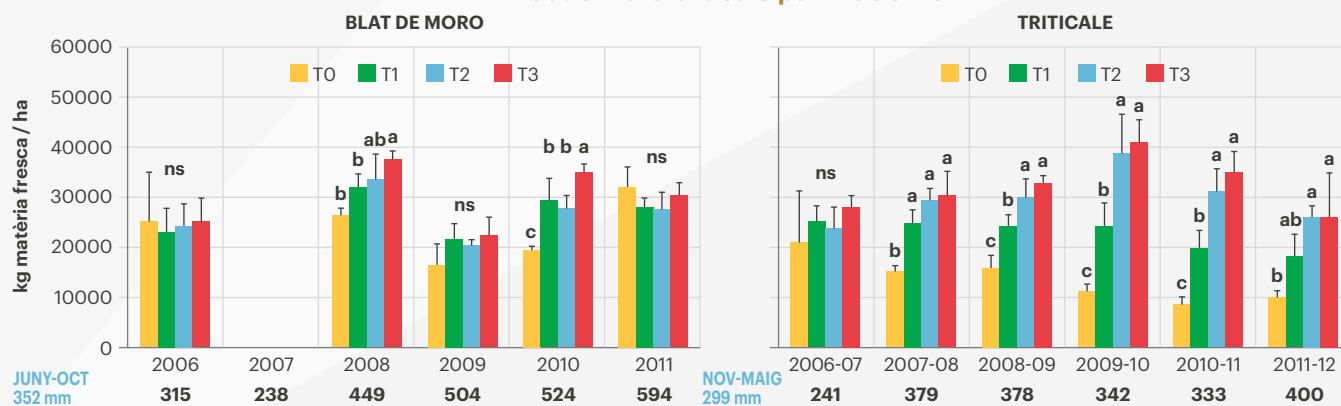
Pel que fa als rendiments registrats, en anys no secs, tant en el triticle (2008, 2009, 2010, 2011, 2012) com en l'ordi (2013, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 i 2021), la producció augmenta significativament a mesura que s'incrementa la dosi de fertilitzant, tant si és d'origen orgànic (purí o fracció líquida) com si és d'origen mineral (Figures 10 i 11). Aquest increment és més acusat si la quantitat de nitrogen disponible (nitrogen del sòl a inici de campanya més nitrogen aportat amb l'adob) és baixa, mentre que es veu reduït a mesura que la planta té a disposició una major quantitat d'aquest nutrient (Figura 12). En canvi, els anys considerats com a secs (2007, 2014, 2016, 2022, 2023), no ha existit resposta a la disponibilitat de nitrogen.

En el cas dels cultius d'estiu, no hi ha resposta a la fertilització nitrogenada (Figura 12). En aquest sentit, quan s'observa el detall per anys (Figures 10 i 11), es detecten diferències entre aplicar i no aplicar nitrogen en un terç dels anys, mentre que només en tres campanyes es troben diferències significatives en la producció en augmentar la dosi de nitrogen. Aquest fet acostuma a donar-se aquells anys secs amb produccions mitjanes per sota de les 10 t/ha de matèria seca, aproximadament, la qual cosa es manifesta en més de la meitat dels anys (Figura 11).

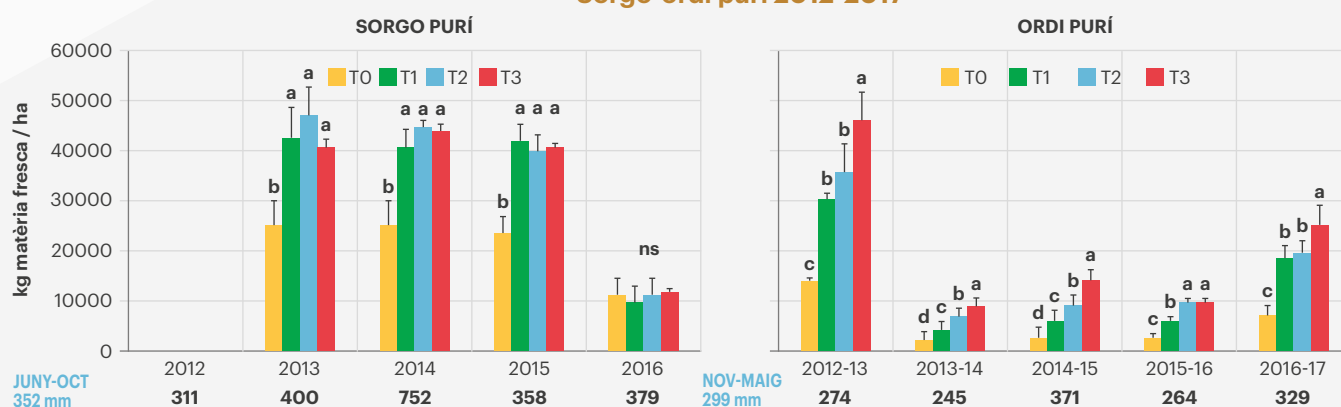
Figura 10

Rendiments anuals (kg/ha de matèria fresca) obtinguts en cadascun dels cultius per a les diferents rotacions i estratègia de fertilització. Les columnes corresponen a la mitjana de cada tractament amb purí i fracció líquida (T0, T1, T2 i T3) i adob mineral (M0, M1, M2 i M3). Les dades en blau indiquen la pluviometria mitjana de tot el període de l'assaig, corresponent als mesos de juny a octubre o de novembre a maig. Les dades en negreta indiquen la pluviometria mitjana dels mesos de la campanya corresponent.

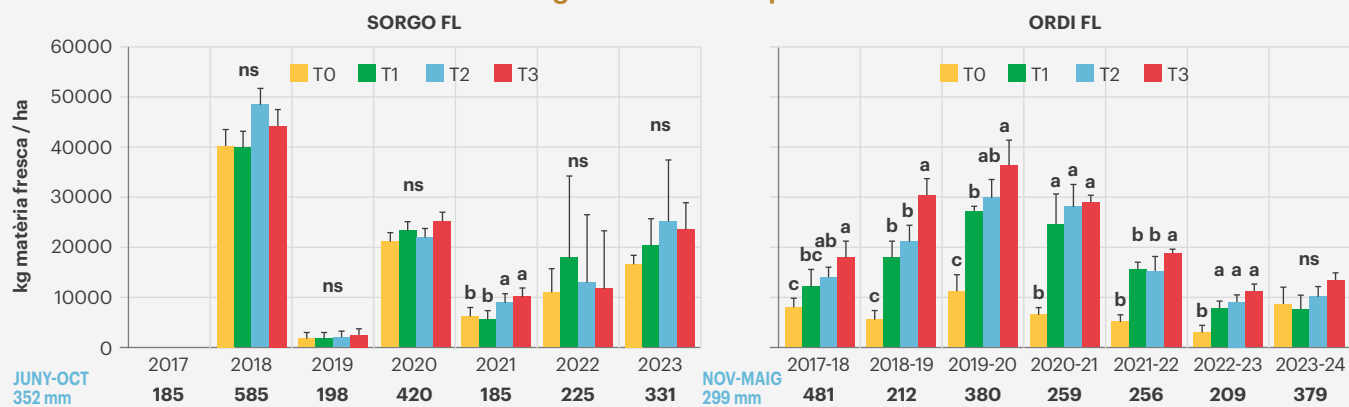
Blat de moro-triticaie purí 2006-2012



Sorgo-ordi purí 2012-2017



Sorgo-ordi fracció líquida 2017-2024



Sorgo-ordi mineral 2017-2024

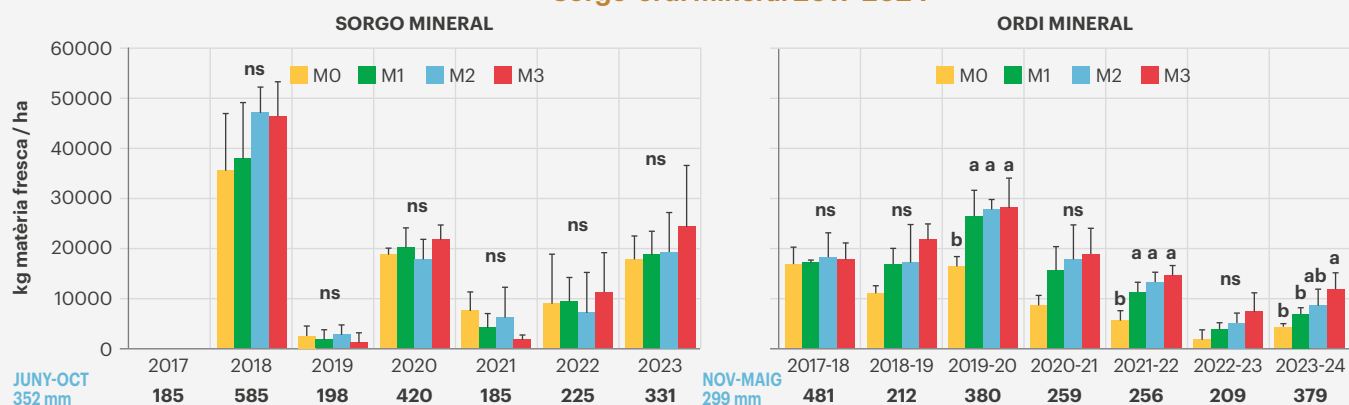
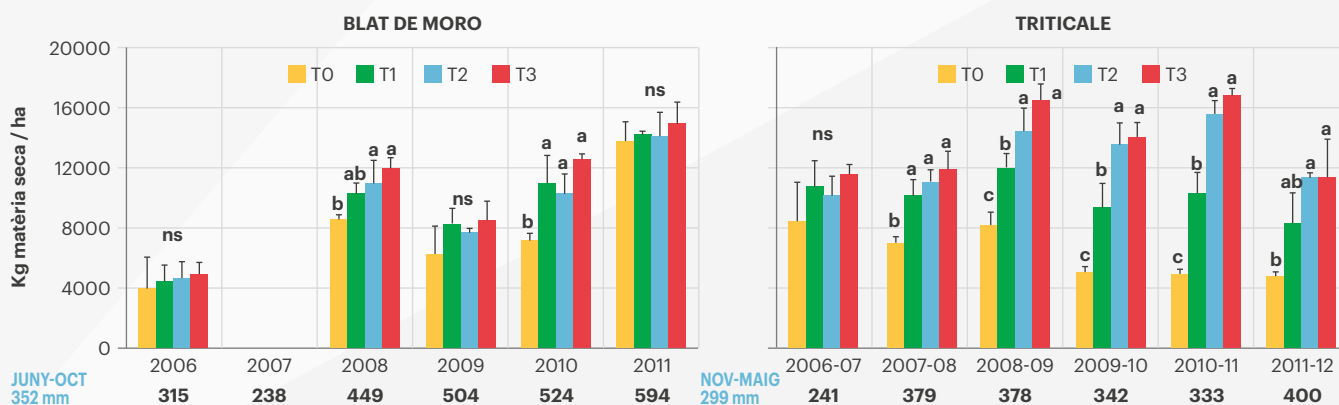


Figura 11

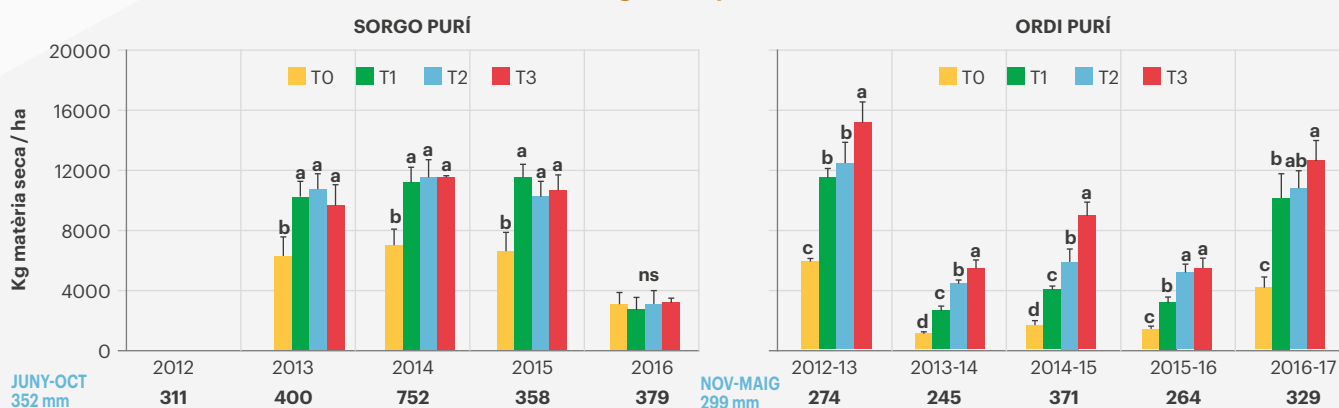
Rendiments anuals (kg/ha de matèria seca) obtinguts en cadascun dels cultius per a les diferents rotacions i estratègia de fertilització. Les columnes corresponen a la mitjana de cada tractament amb purí i fracció líquida (T0, T1, T2 i T3) i adob mineral (M0, M1, M2 i M3). Les dades en blau indiquen la pluviometria mitjana de tot el període de l'assaig, corresponent als mesos de juny a octubre o de novembre a maig. Les dades en negreta indiquen la pluviometria mitjana dels mesos de la campanya corresponent.



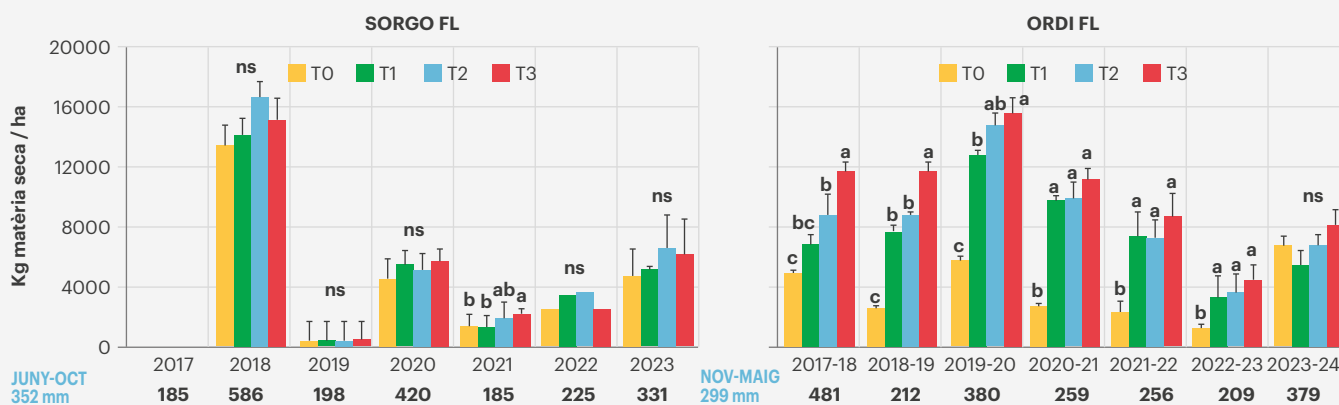
Blat de moro-triticaie purí 2006-2012



Sorgo-ordi purí 2012-2017



Sorgo-ordi fracció líquida 2017-2024



Sorgo-ordi mineral 2017-2024

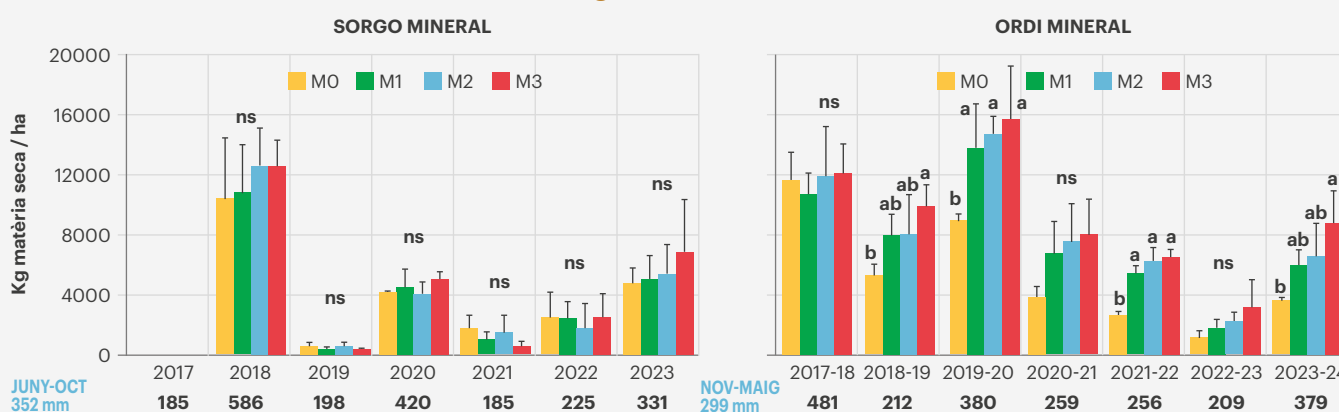
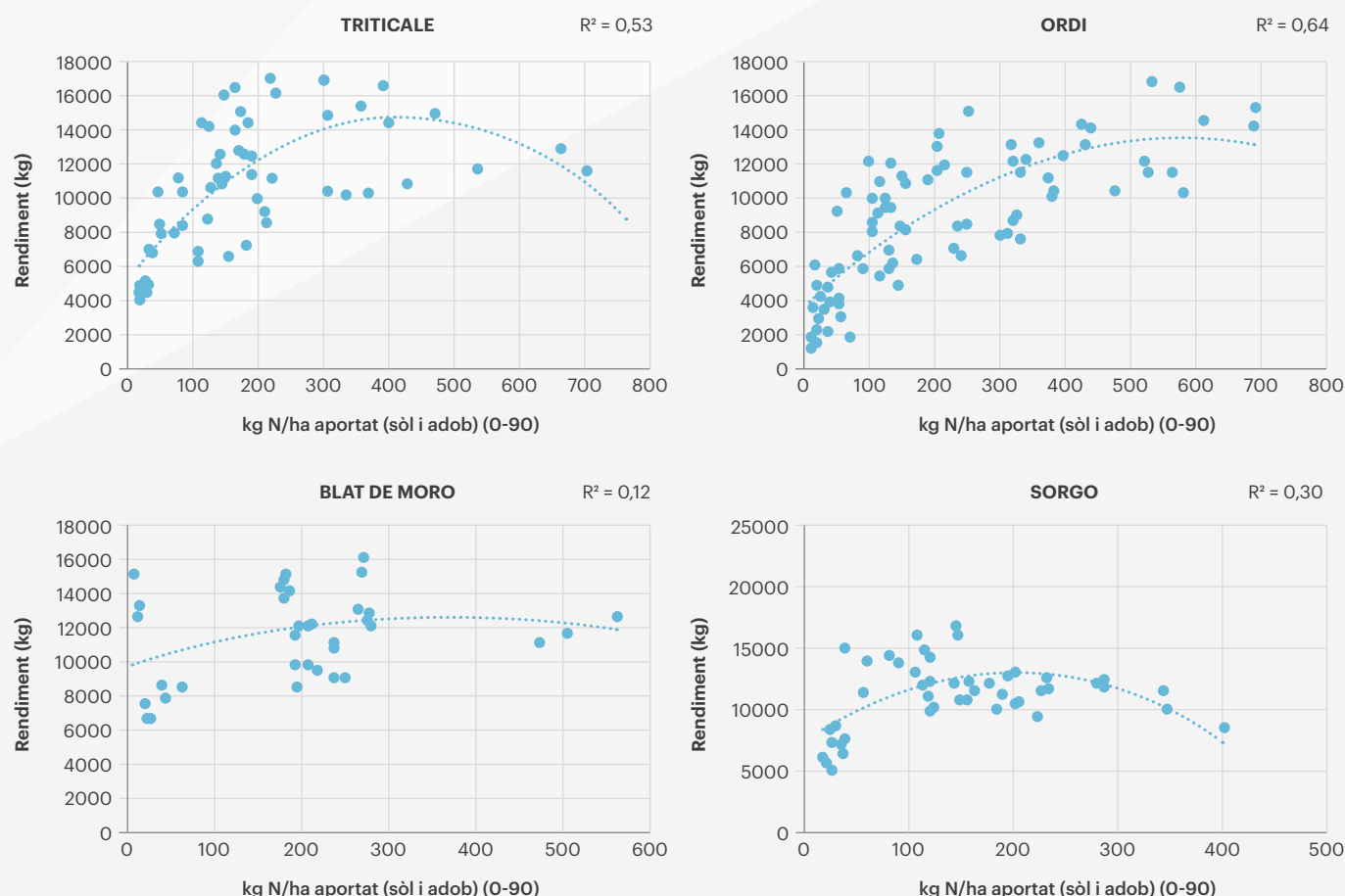


Figura 12

Relació entre el rendiment (en kg matèria seca/ha) i el N disponible pel cultiu (en kg N/ha), com a sumatori del N mineral del sòl a inici de campanya i el N aportat amb els adobs, per als quatre cultius implantats a l'assaig.



Si es fa una valoració global, per períodes, els rendiments totals obtinguts en la rotació de blat de moro-tritcale (2006-2012) van ser superiors al rendiments totals de la rotació sorgo-ordi, tant en el primer període en què es va aplicar purí (2012-2017) com en el segon que va rebre fracció líquida (2017-2024). A més, durant la rotació de blat de moro-tritcale es va observar una major diferència entre tractaments (Taula 6).

La variabilitat en les precipitacions entre els diferents anys del període d'estudi va determinar, principalment, els rendiments del cultiu d'estiu, tant en el blat de moro com en el sorgo (Figura 11). Els anys amb precipitacions molt baixes, sobretot quan afectaven els mesos de juny a agost, combinats amb temperatures altes, típiques d'aquests mesos estivals, van comportar una disminució del rendiment del cultiu d'estiu. En el blat de moro no hi va haver collita l'any 2007 (Figura 11), en el qual les precipitacions dels mesos de juny i juliol van ser molt escasses (Figura 8). En el cas del sorgo, els anys 2012, 2017 i 2019 tampoc es va poder implantar el cultiu i no hi va haver collita per l'escassetat i irregularitat de les precipitacions durant els mesos de d'estiu. La sequera continuada dels tres últims anys (2020-2023) ha comportat una davallada important del rendiment del sorgo (Figura 11).

Els rendiments de blat de moro obtinguts en aquest assaig, establert en condicions de secà, són inferiors en comparació amb resultats indicats per

autors que han treballat amb dejeccions ramaderes en altres zones més frescals (Perramon et al., 2016), mentre que en cap cas són comparables amb treballs de zones de regadiu (Yagüe i Quílez, 2010; Cela et al., 2011). Durant el període 2006-2012, es van registrar produccions més baixes de les esperades en el blat de moro, amb dues campanyes sense collita, fet que va forçar a buscar alternatives als tipus de cultius de la rotació. En aquest sentit, a partir de la campanya 2012-2013, es va optar per canviar cap a cultius que poguessin adaptar-se millor a moments d'escassetat d'aigua, com ara el sorgo i l'ordi.

Taula 6

Rendiment obtingut (kg matèria fresca i seca per ha) en cadascun dels cultius i rotacions establerts, per a cada període i estratègia de fertilització. Els valors corresponen a la mitjana de cada tractament (T0, T1, T2, T3 per al purí i la fracció líquida; M0, M1, M2, M3 per a l'adob mineral). Sense lletra indica que no hi ha diferències significatives.

ROTACIÓ (PERÍODE)	ADOB	TRACTAMENT	RENDIMENT DE BIOMASSA					
			MATÈRIA FRESCA (kg / ha)			MATÈRIA SECA (kg / ha)		
			CULTIU D'ESTIU	CULTIU D'HIVERN	TOTAL ROTACIÓ	CULTIU D'ESTIU	CULTIU D'HIVERN	TOTAL ROTACIÓ
Blat de moro-Triticale (2006-2012)	Purí de porc	T0	19812 c	13738 c	32593 d	6521 c	6104 c	12625 d
		T1	22333 b	22769 b	45103 c	7924 b	8915 b	17739 c
		T2	22311 b	29797 a	52108 b	7849 b	12307 a	20155 b
		T3	25021 a	32182 a	57202 a	8716 a	13322 a	22039 a
Sorgo-Ordi (2012-2017)	Purí de porc	T0	17061 b	5665 d	22726 d	4809 b	2797 d	7606 d
		T1	27210 a	13111 c	40321 c	7476 a	6220 c	13696 c
		T2	28779 a	16156 b	44935 b	7448 a	7678 b	15126 b
		T3	27597 a	20278 a	48235 a	7332 a	9440 a	16772 a
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Fracció líquida de purí de porc	T0	13734	6774 d	20508 c	3825	3536 d	7360 d
		T1	15608	16186 c	31795 b	4252	7223 c	11475 c
		T2	17029	18235 b	35265 ab	4878	8183 b	13061 b
		T3	16751	22353 a	39104 a	4564	9619 a	14183 a
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Mineral (Sulfat amònic 21%)	M0	12453	9237 c	21689 b	3258	5034 c	8291 b
		M1	12609	13906 b	26515 ab	3332	7173 b	10505 a
		M2	13779	15458 ab	29237 a	3544	7865 ab	11409 a
		M3	14659	17068 a	31727 a	3818	8810 a	12628 a

La precipitació registrada durant la campanya del cultiu del sorgo (de juny a octubre) va variar des dels 752 mm al 2014 fins als 185 mm al 2017 (Figura 11 i Taula 5), i en la majoria dels anys va ser inferior a 350 mm. Això va donar lloc a què, malgrat la modificació plantejada, la mitjana de rendiments del sorgo obtinguts durant el període 2012-2023 va ser inferior a l'esperada i menor a la corresponent al blat de moro del període 2006-2012 (Figura 11). Només en quatre d'aquestes dotze campanyes es va aconseguir anar més enllà dels 6.000 kg matèria seca/ha en els tractaments aplicats. Això indica que, en condicions de secà en clima mediterrani subhúmit, la viabilitat del cultiu del sorgo també està condicionada per la precipitació acumulada i la distribució de les pluges durant el període del seu creixement.

Per tant, en un context de canvi climàtic i amb una tendència cap a la reducció de les precipitacions a l'estiu, juntament amb una distribució irregular d'aquestes, el desenvolupament i la collita del sorgo no sembla que estiguin garantits.

4.2 Extraccions de nutrients

Les extraccions de nitrogen, fòsfor i potassi de tots els cultius, expressades en kg N per tona de matèria seca, donen una idea del potencial de nutrients que poden arribar a sortir del sistema en els sistemes productius de doble cultiu. La mitjana de les extraccions de nitrogen, si considerem totes les dades obtingudes durant les 18 campanyes d'assaig, per ordre decreixent, ha estat la següent: 16,9 kg N/t ms en el sorgo > 13,0 kg N/t ms en l'ordi > 12,4 kg N/t ms en el blat de moro > 10,1 kg N/t ms en el triticale (Taula 7). Cal ressaltar que, en anys de sequera, les extraccions de nitrogen s'incrementen per sobre de la mitjana. Probablement, aquest fet es dona perquè l'estrès hídric té una major incidència sobre la síntesi de sucres (C) que no pas sobre la de proteïnes (N).

Les extraccions totals de fòsfor i de potassi han estat, les més altes en l'ordi, pel que fa el fòsfor i en el sorgo pel potassi, i les més baixes han estat en el triticale (Taula 7).

Taula 7

Extraccions de nitrogen, fòsfor i potassi per tona de collita, expressada en matèria seca, per a cadascun dels cultius establerts durant l'assaig. Entre parèntesis el número de mostres a partir del qual s'han calculat els diferents paràmetres estadístics.

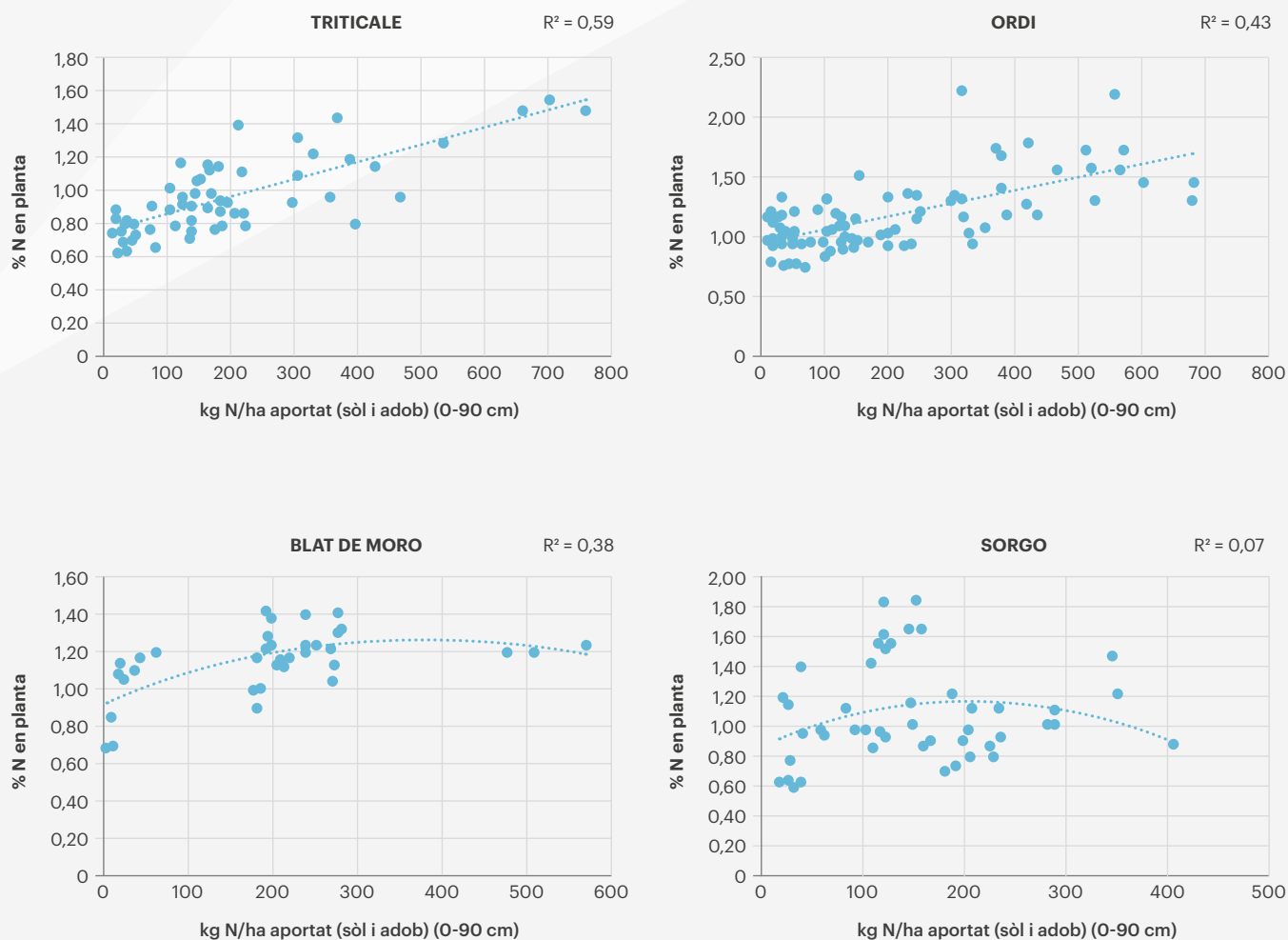
Cultiu (n: N-P-K)	Paràmetre estadístic	NITROGEN (kg N / t ms)	FÒSFOR (kg P / t ms)	POTASSI (kg K / t ms)
Triticale (n = 72 - 60 - 48)	Mitjana	10,1	1,7	9,0
	Mediana	9,4	1,6	9,3
	Percentil 25	8,0	1,4	7,8
	Percentil 75	11,7	1,9	10,8
Ordi (n = 204 - 204 - 204)	Mitjana	13,0	2,9	12,2
	Mediana	11,7	2,8	11,4
	Percentil 25	10,0	2,6	10,1
	Percentil 75	14,4	3,2	13,6
Blat de moro (n = 60 - 48 - 60)	Mitjana	12,4	2,1	10,1
	Mediana	12,2	2,1	9,5
	Percentil 25	11,3	1,8	8,6
	Percentil 75	14,0	2,3	10,2
Sorgo (n = 180 - 180 - 180)	Mitjana	16,9	2,4	15,3
	Mediana	14,9	2,4	14,0
	Percentil 25	11,7	1,9	11,3
	Percentil 75	21,8	2,9	17,5

4.2.1 Extraccions de nitrogen

Les extraccions totals de nitrogen per la planta han mantingut un comportament lleugerament diferent al del rendiment. Tal i com s'ha explicat en l'apartat anterior, les dades de rendiment s'han ajustat a una corba polinòmica en els dos cereals d'hivern sembrats (Figura 12), de manera que la producció de biomassa incrementa a mesura que ho fa el nitrogen disponible (equivalent a la suma del nitrogen mineral del sòl i de l'adob aplicat) fins a un punt en què aquesta comença a decreixer. Per contra, hi ha una resposta erràtica en el cereal d'estiu (Figura 12). En el cas de les extraccions, la relació del nitrogen disponible amb el nitrogen extret és lineal per als cereals d'hivern i no segueix cap patró en els cereals d'estiu (Figura 13).

Figura 13

Relació entre el N extret pel cultiu (en%) i el N disponible pel cultiu (en kg N/ha), com a sumatori del N mineral del sòl a inici de campanya i el N aportat amb els adobs, per als 4 cultius implantats a l'assaig.



En general, la taula 7 no és útil per a fer comparacions estrictes entre les extraccions dels diferents cultius, bàsicament perquè els anys compresos en cada període són diferents i perquè les dosis reals aplicades difereixen entre campanyes. No obstant això, sí que ajuden a tenir una idea aproximada de les extraccions que poden obtenir-se amb el doble cultiu. En qualsevol cas, les dades obtingudes sí que permeten observar com les extraccions totals de nitrogen per hectàrea per als dos cultius augmenten significativament amb l'increment de la dosi de nitrogen aplicada, independentment del tipus de fertilitzant o de rotació (Taula 8).

Quan s'aplica l'adob mineral, les diferències en les extraccions entre els tractaments han resultat menors i només significatives entre les dosis més altes (170 i 250 kg N/ha) i el control (0 kg N/ha) (Taula 8). Aquest fet s'explica per la diferència, ja comentada, entre les dosis teòriques i reals aplicades, de manera que si es comparen entre dades reals per al mateix període, l'aplicació d'adobs minerals presenta extraccions molt similars a les de la fracció líquida.

En la rotació de blat de moro i tritcale, les extraccions van ser superiors als 170 kg N en els tres tractaments, mentre que en el cas de la rotació de sorgo i ordi les extraccions de nitrogen van ser inferiors a aquesta mateixa xifra en tots els tractaments, excepte quan es van aplicar les dosis més elevades equivalents als tractaments T3 i M3 (Taula 8).

Tanmateix, cal ressaltar que les extraccions de nitrogen per hectàrea del cultiu d'hivern van ser més altes que les del cultiu d'estiu en totes dues rotacions (Taula 8). Aquestes diferències es poden atribuir a la variabilitat de les precipitacions durant el cicle del cultiu d'estiu, que, tal i com s'ha comentat anteriorment, van ser molt baixes en moltes de les campanyes estudiades. Això ha provocat que els rendiments i, per tant, les extraccions de nitrogen per hectàrea fossin, en general, molt baixes i gairebé nul·les en certs anys (Figura 14).

Taula 8

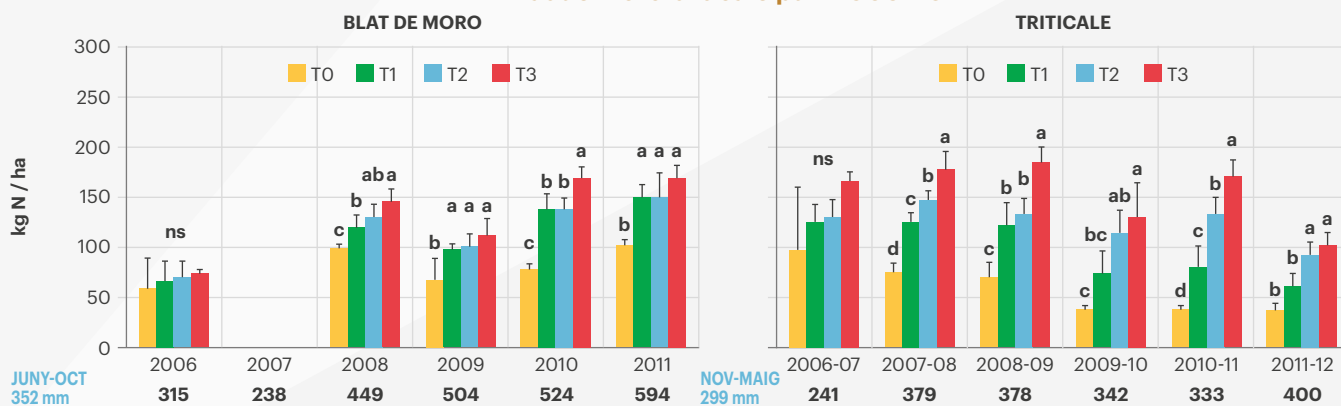
Extraccions de nitrogen (kg N/ha) en cadascun dels cultius i rotacions establertes, per a cada període i estratègia de fertilització. Els valors corresponen a la mitjana de cada tractament (T0, T1, T2, T3 per al purí i la fracció líquida; M0, M1, M2, M3 per a l'adob mineral). Les lletres diferents indiquen diferències significatives entre tractaments segons la prova de rang múltiple de Duncan ($p < 0,05$). Sense lletra indica que no hi ha diferències significatives.

ROTACIÓ (PERÍODE)	ADOB	TRACTAMENT	EXTRACCIONS DE NITROGEN (N)		
			CULTIU D'ESTIU (kg N/ha)	CULTIU D'HIVERN (kg N/ha)	TOTAL ANUAL (kg N/ha)
Blat de moro-Triticale (2006-2012)	Purí de porc	T0	67 c	57 d	124 d
		T1	95 b	96 c	191 c
		T2	98 b	123 b	221 b
		T3	110 a	153 a	263 a
Sorgo-Ordi (2012-2017)	Purí de porc	T0	44 c	26 d	70 d
		T1	89 b	61 c	150 c
		T2	92 ab	77 b	168 b
		T3	103 a	105 a	208 a
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Fracció líquida de purí de porc	T0	42 b	37 c	80 c
		T1	56 a	94 b	150 b
		T2	62 a	105 b	167 b
		T3	63 a	149 a	213 a
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Mineral (Sulfat amònic 21%)	M0	41	52 d	93 c
		M1	45	83 c	127b
		M2	49	110 b	159 a
		M3	53	129 a	182 a

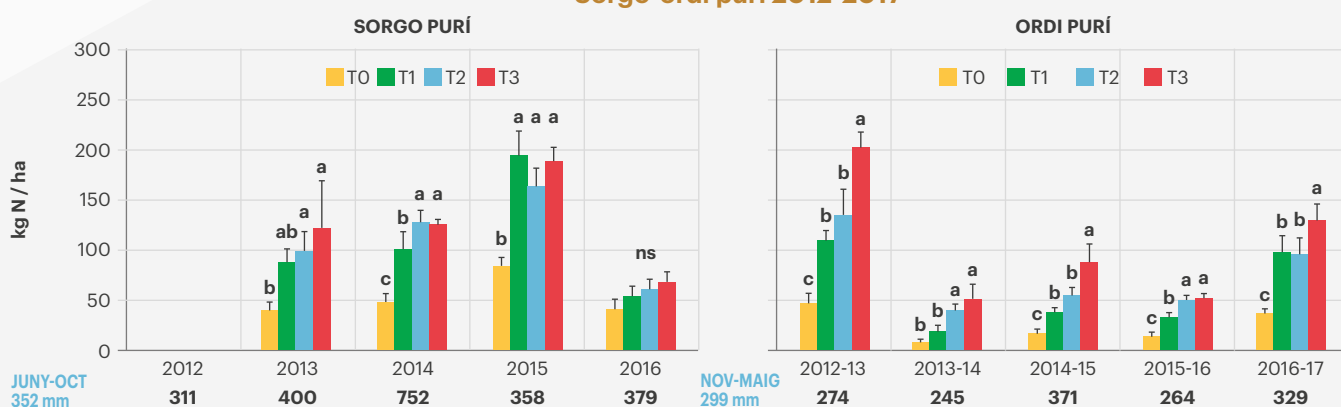
Figura 14

Extraccions anuals de nitrogen (kg N/ha) obtingudes en cadascun dels cultius per a les diferents rotacions i estratègia de fertilització. Les columnes corresponen a la mitjana dels valors de les parcel·les de cada tractament amb purí i fracció líquida (T0, T1, T2 i T3) i adob mineral (M0, M1, M2 i M3). Les dades en blau indiquen la pluviometria mitjana de tot l'assaig, corresponent als mesos de juny a octubre o de novembre a maig. Les dades en negreta indiquen la pluviometria mitjana dels mesos de la campanya corresponent.

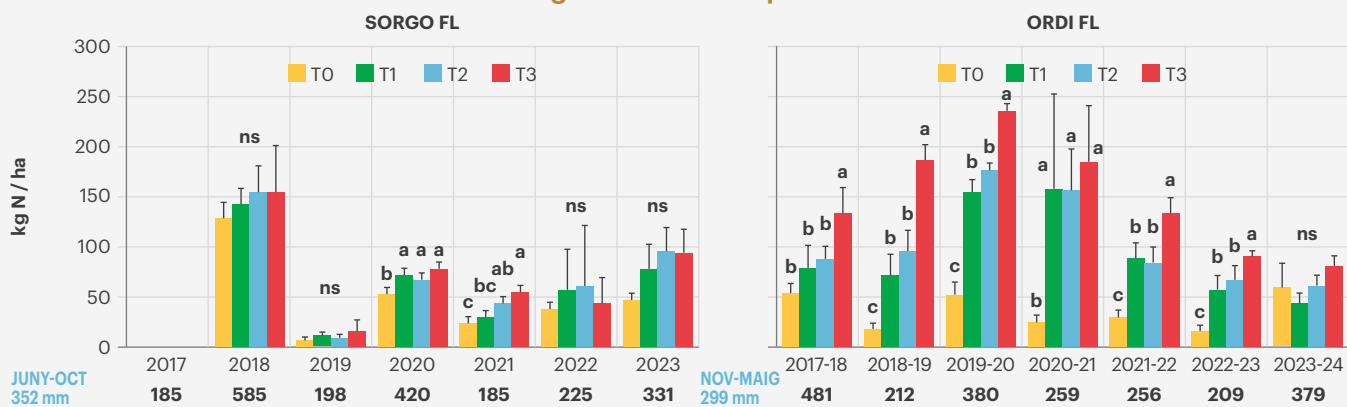
Blat de moro-triticaie purí 2006-2012



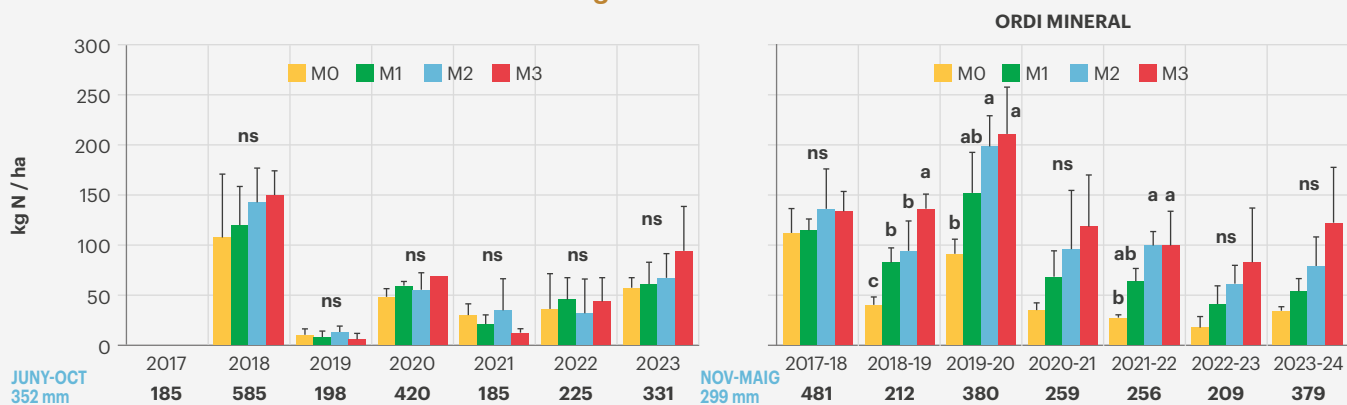
Sorgo-ordi purí 2012-2017



Sorgo-ordi fracció líquida 2017-2024



Sorgo-ordi mineral 2017-2024



4.2.2 Extraccions de fòsfor i potassi

Les extraccions de fòsfor i potassi també augmenten significativament amb una major aportació d'adobs orgànics, tant amb purí com amb la fracció líquida del purí, i aquest comportament es repeteix en les dues rotacions (Taules 9 i 10). Aquest fet s'atribueix a què una major dosi de purins o fraccions líquides aporta, lògicament, una major quantitat d'aquests nutrients. L'increment de les extraccions va lligat, per una banda, amb la relació N/P i N/K de les dejeccions ramaderes, de manera que, en el cas del fòsfor, en mantenir un rati més elevat, les aportacions de fòsfor han estat menors. Per una altra banda, l'aportació de més nitrogen ha comportat una major generació de biomassa i, probablement, un major creixement radicular, fet que probablement hagi donat lloc a una major extracció d'aquests nutrients. Aquest efecte ha estat més pronunciat, en general, en el cultiu d'hivern i ha suposat majors extraccions de fòsfor i potassi, fins a tres vegades més, en comparació amb el cultiu d'estiu (Figures 15 i 16).

Taula 9

Extraccions de fòsfor (kg P/ha) en cadascun dels cultius i rotacions establertes, per a cada període i estratègia de fertilització. Els valors corresponen a la mitjana de cada tractament (T0, T1, T2, T3 per al purí i la fracció líquida; M0, M1, M2, M3 per a l'adob mineral). Les lletres diferents indiquen diferències significatives entre tractaments segons la prova de rang múltiple de Duncan ($p < 0,05$). Sense lletra indica que no hi ha diferències significatives.

ROTACIÓ (PERÍODE)	ADOB	TRACTAMENT	EXTRACCIONS DE FÒSFOR (P)		
			CULTIU D'ESTIU (kg P/ha)	CULTIU D'HIVERN (kg P/ha)	TOTAL ANUAL (kg P/ha)
Blat de moro- Triticale (2006-2012)	Purí de porc	T0	13 b	10 d	23 d
		T1	15 ab	15 c	30 c
		T2	15 ab	21 b	36 b
		T3	16 a	23 a	39 a
Sorgo-Ordi (2012-2017)	Purí de porc	T0	10 b	9 d	19 d
		T1	18 a	18 c	36 c
		T2	18 a	22 b	40 b
		T3	18 a	27 a	45 a
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Fracció líquida de purí de porc	T0	8	11 c	19 d
		T1	9	21 b	29 d
		T2	10	23 b	33 b
		T3	10	28 a	37 a
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Mineral (Sulfat amònic 21%)	M0	7	16 b	23
		M1	7	19 ab	25
		M2	7	21 a	28
		M3	7	21 a	28

Taula 10

Extraccions de potassi (kg K/ha) en cadascun dels cultius i rotacions establerts, per a cada període i estratègia de fertilització. Els valors corresponen a la mitjana de cada tractament (T0, T1, T2, T3 per al purí i la fracció líquida; M0, M1, M2, M3 per a l'adob mineral). Les lletres diferents indiquen diferències significatives entre tractaments segons la prova de rang múltiple de Duncan ($p < 0,05$). Sense lletra indica que no hi ha diferències significatives.

ROTACIÓ (PERÍODE)	ADOB	TRACTAMENT	EXTRACCIONS DE POTASSI (K)		
			CULTIU D'ESTIU (kg K/ha)	CULTIU D'HIVERN (kg K/ha)	TOTAL ANUAL (kg K/ha)
Blat de moro- Triticale (2006-2012)	Purí de porc	T0	64 c	43 c	107 d
		T1	74 b	81 b	155 c
		T2	75 b	132 a	207 b
		T3	87 a	144 a	231 a
Sorgo-Ordi (2012-2017)	Purí de porc	T0	63 b	29 d	92 d
		T1	101 a	73 c	175 c
		T2	102 a	94 b	196 b
		T3	107 a	128 a	235 a
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Fracció líquida de purí de porc	T0	47 b	37 c	84 c
		T1	53 ab	93 b	146 b
		T2	61 a	106 b	167 b
		T3	62 a	149 a	212 a
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Mineral (Sulfat amònic 21%)	M0	35	56 c	90 c
		M1	34	80 b	114 b
		M2	35	87 ab	122 ab
		M3	38	98 a	137 a

La rotació de sorgo i ordi ha extret una major quantitat de fòsfor i potassi en comparació amb la rotació de blat de moro i triticale, sense presentar diferències entre l'aplicació de purí i de fracció líquida.

Amb l'aplicació de l'adob mineral nitrogenat, les extraccions de fòsfor i de potassi es mantenen semblants a tots els tractaments i augmenten respecte al control, a menor ritme en el cas del fòsfor (Taules 9 i 10). Tenint en compte que les aportacions d'adob mineral no incorporen ni fòsfor ni potassi, aquesta tendència creixent de les extraccions podria explicar-se per la major quantitat de biomassa obtinguda com a conseqüència de majors dosis de nitrogen.

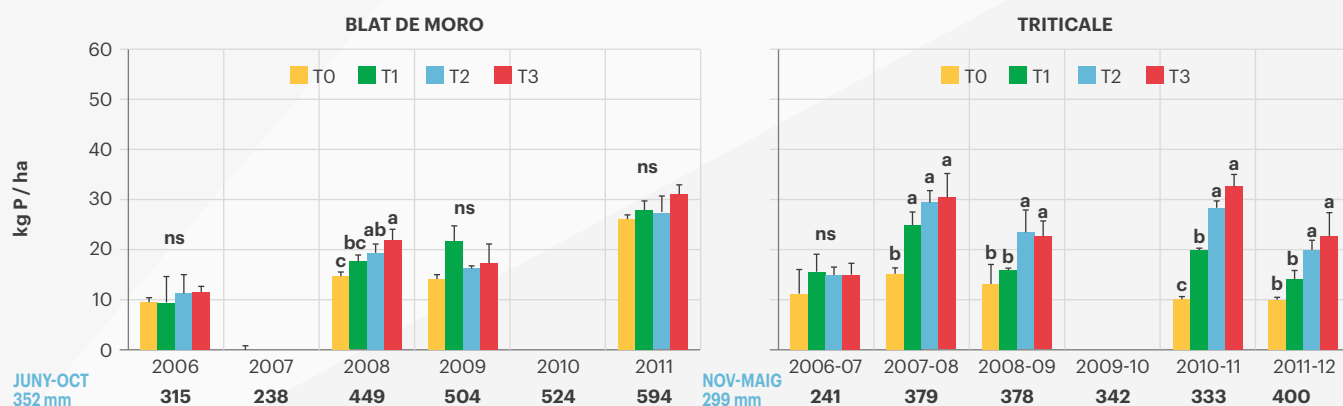


Figura 15

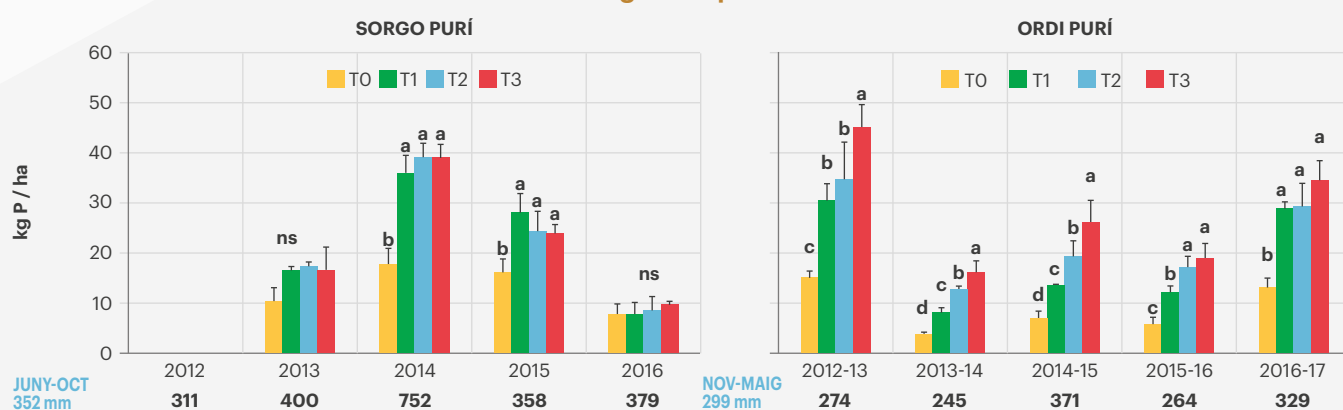
Extraccions anuals de fòsfor (kg P/ha) obtingudes en cadascun dels cultius per a les diferents rotacions i estratègies de fertilització. Les columnes corresponen a la mitjana dels valors de les parcel·les de cada tractament amb purí i fracció líquida (T0, T1, T2 i T3) i adob mineral (M0, M1, M2 i M3). Les dades en blau indiquen la pluviometria mitjana de tot l'assaig, corresponent als mesos de juny a octubre o de novembre a maig. Les dades en negreta indiquen la pluviometria mitjana dels mesos de la campanya corresponent.



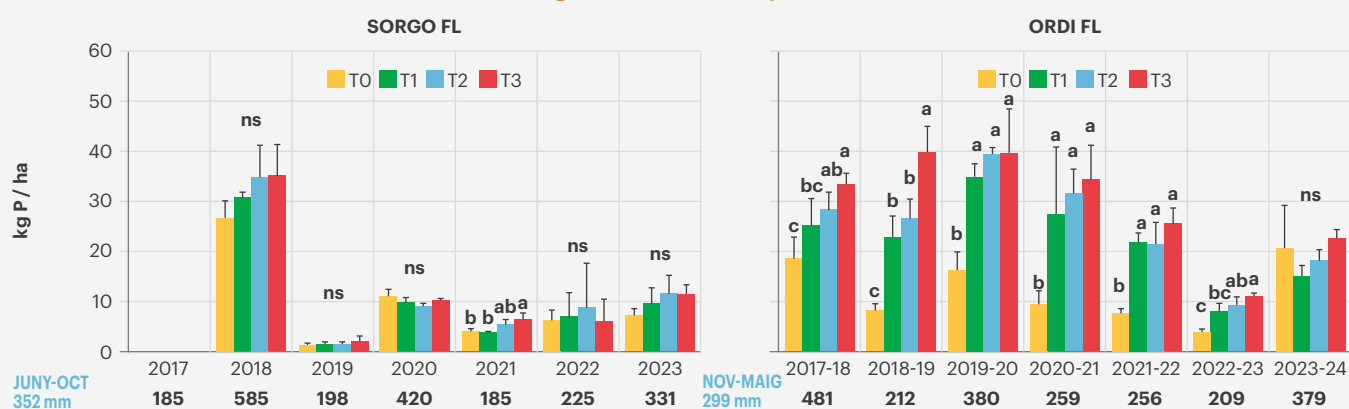
Blat de moro-triticaie purí 2006-2012



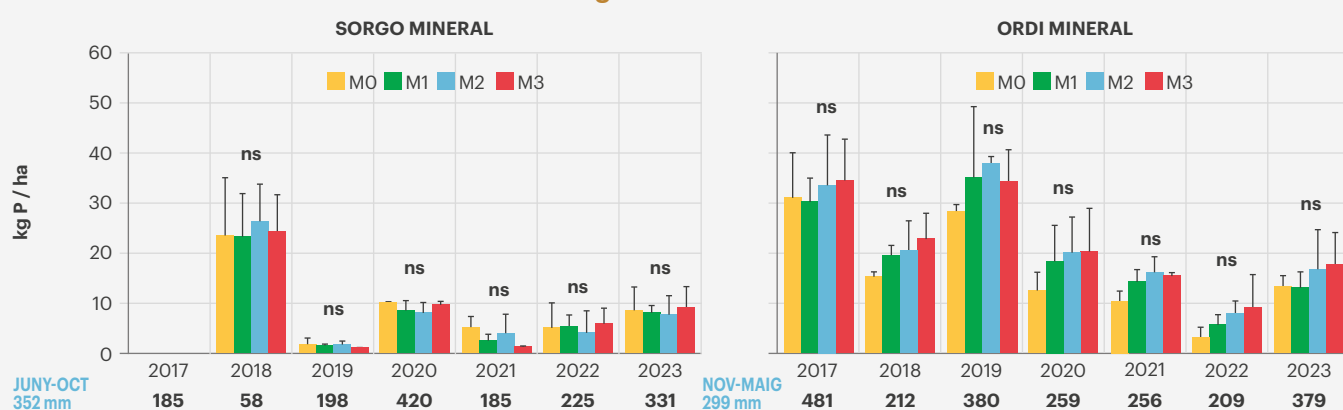
Sorgo-ordi purí 2012-2017



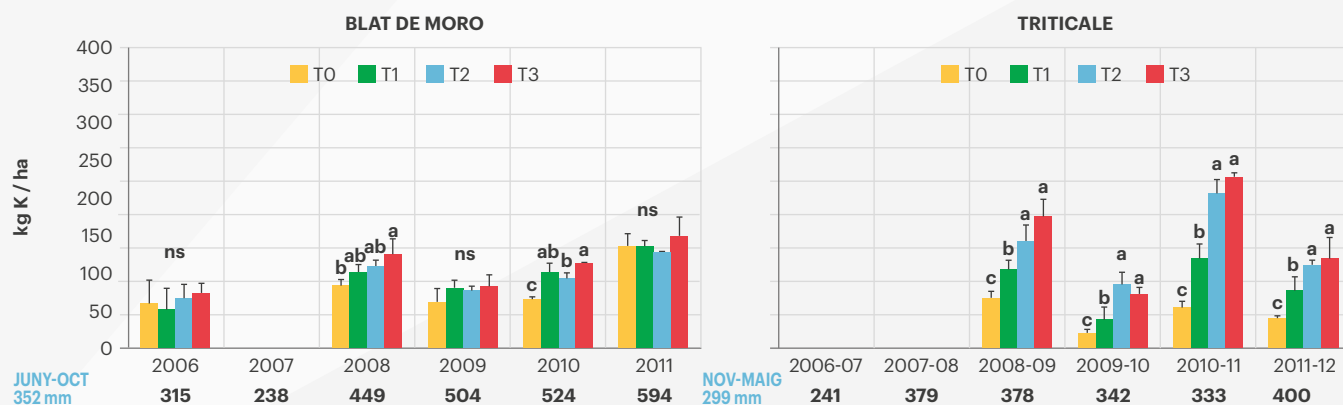
Sorgo-ordi fracció líquida 2017-2024



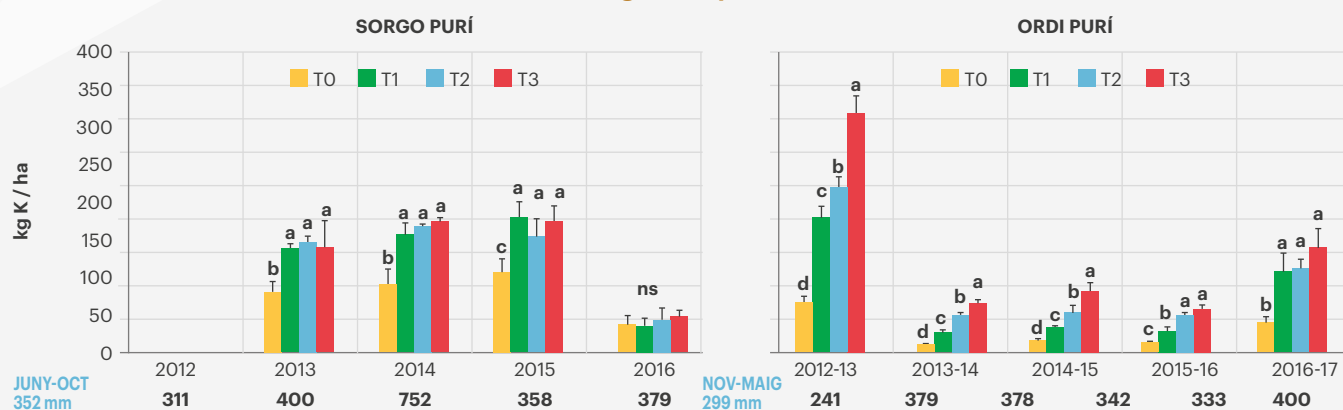
Sorgo-ordi mineral 2017-2024



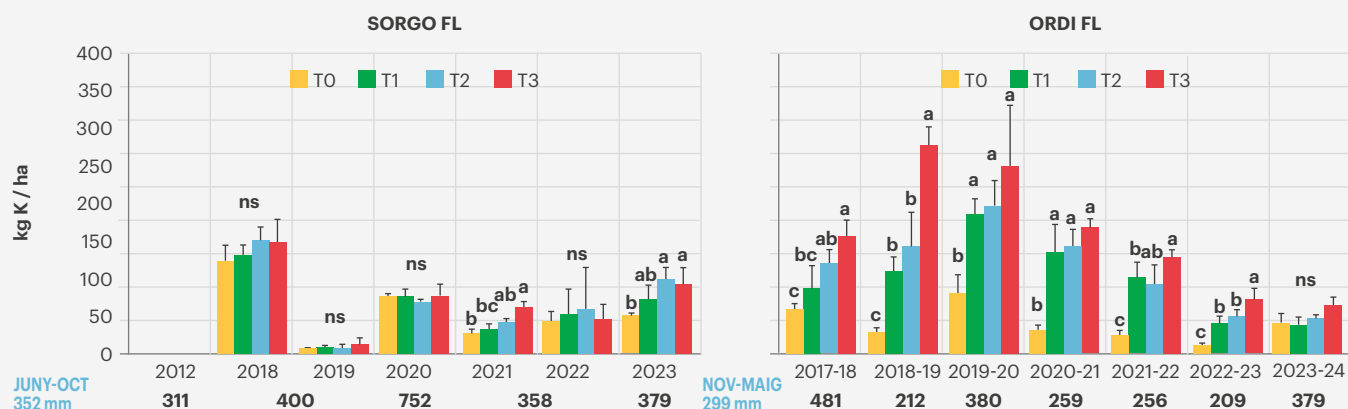
Blat de moro-tritcale purí 2006-2012



Sorgo-ordi purí 2012-2017



Sorgo-ordi fracció líquida 2017-2024



Sorgo-ordi mineral 2017-2024

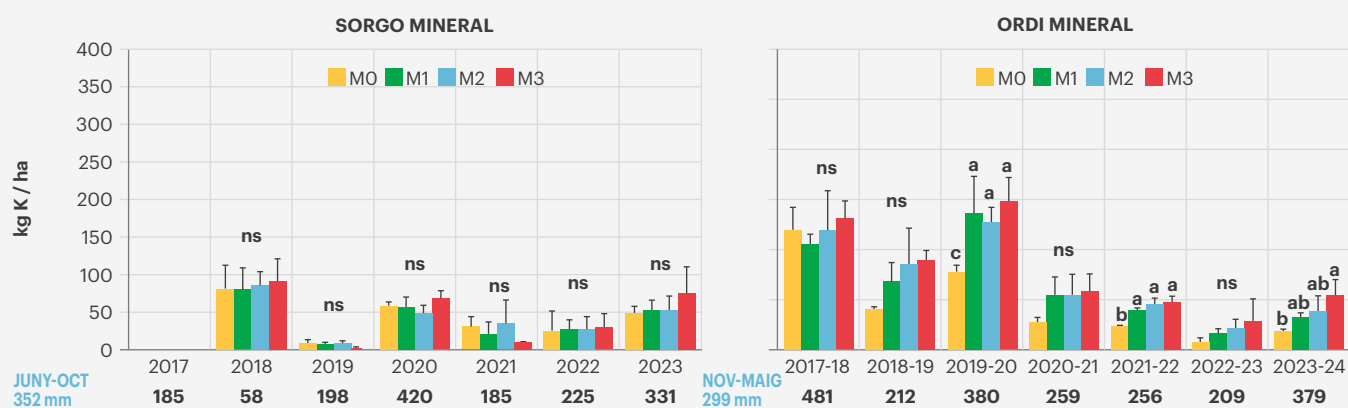


Figura 16

Extraccions anuals de potassi (kg K/ha) obtingudes en cadascun dels cultius per a les diferents rotacions i estratègies de fertilització. Les columnes corresponen a la mitjana dels valors de les parcel·les de cada tractament amb purí i fracció líquida (T0, T1, T2 i T3) i adob mineral (M0, M1, M2 i M3). Les dades en blau indiquen la pluviometria mitjana de tot l'assaig, corresponent als mesos de juny a octubre o de novembre a maig. Les dades en negreta indiquen la pluviometria mitjana dels mesos de la campanya corresponent.



4.3 Qualitat farratgera

La qualitat nutritiva del farratge ve determinada pels continguts de proteïna i de fibres que presenti. El valor nutritiu varia entre les diferents espècies i varietats de cereals i també en funció de les pràctiques agronòmiques que s'estableixen i del moment de la collita del cereal.

El contingut de proteïna del farratge és un dels paràmetres de qualitat més interessant des del punt de vista d'alimentació animal. Els resultats obtinguts en l'assaig constaten que la fertilització nitrogenada comporta un augment del contingut de proteïna (PB i PD) del farratge, tant en les aplicacions amb purí i fracció líquida com en les de mineral. En els tractaments amb fracció líquida el contingut de proteïna bruta (PB) augmenta significativament amb la dosi més alta (T3). En canvi, es manté un contingut similar en els tractaments intermitjos (T1 i T2) (Taula 11). En l'aplicació de l'adob mineral, el contingut de PB també augmenta significativament amb el tractament M3 en el cultiu del sorgo. Quant a l'ordi, l'augment significatiu ja es produeix amb la dosi més baixa (T1). Dels quatre cereals de les rotacions estudiades, el sorgo és el que té més PB (10-11%), seguit de l'ordi i el blat de moro (7-8%) i, en darrer lloc, el triticle (6%) (Taula 11).

Tant les fibres (FB, FAD, FND) com la lignina (LAD) no varien significativament respecte a la dosi de nitrogen aplicada, amb independència del tipus de fertilitzant o del cultiu sobre el que es mesuren aquests paràmetres de qualitat. No obstant això, el sorgo i el triticle són els cultius que tenen un contingut més elevat de FB i de LAD (Taula 11), mentre que el blat de moro és el cultiu que en té menys.

La fertilització nitrogenada tampoc va comportar canvis en el contingut de midó del farratge, en cap dels fertilitzants aplicats. Els valors de midó obtinguts en el farratge van ser molt diferents entre els cultius. Els més elevats es van obtenir en el blat de moro (34%), seguits per l'ordi (13-21%) i el triticle (7-8%), mentre que el sorgo va registrar els valors més baixos (4%) (Taula 11).

Taula 11

Paràmetres de qualitat farratgera en cadascun dels cultius i rotacions establertes, per a cada període i estratègia de fertilització. Els valors corresponen a la mitjana de cada tractament (T0, T1, T2, T3 per al purí i la fracció líquida; M0, M1, M2, M3 per a l'adob mineral). Les lletres diferents indiquen diferències significatives entre tractaments segons la prova de rang múltiple de Duncan ($p < 0,05$). Sense lletra indica que no hi ha diferències significatives. PB: Proteïna bruta; PD: proteïna digerible; FB: fibra bruta; FAD: fibra àcid detergent; FND: fibra neutre detergent; LAD: lignina àcid detergent.

ROTACIÓ (PERÍODE)	ADOB	TRACTAMENT	CULTIU D'ESTIU						
			PB (%)	PD (%)	FB (%)	FAD (%)	FND (%)	LAD (%)	MIDÓ (%)
Blat de moro- Triticale (2006-2012)	Purí de porc	T0	6,9 b	4,4 b	18,9	20,8	42,0	1,8	34,6
		T1	7,7 a	5,1 a	18,6	21,0	41,8	2,0	33,8
		T2	8,0 a	5,4 a	17,9	20,4	41,1	2,0	34,8
		T3	8,1 a	5,5 a	17,8	20,3	40,9	1,9	34,3
Sorgo-Ordi (2012-2017)	Purí de porc	T0	6,1 b	3,4 b	32,1	38,5	66,9 a	4,1	3,1
		T1	8,4 ab	4,9 a	30,4	36,6	63,4 b	4,3	4,0
		T2	8,7 a	5,1 a	31,5	37,4	64,1 b	4,5	4,1
		T3	9,6 a	5,6 a	31,3	37,6	63,5 b	5,0	4,0
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Fracció líquida de purí de porc	T0	9,1 c	5,9 c	27,4	33,7	61,9 a	4,2 c	4,5
		T1	11,8 b	8,0 b	25,7	32,7	58,8 b	4,8 b	3,9
		T2	11,3 ab	7,6 b	26,5	33,1	59,7 b	5,2 ab	3,7
		T3	12,7 a	8,8 a	25,4	32,2	57,0 c	5,4 a	4,1
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Mineral (Sulfat amònic 21%)	M0	9,8 b	6,2 b	26,8	32,5	60,8	4,1	3,9
		M1	11,1 b	7,2 b	25,8	32,0	59,9	4,3	4,4
		M2	11,6 b	7,4 b	25,9	31,7	59,4	4,3	4,1
		M3	12,2 a	7,9 a	25,7	32,0	59,6	4,2	4,2

ROTACIÓ (PERÍODE)	ADOB	TRACTAMENT	CULTIU D'HIVERN						
			PB (%)	PD (%)	FB (%)	FAD (%)	FND (%)	LAD (%)	MIDÓ (%)
Blat de moro- Triticale (2006-2012)	Purí de porc	T0	5,6 c	3,4 b	29,5	34,5	59,8	4,4	8,1
		T1	6,0b c	3,6 b	29,5	34,3	59,6	4,3	6,9
		T2	6,4 b	3,8 b	30,2	35,1	60,7	4,5	6,8
		T3	7,3 a	4,4 a	29,9	34,9	60,3	4,4	7,8
Sorgo-Ordi (2012-2017)	Purí de porc	T0	6,6 b	4,5 b	23,1	27,2	54,0	3,0	20,9
		T1	7,3 b	5,0 ab	23,5	27,4	53,9	3,2	21,1
		T2	7,4 b	5,0 ab	23,9	27,9	54,4	3,4	21,1
		T3	8,6 a	5,7 a	24,6	29,4	55,8	3,5	18,4
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Fracció líquida de purí de porc	T0	7,0 c	4,5 c	25,3	29,8	57,6	3,4 c	16,2 a
		T1	8,2 b	5,3 b	25,6	30,5	57,4	3,6 bc	15,4 a
		T2	8,3 b	5,3 b	26,5	30,8	58,4	3,7 ab	15,3 a
		T3	10,0 a	6,3 a	26,4	33,2	58,9	3,8 a	12,9 b
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Mineral (Sulfat amònic 21%)	M0	7,4 b	4,7 b	26,1	30,1	58,1	3,7 b	16,5
		M1	8,1 b	5,0 b	27,9	31,2	58,5	3,9 ab	15,7
		M2	9,9 a	6,1 a	27,7	31,6	60,5	4,0 a	15,3
		M3	10,1 a	6,4 a	27,2	30,1	59,3	4,0 a	15,1





05

05

Dinàmica de nutrients al sòl

5.1 Contingut i dinàmica dels nitrats al sòl	52
5.2 Fertilitat del sòl	55
5.3 Coure i Zinc	62

5. Dinàmica de nutrients al sòl

5.1 Contingut i dinàmica dels nitrats al sòl

El contingut de nitrogen nítric (N-NO_3^-) en el sòl, en endavant nitrats, augmenta en incrementar la dosi de nitrogen aplicada, amb independència del tipus de fertilitzant (Figura 17). Aquest fet es pot comprovar a les dues gràfiques inferiors de la figura 17, corresponents al període 2017-2023, en què es va aplicar fracció líquida de purí i també adob mineral en forma de sulfat amònic del 21%. L'evolució dels nitrats en ambdós tractaments segueix gairebé el mateix patró, amb línies pràcticament paral·leles on l'increment de la dosi de nitrogen es tradueix en una major acumulació de nitrats en els 90 cm de sòl mostrejat.

En termes generals, el tractament mineral acumula més nitrats que la fracció líquida en qualsevol dels 4 tractaments avaluats, fins i tot en el control, malgrat la quantitat de nitrogen real aplicada sigui superior en la dejecció ramadera. Aquest fet es podria explicar, per una banda, pel maneig orgànic de les parcel·les on estava ubicat el tractament mineral, prèviament a la seva implantació, és a dir, a l'any 2017. Per una altra banda, també caldria tenir en compte que la fracció líquida té un 20% del seu nitrogen en forma orgànica, la qual no és directament disponible pel cultiu.

L'increment de nitrats en el sòl és rellevant i significatiu quan s'apliquen dosis altes, i s'accentua en els anys més secs. En serien exemples les campanyes d'estiu amb produccions molt baixes o pràcticament nul·les, com ara la de 2007, 2012, 2016, 2017, 2019, 2021 o 2022. En aquests anys, la manca d'extraccions es va traduir en una acumulació dels nitrats, majoritàriament, al mostreig de l'octubre, tot i que en certes ocasions es pot manifestar més tard, al mostreig de febrer. En aquesta línia, la figura 17 també permet detectar com en períodes secs, amb diversos anys consecutius de males collites, la tendència dels nitrats acostuma a incrementar-se, malgrat hi hagi petites oscil·lacions. Aquest efecte s'ha observat durant la darrera fase de l'assaig, a partir de la campanya 2019, amb quatre collites de cereal d'estiu molt baixes.

Per contra, durant els períodes més productius en què el cultiu d'estiu s'implanta i es desenvolupa amb èxit i s'arriba, de manera continuada, a rendiments que superen les 12 tones de matèria seca per hectàrea, l'acumulació de nitrats tendeix a reduir-se en el temps. Aquesta situació s'ha observat en dos períodes durant el transcurs de l'assaig: anys 2008 a 2012 i anys 2013 a 2015 (Figura 17).

En general, s'observa com a l'octubre, després de la sega del cultiu d'estiu, el contingut mitjà de nitrats del sòl ha donat valors considerablement més alts que al juny (Figura 17), possiblement a causa d'una major mineralització de la matèria orgànica i del nitrogen orgànic entre el període de finals d'estiu i principis de tardor. Els valors més alts de nitrats en el sòl detectats a l'octubre corresponen als anys en què el cultiu d'estiu no va arribar a implantar-se o bé es van obtenir rendiments molt baixos degut a l'escassetat de precipitacions. Aquest fet va comportar que les extraccions de nitrogen fossin molt baixes o insignificants.

L'època en què s'aporten els fertilitzants és molt important de cara a garantir un màxim aprofitament dels nutrients per part del cultiu. Les dejeccions ramaderes líquides, com els purins i les fraccions líquides, que disposen d'un elevat contingut de nitrogen amoniacal (superior al 65-70%), tenen un comportament molt similar als adobs minerals pel que fa a la disponibilitat del nitrogen. En aquest sentit, un cop aplicades, el nitrogen que contenen és ràpidament disponible pel cultiu, però alhora altament susceptible de ser rentat.

Per aquest motiu, l'any 2012 es va substituir l'aportació de presembra (fons) del cultiu d'hivern per l'aplicació a cobertora, és a dir, a la sortida de l'hivern, quan el cultiu reprèn amb força el desenvolupament vegetatiu i, amb ell, el consum de nutrients.

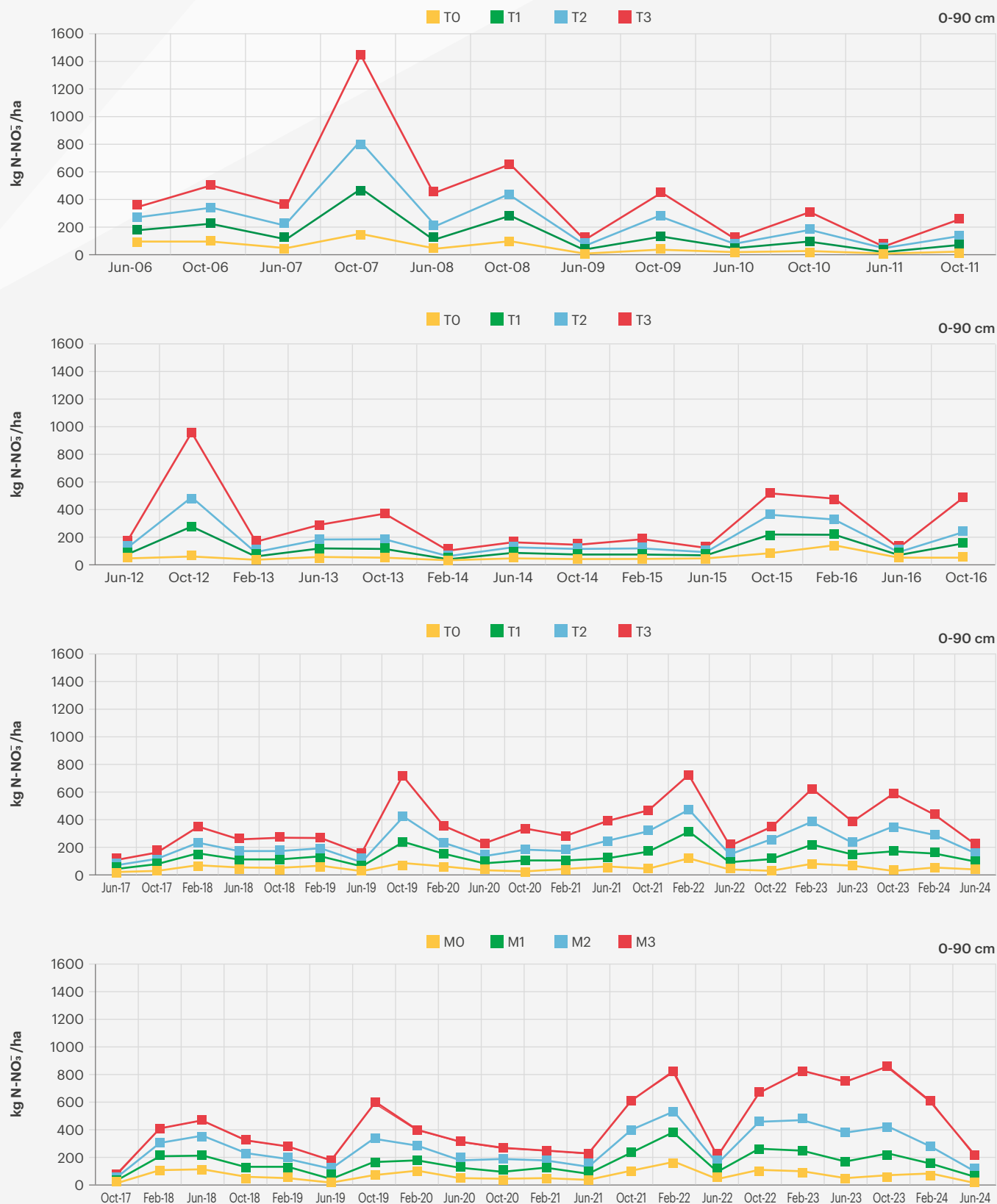
Un altre canvi que es va fer a l'assaig va ser la distribució del nitrogen anual entre els dos cultius de la rotació. Fins a l'any 2016, es va donar més pes a les aportacions de nitrogen en el cultiu d'estiu, concretament en el moment de presembra (fons) del cultiu d'estiu, i menys al cultiu d'hivern. A partir del 2017 es van fer aportacions més altes al cultiu d'hivern i es varen reduir les dosis del cultiu d'estiu.

Aquestes dues actuacions, malgrat no es pugui demostrar per manca de comparacions directes d'ambdues estratègies alhora, entenem que han millorat l'eficiència en la utilització del nitrogen durant la segona meitat de l'assaig. Una major acumulació de nitrats al sòl observada a l'octubre, fruit de l'excés de nitrogen que el cultiu no és capaç d'extraure, augmenta el risc de lixiviació de nitrogen durant la tardor i l'hivern, coincidint amb els períodes de fortes pluges.



Figura 17

Dinàmica dels nitrats al sòl (kg N-NO₃⁻/ha) de 0 a 90 cm en cadascuna de les rotacions i estratègies de fertilització avaluades. Els valors corresponen a la mitjana dels valors de les parcel·les de cada tractament amb purí i fracció líquida (T0, T1, T2 i T3); amb l'adob mineral (M0, M1, M2 i M3).



5.2 Fertilitat del sòl

El sòl del camp on es van instal·lar les parcel·les experimentals és calcari, amb més d'un 20% de carbonat càlcic, moderadament bàsic amb un pH de 8,2 i de textura franca en tot el perfil de 0 a 90 cm.

5.2.1 Matèria orgànica

Les aplicacions de dejeccions ramaderes líquides no aporten grans quantitats de matèria orgànica si es comparen amb les sòlides com els fems o el compost, però, òbviament, sí que són majors que qualsevol aportació de fertilitzants minerals. En aquest sentit, malgrat no s'esperaven grans canvis en aquest paràmetre, l'aportació continuada de purins, seguida de fraccions líquides no ha estat molt significativa i el contingut de matèria orgànica del sòl ha sofert moltes fluctuacions al llarg dels anys.

A l'inici de l'assaig (2006), el contingut de matèria orgànica a la capa superior del sòl era mitjà-baix (1,8%) i molt baix (< 1%) a les capes inferiors del sòl (30-60 i 60-90 cm) (Taula 12).

Durant el període de fertilització orgànica amb purí (2006-2016), el contingut de matèria orgànica en els primers 30 cm del sòl va mantenir-se similar als valors inicials en els tractaments baix (T1) i mitjà (T2), mentre que va incrementar-se lleugerament fins a arribar al 2% en la dosi més alta (T3), mostrant una certa acumulació derivada d'una aportació mitjana més elevada (Taula 12). Per contra, el tractament control (T0) ha reduït els valors respecte a l'inici, com a conseqüència d'un possible consum de recursos i exportació de biomassa sense aportacions que ho restituïssin.

En el següent període (entre el 2017 i el 2021), amb l'aplicació de la fracció líquida, es va reduir el nivell de matèria orgànica en tots els tractaments fins a valors inferiors als inicials (2006). Aquesta disminució es pot relacionar amb l'aplicació de la fracció líquida de purí a partir del 2017, la qual té un contingut de matèria orgànica inferior al del purí (15 kg/t vs 45 kg/t) (Taula 12). Durant aquest període, la fracció líquida va aportar unes 1,2 tones de matèria orgànica anuals, mentre que el purí aplicat durant els 6 primer anys d'assaig va incorporar-ne gairebé el doble, és a dir, prop de 2,4 tones anuals.

En el darrer període, entre el 2021 i el 2023, hi ha hagut un increment significatiu en la matèria orgànica del sòl respecte al control (T0), assolint valors superiors al 2% en tots els tractaments amb fracció líquida. La variabilitat entre aquests tres tractaments ha estat tan elevada que, malgrat la tendència a incrementar amb la dosi, no han mostrat significació (Taula 12).

A les parcel·les fertilitzades amb adob de mineral, els valors de la matèria orgànica es van mantenir estables al llarg de l'assaig (2017-2023) i no es va observar cap tendència ni pel període de mostreig ni per la dosi de fertilitzant aportat, amb excepció del tractament control (M0) en què els valors es van reduir en 3 dècimes (Taula 12). En aquest sentit, sembla que la biomassa generada com a conseqüència de les aplicacions nitrogenades també té un paper en el manteniment de la matèria orgànica del sòl, cosa que no succeeix en el testimoni (M0).

Les parcel·les on s'aplicava el tractament mineral, on no s'ha fet cap aportació addicional de matèria orgànica, el contingut és molt similar al que tenen les parcel·les on s'ha aplicat fertilitzant orgànic des de l'inici de l'assaig. Cal indicar que el punt de partida d'aquesta part del camp tenia un maneig diferenciat respecte a aquella en què s'hi feien les aplicacions de purins, malgrat fossin adjacents. Aquest fet justificaria un punt de partida més elevat amb valors de 2% de matèria orgànica (Taula 12).

Taula 12

Contingut de matèria orgànica (%) al sòl, de 0 a 30 cm de profunditat, a les parcel·les fertilitzades amb purí i fracció líquida, i amb adob mineral, durant l'assaig. Els valors corresponen a la mitjana de les parcel·les de cada tractament. Les lletres diferents indiquen diferències significatives entre tractaments segons la prova de rang múltiple de Duncan ($p < 0,05$). Si no hi ha lletres indica que no hi ha diferències significatives.

ADOB	TRACTAMENT	ANY				
		2006	2016	2017	2021	2023
Purí i fracció líquida	T0	1,8	1,6	–	1,4	1,7 b
	T1	1,8	1,8	–	1,7	2,1 a
	T2	1,8	1,8	–	1,6	2,1 a
	T3	1,8	2,0	–	1,7	2,3 a
Mineral	M0	–	–	2,0	1,7	1,7
	M1	–	–	2,0	1,9	1,9
	M2	–	–	2,0	1,8	1,9
	M3	–	–	2,0	1,9	1,9

5.2.2 Nitrogen total

A l'inici de l'assaig, (2006) el contingut de nitrogen total del sòl era relativament alt (0,14%) en la capa superior del sòl (0-30cm) i disminuïa en profunditat, fins a valors mitjans-baixos (0,1-0,008%) (Taula 13).

A les parcel·les que han rebut dejeccions ramaderes, al llarg dels diferents mostres, s'observa una tendència, sense diferències significatives, d'increment del nitrogen total respecte al control, amb independència de la dosi. A les parcel·les fertilitzades amb adob mineral, no es veu cap variació respecte a l'inici (2017) fins al darrer any (2023) en què, fins i tot, el contingut de nitrogen total del control (T0) va augmentar lleugerament (Taula 13). Aquesta dada resulta difícil d'explicar perquè ni la parcel·la ha rebut nitrogen en tot el període 2017-2023 ni s'ha generat prou biomassa com perquè hi pugui haver un canvi tan sobtat en pocs anys.

L'extrema sequera dels darrers anys va afectar de manera important als rendiments dels cultius, la qual va comportar la reducció de l'absorció del nitrogen aplicat amb la fertilització (Figura 18). En aquest sentit, l'increment en el contingut de nitrogen total que es va detectar el darrer any de l'assaig (2023), tant a les parcel·les on es va aplicar fertilitzant orgànic com adob mineral, inicialment, es podria atribuir a l'acumulació de nitrats en el sòl que no van ser absorbits per la planta durant les aplicacions continuades. No obstant això, sembla difícil que aquesta hipòtesi tingui validesa pel gran canvi observat entre els anys 2021 i 2023.



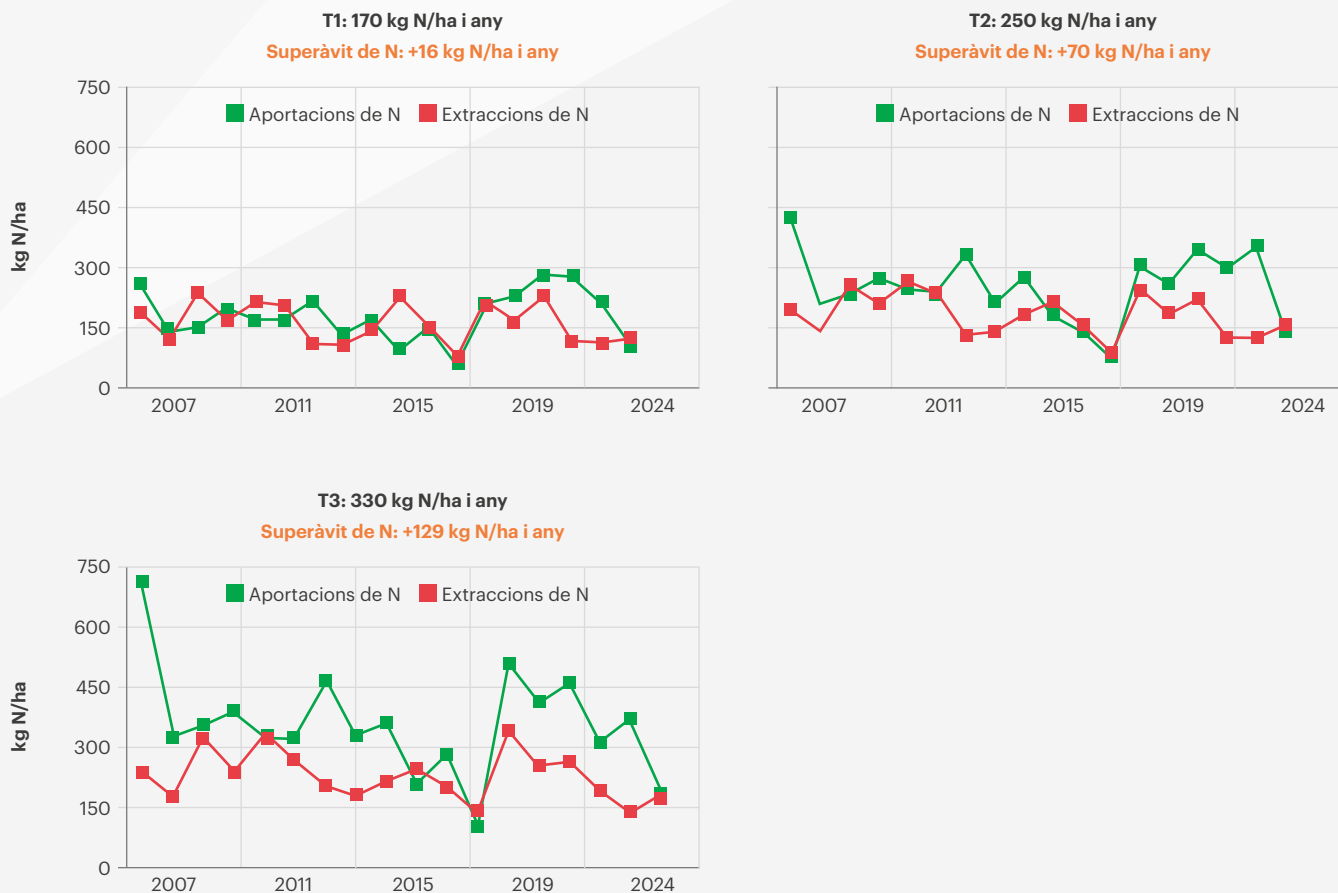
Taula 13

Contingut de nitrogen total, fòsfor assimilable i potassi assimilable en el sòl de 0-30 cm de profunditat, a l'inici de l'assaig (2006), durant l'assaig (2011, 2016, 2017 i 2021) i al final (2023) per a cadascun dels tractaments amb purí o fracció líquida i amb adob mineral. Les lletres diferents indiquen diferències significatives entre tractaments segons la prova de rang múltiple de Duncan ($p < 0,05$).

PARÀMETRE	ADOB	TRACTAMENT	ANY					
			2006	2011	2016	2017	2021	2023
Nitrogen Kjeldahl (%)	Purí i fracció líquida	T0	0,14	–	0,12	–	0,14	0,14 b
		T1	0,14	–	0,14	–	0,16	0,25 a
		T2	0,14	–	0,13	–	0,16	0,20 ab
		T3	0,14	–	0,15	–	0,15	0,26 a
	Mineral	M0	–	–	–	0,15	0,15	0,26
		M1	–	–	–	0,15	0,15	0,21
		M2	–	–	–	0,15	0,15	0,16
		M3	–	–	–	0,15	0,17	0,22
Fòsfor (P) Olsen (mg P/kg sòl)	Purí i fracció líquida	T0	34	28 b	11 c	–	9 c	13 b
		T1	34	37 a	18 b	–	21 b	35 a
		T2	34	39 a	19 b	–	20 b	44 a
		T3	34	42 a	28 a	–	33 a	51 a
	Mineral	M0	–	–	–	18	18	16
		M1	–	–	–	18	18	17
		M2	–	–	–	18	18	16
		M3	–	–	–	18	15	15
Potassi assimilable (mg K/kg sòl)	Purí i fracció líquida	T0	197	114	101	–	105	122
		T1	197	118	101	–	105	129
		T2	197	100	92	–	91	132
		T3	197	112	124	–	105	175
	Mineral	M0	–	–	–	103	79	85
		M1	–	–	–	103	98	89
		M2	–	–	–	103	83	78
		M3	–	–	–	103	97	93

Figura 18

Relació entre el nitrogen (N) aportat amb la fertilització i les exportacions de N pels cultius per a les tres dosis de N (T1, T2, T3) aplicades amb els tractaments de fertilització amb purí (2006-2017) i fracció líquida (2017-2024) al llarg de l'assaig.



5.2.3 Fòsfor assimilable

El sòl on es va ubicar l'assaig partia, de bon principi (2006), de valors mig-alts de fòsfor assimilable en els primers 30 cm, sense ser alarmants en cap cas, i ha anat sofrint canvis durant la resta dels anys. En tots els períodes mostrejats, el contingut de fòsfor en aquesta primera capa (0-30 cm) augmenta en incrementar la dosi de nitrogen aplicada. La dosi alta dona lloc a valors molt superiors respecte al control (Taula 13). En els tractaments de 170 (T1) i 250 kg N/ha (T2), els continguts de fòsfor es van mantenir similars entre ells, excepte en el darrer any (2023) en el qual el contingut de fòsfor de la dosi mitjana (250 kg N/ha) va ser superior al de la dosi més baixa (170 kg N/ha). En les capes inferiors del sòl, el contingut de fòsfor va ser semblant en tots els tractaments i al control (Taula 13).

L'aplicació continuada de dejeccions ramaderes acostuma a acumular fòsfor al sòl com a conseqüència del rati N/P desequilibrat entre la seva composició i les necessitats del cultiu. L'acumulació de fòsfor al sòl serà més elevada com més petita sigui la relació N/P, sempre i quan es facin les aplicacions amb criteri nitrogen.

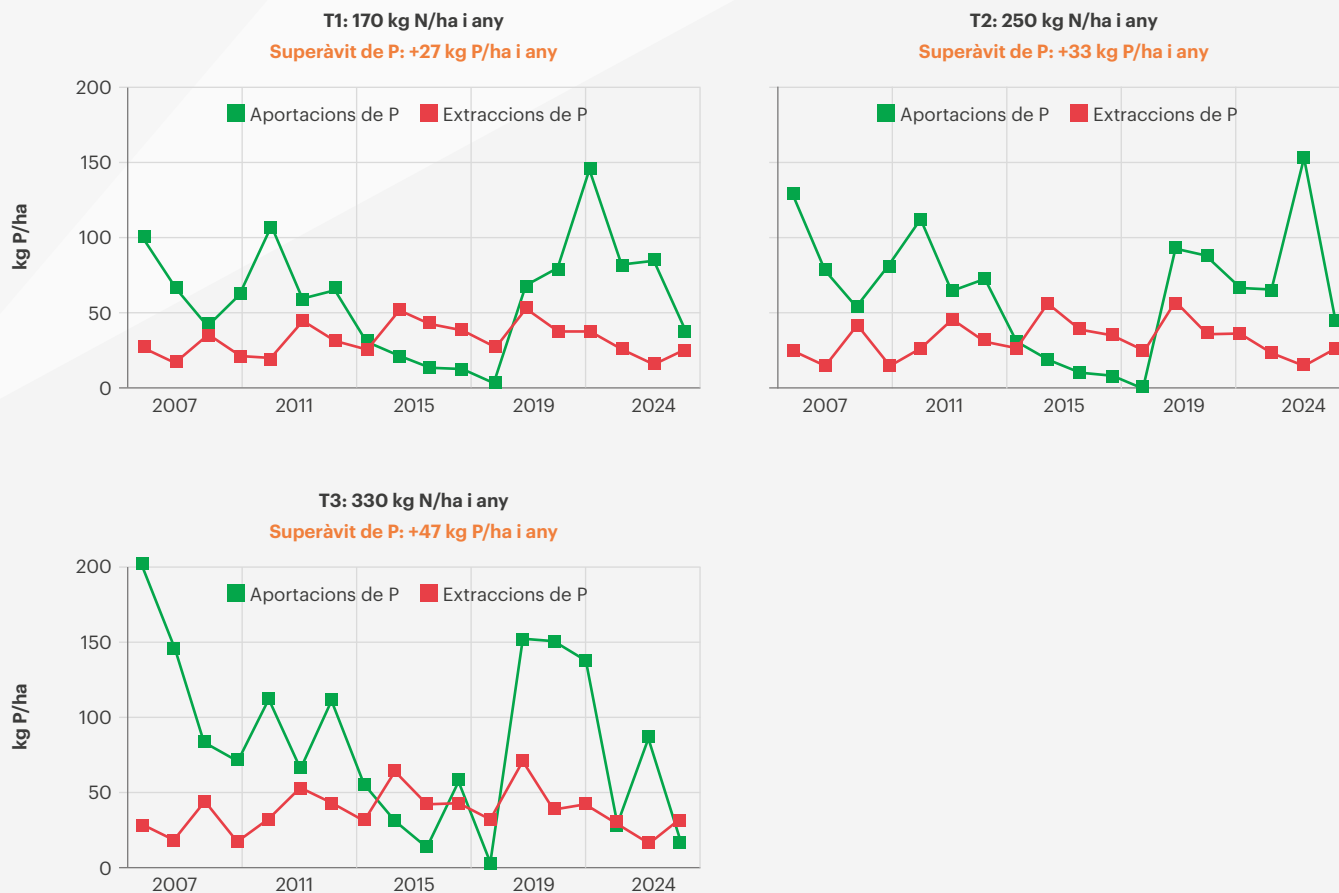
Durant tot el període de l'assaig, la quantitat de fòsfor aplicada ha estat molt irregular (Figura 19), pel fet que es tractava d'un assaig de nitrogen en el qual les aportacions de fòsfor hi són colaterals. És per aquest motiu que és molt difícil mantenir aplicacions equilibrades de nutrients quan s'apliquen fertilitzants orgànics, malgrat disposar d'eines com el conductímetre, capaces de fer una molt bona estimació del nitrogen i potassi aportats. Aquesta variació s'observa en les figures 18, 19 i 20 en les quals hi ha representades les entrades (purins i fraccions líquides) i sortides (exportacions) de nutrients (N, P i K) durant tots els anys.

El fet de tractar-se d'un camp d'assaig, en què les dimensions de les parcel·les són molt reduïdes, dificulta encara més l'homogeneïtat de les aplicacions. Tot i això, aquest fet no ha de suposar un problema perquè el sòl és capaç de regular l'equilibri entre les formes assimilables pel cultiu i aquelles que no ho són, de manera que només cal anar seguint les indicacions de les anàlisis de sòls i mantenir-nos en continguts acceptables, per exemple, entre els 20 i 40 mg/kg de P o de 125 i 250 mg/kg de K sobre sòl sec.

Durant el primer període de l'assaig (2006-2011), a la capa superior del sòl (0-30 cm) la concentració de fòsfor disponible va augmentar al incrementar la dosi de nitrogen aplicada. (Taula 13). En el període següent (2011-2016), hi ha una disminució important en el contingut de fòsfor en tots els tractaments de fertilització, fins a valors inferiors als de l'inici de l'assaig (2006). El rendiments dels cultius, sobretot el cultiu d'estiu, van ser alts durant aquest període, amb poc dèficit hídric a l'estiu, la qual cosa explica que hi hagués una major absorció de fòsfor, i conseqüentment una reducció dels nivells de fòsfor en el sòl. En el següent període (2016-2021), el contingut d'aquest element va augmentar lleugerament respecte al 2016, assolint un nivell semblant al de l'inici de l'assaig en la dosi alta (330 kg N/ha) i es va mantenir a valors inferiors en les aplicacions més baixes (170 i 250 kg N/ha) (Taula 13 i Figura 19). Finalment, entre el 2021 i 2023, el període de sequera dels darrers anys, amb molt baixa disponibilitat d'aigua i, per tant, amb unes exportacions de nutrients reduïdes degut als baixos rendiments dels cultius, va comportar un increment significatiu en el contingut de fòsfor al sòl, fins a arribar a valors molt superiors als de l'inici de l'assaig en els tractaments de les dosis altes (250 i 330 kg N/ha) (Taula 13 i Figura 19).

Figura 19

Relació entre el fòsfor (P) aportat amb la fertilització i les exportacions de fòsfor pels cultius per a les tres dosis de nitrogen (T1, T2, T3) aplicades amb els tractaments de fertilització amb purí (2006-2017) i fracció líquida (2017-2024) al llarg de l'assaig.



5.2.4 Potassi assimilable

El contingut inicial de potassi en el sòl, de 0-30 cm, era mig-alt (197 mg K/kg) i els nivells han anat disminuint durant tot el període en tots els tractaments, tant en els de fertilització orgànica com en els d'adob mineral (Taula 13). Aquest fet indica que les dosis de potassi que requereix aquest sistema de doble cultiu amb aprofitament farratger té un consum elevat d'aquest element que no el poden suplir unes dosis agronòmiques de dejeccions ramaderes líquides. Tot i que aquesta situació pot ser habitual en condicions similars, caldrà sempre observar la composició d'aquest nutrient per assegurar un correcte subministrament per al cultiu. En cas de considerar-se que les necessitats del sistema, degut a l'exportació de la planta sencera en els dos cultius, estan per sobre de les aportacions anuals, caldrà valorar un complement amb adobs minerals.

Tot i que el contingut de potassi en l'assaig ha estat més alt en el purí que en la fracció líquida, la disminució dels nivells de potassi en el sòl ha estat més pronunciada en els tractaments en què es va aplicar purí (2006 fins al 2017).

No obstant això, aquest descens probablement està més relacionat amb les collites, més elevades en aquella dècada, que amb la composició de les dejeccions. És important ressaltar com les parcel·les testimoni no difereixen significativament d'aquelles fertilitzades. Les segones, malgrat rebre aportacions de potassi amb els purins, en van extreure més amb la collita dels farratges.

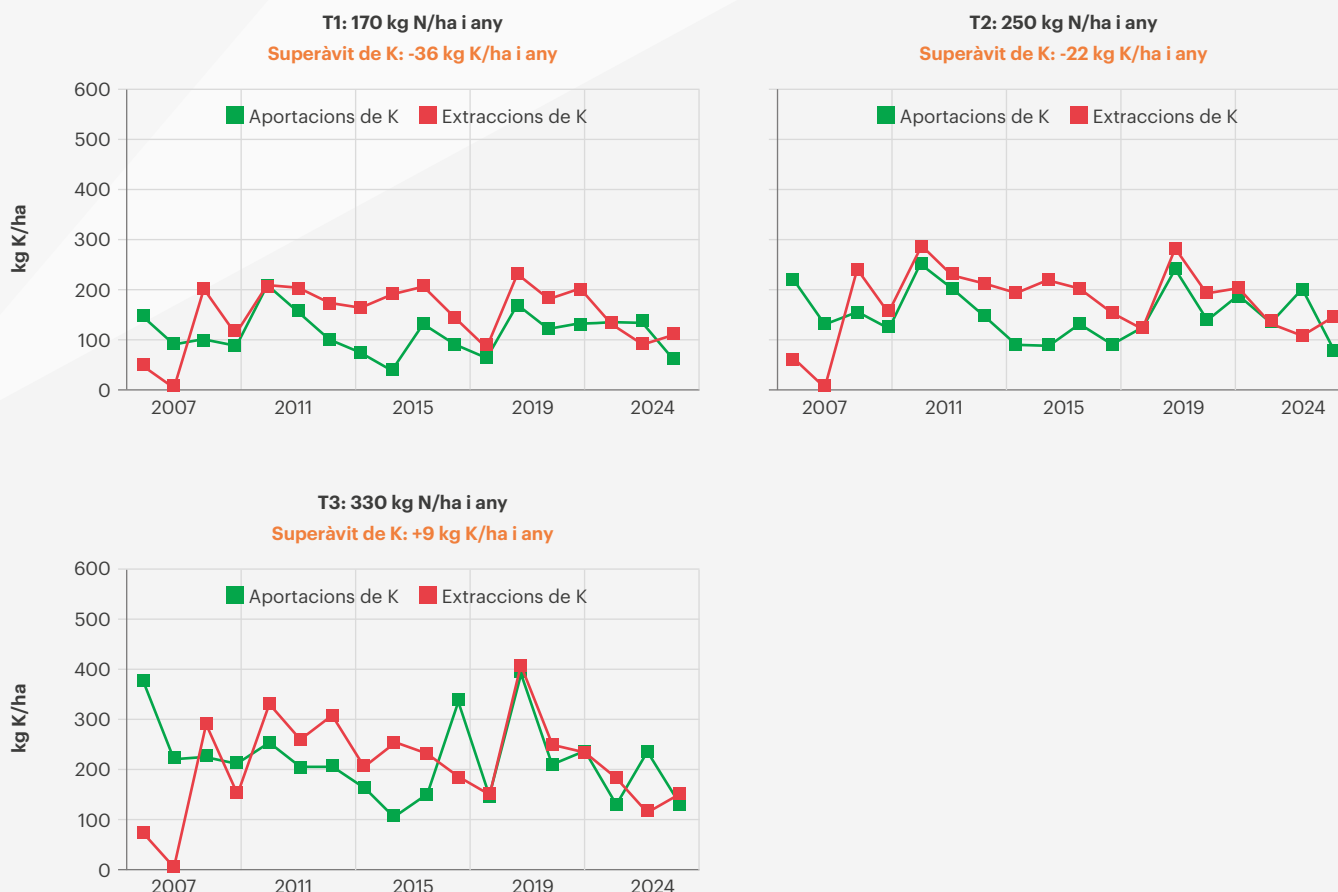
En la primera rotació de blat de moro i triticle (2006-2012), s'ha detectat un important descens dels continguts d'aquest element (Taula 13) que es relaciona amb les altes extraccions de potassi durant aquest període (Figura 20). En la següent rotació de sorgo i ordi fertilitzada amb purí fins al 2016 i amb fracció líquida fins al 2021, els continguts de potassi en el sòl es van mantenir baixos en tots els tractaments (Taula 13), però sense descensos tan pronunciats. Durant el darrer període, fertilitzat amb fracció líquida, el potassi del sòl va augmentar lleugerament respecte a la dècada anterior, tot i mantenir-se a nivells baixos i inferiors als valors que hi havia a l'inici de l'assaig (Taula 13). Tal com s'ha comentat en el cas del fòsfor, aquest increment dels darrers anys, es pot atribuir amb molta probabilitat al fet que la sequera continuada i registrada en aquesta zona a partir de l'any 2021 va provocar un important descens del rendiment i, en conseqüència, una reducció de les extraccions de potassi en ambdós cultius de la rotació (Figura 20).

En el cas de l'aplicació de l'adob mineral, els continguts de potassi al sòl també han disminuït lleugerament respecte als valors inicials (2017), sense observar una tendència clara de variació segons la dosi de fertilitzant aplicat; ni tan sols a les parcel·les control (Taula 13).



Figura 20

Relació entre el potassi (K) aportat amb la fertilització i les exportacions de potassi pels cultius per a les tres dosis de nitrogen (T1, T2, T3) aplicades amb els tractaments de fertilització amb purí (2006-2017) i fracció líquida (2017-2024) al llarg de l'assaig.



5.3 Coure i zinc

El contingut de coure en el nivell superior del sòl ha augmentat en tots els tractaments amb fertilitzant orgànic (purí i fracció líquida) respecte a l'inici de l'assaig. Aquest increment és destacable en el tractament que rep la dosi més elevada de dejeccions (T3), on gairebé s'ha duplicat (Taula 14) si es compara amb els valors de l'any 2006. No obstant això, cal posar l'atenció en el control, en el qual també s'ha incrementat el contingut si s'observa en comparació amb els valors de l'inici de l'assaig. Aquesta particularitat fa posar en dubte si l'increment ha estat realment tan elevat, fins al punt de duplicar les xifres inicials en gairebé dues dècades. La representativitat del mostreig, així com altres variacions lligades amb les anàlisis de laboratori podrien haver influït en aquests resultats. Tenint en compte les poques exportacions de coure amb les collites de les parcel·les control i la no aportació d'aquest microelement durant tots els anys d'assaig, es considera més probable que l'increment a què ha donat lloc l'aportació continuada de dejeccions ramaderes ha estat d'una mitjana de 3 mg/kg de coure, equivalent a un 10%.

En el cas del zinc, l'evolució del tractament control ha estat més raonable, de manera que també ha augmentat en tots els tractaments amb fertilitzants orgànics des de l'inici de l'assaig, amb un increment de l'ordre del 20% (Taula 14).

Tot i que els continguts de coure i zinc hagin incrementat lleugerament amb les aplicacions continuades de fertilitzants orgànics, els valors són inferiors als llindars màxims permesos en la normativa per a sòls amb pH superior a 7. Aquesta normativa estatal (Reial Decret 1051/2022) fixa 100 mg/kg pel coure i 200 mg/kg pel zinc, xifres molt per sobre de les obtingudes al final de l'assaig.

L'aportació continuada de nitrogen amb l'adob mineral no ha donat lloc a canvis en els continguts de coure i de zinc en el nivell superior del sòl (0-30 cm) (Taula 14).

Taula 14

Contingut de coure (Cu) i zinc (Zn) (extracte àcid) en temps per a cadascun dels tractaments amb purí i fracció líquida, i adob mineral, a la profunditat de 0-30 cm.

PARÀMETRE	ADOB	TRACTAMENT	ANY			
			2006	2016	2017	2023
Coure (mg/kg sòl)	Purí i fracció líquida	T0	23	30	–	36
		T1	23	31	–	39
		T2	23	32	–	39
		T3	23	39	–	41
	Mineral	M0	–	–	32	33
		M1	–	–	32	37
		M2	–	–	32	35
		M3	–	–	32	35
Zinc (mg/kg sòl)	Purí i fracció líquida	T0	80	69	–	79
		T1	80	75	–	91
		T2	80	72	–	92
		T3	80	83	–	96
	Mineral	M0	–	–	75	76
		M1	–	–	75	80
		M2	–	–	75	77
		M3	–	–	75	81



06

06

Avaluació agroambiental

6.1 Balanç de nutrients	66
6.2 Eficiència en l'ús del nitrogen	68
6.3 Nitrogen i fòsfor residuals al sòl	69

6. Avaluació agroambiental

6.1 Balanç de nutrients

El càlcul del balanç del nitrogen pot indicar, de manera senzilla, com s'ajusta la fertilització a les necessitats dels cultius i com varia aquest ajust al llarg dels anys. En la rotació blat de moro-tritcale, en aplicar de l'ordre de 170 kg N/ha i any, hi ha un dèficit de nitrogen, mentre que quan s'apliquen dosis superiors, n'hi ha en excés (Taula 15). No obstant això, cal tenir en compte que, en aquesta primera rotació, es van donar una sèrie de condicionants que podrien ser millorats: l'aplicació del purí es va fer en fons abans de la sembra de cada cultiu, el purí es va aplicar mitjançant una cisterna amb plat i la major part del total de la dosi anual va ser aplicada en fons del cultiu d'estiu. A més, cal tenir en compte que el rendiment del blat de moro va ser variable al llarg del cicle experimental i, per tant, les extraccions no van ser ni elevades ni regulars en el temps. Tot això, podria suggerir que, hi va haver moltes pèrdues de nitrogen per volatilització en el moment de la fertilització i, probablement, també per rentat dels nitrats a causa de l'època en què es van efectuar les aplicacions al cereal d'hivern. Per tant, tenint en compte els atenuants comentats, caldria aplicar pràctiques agronòmiques més raonades per incrementar l'eficiència en la utilització del nitrogen.

En la rotació de sorgo i ordi, sobretot en el balanç de nitrogen del període 2017-2024, ha existit un excés de nitrogen en totes les dosis aplicades, inclosa la dosi baixa (Taula 15). Durant aquesta rotació es van introduir canvis amb l'objectiu d'incrementar l'eficiència del nitrogen aplicat. L'aportació es va fer amb una cisterna de tubs penjants i es va canviar el moment de l'aplicació del fons al cereal d'hivern per fer-la en cobertura a finals d'hivern (al març), quan el cultiu reprèn el creixement. A partir de l'any 2017, es va reduir la dosi aplicada en fons i es va incrementar la dosi de l'aplicació en cobertura. Malgrat que tots aquests canvis en l'aplicació del fertilitzant hagin pogut millorar l'eficiència en l'ús del nitrogen i reduir-ne l'excés en el balanç amb les dosis baixes, la variabilitat i l'escassetat de les precipitacions durant l'estiu en el cultiu del sorgo encara van ser més accentuades que les dels primers anys en el cultiu del blat de moro. Per tant, aquesta variabilitat climàtica comporta que quan s'apliquen dosis superiors a 170 kg N/ha i any hi hagi un risc important d'acumulació de nitrats al sòl durant alguns períodes de l'any, especialment quan la collita és baixa o gairebé nul·la.

Les condicions de secà en clima mediterrani subhumit, la irregularitat i l'escassetat de les precipitacions que es produeixen, sobretot en el període del cultiu d'estiu i puntualment en el cultiu d'hivern, limiten la dosi de nitrogen que cal aportar mitjançant la fertilització.

Per a la majoria dels anys, en el sistema de doble cultiu estudiat, la dosi de 170 kg N/ha i any sembla ser la més adequada per assegurar una collita adequada i reduir el risc de lixiviació de nitrats lligat a un excés de fertilització nitrogenada.

Pel que fa al fòsfor, hi ha va haver un excés important d'aquest element en aplicar la dosi baixa de dejeccions (T1), tant a la primera rotació de blat de moro i tritcale (2006-2012) fertilitzada amb purí, com a la darrera rotació de sorgo i ordi (2017-2024) on es va aplicar la fracció líquida (Taula 15). L'excés de fòsfor detectat en el balanç confirma la necessitat de reduir la dosi de 170 kg N/ha en els períodes de sequera.

En el cas del balanç del potassi, l'aplicació de la dosi baixa de dejeccions, dona lloc a un dèficit (Taula 15), per la qual cosa seria recomanable fer aportacions de potassi cada certs anys.

Taula 15

Balanç de nitrogen (N), fòsfor (P) i potassi (K) global per cada rotació i tipus de fertilitzant, per a tot el període de l'assaig (2006 – 2024).

ROTACIÓ (PERÍODE)	ADOB	TRACTAMENT	BALANÇ N (kg N/ha)	BALANÇ P (kg P/ha)	BALANÇ K (kg K/ha)
Blat de moro- Triticale (2006-2012)	Puri	T0	-558	-118	-103
		T1	-164	268	17
		T2	64	347	104
		T3	400	489	392
Sorgo-Ordi (2012-2017)	Puri	T0	-349	-94	-60
		T1	6	-48	-445
		T2	169	-49	-436
		T3	464	45	-219
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Fracció líquida de Puri	T0	-625	-133	-108
		T1	329	272	-217
		T2	541	290	-68
		T3	855	316	-10
Sorgo-Ordi (2017-2024)	Mineral (Sulfat amònic 21%)	M0	-631	-161	-632
		M1	-359	-177	-796
		M2	-111	-194	-855
		M3	135	-195	-957





6.3 Nitrogen i fòsfor residuals al sòl

En aquest assaig a llarg termini, les dosis mitjana (T2) i alta (T3) tendeixen a incrementar el contingut de nitrats al sòl, malgrat que la dependència de la pluviometria i les conseqüents variacions en els rendiments contribueixin a què hi hagi certes fluctuacions en el temps en aquest indicador al llarg dels anys. El monitoratge efectuat durant totes les campanyes indica que, en determinats moments dels diferents períodes registrats, els dos tractaments arriben a acumular valors entre 300 i 400 kg de nitrogen nítric en els primers 90 cm, xifra que vindria a ser, aproximadament, el doble de les quantitats extretes pel doble cultiu en aquestes condicions. En el cas de la dosi més elevada, s'arriba a llindars realment preocupants que, en condicions de pluges abundants, poden arribar a donar lloc a pèrdues de nitrogen per rentat. En aquest sentit, la utilització d'aquestes dues dosis tan elevades no té sentit agronòmic i pot contribuir a la contaminació de les aigües.

Pel que fa al fòsfor, la dosi més baixa de fertilització amb nitrogen (T1) sembla ser l'estratègia més sostenible pel que fa a mantenir més o menys estable el contingut de fòsfor del sòl després de gairebé dues dècades de fertilització continuada amb purí o amb fracció líquida de purí (Figura 19). Les parcel·les dels tractaments amb adob mineral no s'han fertilitzat amb fòsfor en cap dels anys de l'estudi. La utilització d'adobs minerals nitrogenats, com a conseqüència, ha contribuït a mantenir o, fins i tot, a reduir el contingut de fòsfor en el sòl respecte als valors inicials (Taula 13). Per aquest motiu, la combinació amb aquests adobs pot ser una estratègia en aquells casos en què els valors de fòsfor al sòl comencin a incrementar-se.





07

07

Valoració final de les estratègies

7.1 Conclusions	72
7.2 Recomanacions	74

7. Valoració final de les estratègies

7.1 Conclusions

Les conclusions que es detallen a continuació s'han extret dels resultats de 18 anys de seguiment d'un camp d'assaig ubicat a la Plana de Vic, amb unes característiques edafoclimàtiques específiques. Malgrat puguin ser representatives de gran part de la Plana de Vic, hi pot haver parcel·les o, fins i tot, determinades zones amb certes particularitats que facin que no es vegin totalment reflectides en les conclusions presentades.

En el sistema de doble cultiu en secà, a la Plana de Vic, el cultiu d'estiu està totalment lligat a les precipitacions de l'estiu. Els anys amb pluviometria inferior als 100 mm durant els mesos de juny i juliol han compromès totalment la viabilitat del conreu d'estiu.

La producció augmenta significativament amb la fertilització nitrogenada amb purí en el cultiu d'hivern en gran part dels anys avaluats, tant en el triticle com en l'ordi, però no hi ha diferències significatives en el cultiu d'estiu.

En les dues rotacions estudiades (blat de moro-triticle i sorgo-ordi), durant el període 2006-2024, les produccions del cultiu d'hivern són més altes que les del cultiu d'estiu. Per aquest motiu, en la fertilització orgànica anual dels dos cultius es recomana aplicar la major part de la dosi en la cobertura del cereal d'hivern i la resta de la dosi en fons (presebra) del cereal d'estiu.

El contingut de nitrats en el sòl (0-90 cm) augmenta significativament amb l'increment de la dosi de nitrogen aplicada i aquest increment és molt rellevant amb les dosis altes (T3).

El contingut de proteïna bruta (PB) i de proteïna digerible (PD) van tenir una resposta positiva a les diferents dosis de fertilització nitrogenada plantejades. Tant en els tractaments amb fertilitzant orgànic com amb adob mineral, el contingut de PB i PD va ser superior en el cultiu d'estiu respecte del cultiu d'hivern.

Les extraccions de nitrogen detectades en els tres tractaments estudiats amb dejeccions són inferiors als 200 kg N/ha. Per tant, per als sistemes de doble cultiu anual en les condicions de secà de la Plana de Vic estudiades, la fertilització per sobre dels 170 kg N/ha i any presenta un elevat risc de pèrdua de nitrogen per rentat.

El contingut de matèria orgànica ha sofert certes fluctuacions en el temps, més aviat lligades a les quantitats de dejeccions aportades que no pas al seu tipus (purí porcí o fracció líquida de purí porcí). Per contra, les aplicacions d'adobs minerals no han mostrat aquesta tendència.

En el balanç de nitrogen de la rotació de sorgo i ordi, amb rendiments i extraccions més baixes que la de blat de moro i triticle, hi ha un excés de nitrogen en totes les dosis de nitrogen aplicades, inclosa la dels 170 kg N/ha, permessa en les zones vulnerables.

L'aplicació de 170 kg N/ha és la dosi que genera menys excedents de nitrogen en el conjunt de tot el període d'assaig avaluat. Els períodes on la climatologia ha permès obtenir bones collites, la dosi baixa presenta un balanç de nitrogen lleugerament deficitari.

Malgrat que la producció mitjana anual dels dos cultius tingui una resposta positiva a la dosi de nitrogen aplicada, els excedents de nitrogen obtinguts en les aplicacions a llarg termini no justifiquen una fertilització continuada per sobre els 170 kg N/ha i any en el sistema de doble cultiu en condicions de secà a la Plana de Vic. Els resultats de l'assaig corroboren que la limitació actual existent de 170 kg N/ha i any procedent de fonts orgàniques és suficient per a les rotacions farratgeres de doble cultiu anual en aquesta zona.

La fertilització orgànica amb 170 kg N/ha i any en el doble cultiu anual, comporta un lleuger excedent de fòsfor en el nivell superior del sòl (0-30 cm), però una acumulació notable d'aquest nutrient en fer ús de les dosis més elevades (T2 i T3).

El contingut de potassi en el sòl disminueix quan s'apliquen 170 kg N/ha i any. Per tant, en la fertilització orgànica amb purí caldrà fer aportacions periòdiques de potassi per evitar el dèficit d'aquest nutrient, en funció de les necessitats del cultiu i del rati N/K del fertilitzant utilitzat.

L'aplicació continuada de purí o fracció líquida ha incrementat lleugerament els continguts de coure i zinc al sòl, molt per sota dels valors legalment permesos per la legislació vigent, fins i tot amb les dosis més altes.

Els diferents indicadors agroambientals estudiats (balanç de nutrients, NUE i contingut de nitrogen i fòsfor residuals) indiquen com les dosis més baixes dels tractaments estudiats se situarien dins els rangs òptims que informen sobre el potencial d'acumulació de nutrients i la seva eficiència.

Atenent a les condicions climàtiques particulars de la Plana de Vic i a les característiques dels sòls on s'ha fet l'assaig, la dosi de 170 kg N/ha i any sembla ser la més adequada per assegurar uns rendiments de collita en sistemes de doble cultiu farratger i per minimitzar el risc de lixiviació de nitrats i l'acumulació de fòsfor en el sòl. Aquesta conclusió no seria extrapolable a aquelles zones que, per les característiques edàfiques o la posició fisiogràfica, tenen una major disponibilitat d'aigua durant el període d'estiu. En els anys de sequeres més severes, caldria, fins i tot, reduir aquesta dosi de 170kg N/ha.

7.2 Recomanacions

Les dades climàtiques recollides de la Plana de Vic evidencien una tendència a l'alça de les temperatures, juntament amb un descens de la pluviometria mitjana anual i estival, fets que condicionen la viabilitat del cultiu d'estiu a la Plana de Vic. Malgrat el canvi cap a cultius amb menors exigències hídriques, aquests canvis podrien ser insuficients per garantir una segona collita. Conseqüentment, la fertilització hauria d'adaptar-se a aquesta nova tendència.

A partir dels resultats obtinguts en el camp d'assaig de Torelló durant 18 anys, i les consideracions exposades anteriorment, es proposen recomanacions per a l'estratègia de fertilització més adequada quan es fan rotacions farratgeres amb dos cultius anuals en condicions de secà a la Plana de Vic, la qual permet tenir un bon rendiment dels cultius, mantenir un bon estat de qualitat del sòl i reduir l'impacte de la contaminació per nitrats.

Les recomanacions que es detallaran a continuació sobre la fertilització amb nitrogen, fòsfor i potassi, així com sobre el moment i distribució del fertilitzant, s'han extret en base als tractaments i rotacions de l'assaig.



7.2.1 Fertilització nitrogenada

Segons la normativa actual (Decret 153/2019) la quantitat de nitrogen a aplicar anualment en els dos cultius no pot superar la dosi màxima de nitrogen de 170 kg N/ha procedent d'adobs orgànics, segons la normativa actual que afecta a les zones vulnerables en relació amb la contaminació per nitrats.

Les extraccions mitjanes totals de les rotacions comptabilitzades per a tot el període d'assaig (2006-2024), en cap cas han superat els 200 kg N/ha. Per tant, per als sistemes de doble cultiu en les condicions de secà de la Plana de Vic estudiades, la fertilització per sobre dels 170 kg N/ha difícilment se sustenta agronòmicament i, a més, incrementa el risc de pèrdua de nitrogen. Els resultats de l'assaig corroboren que la limitació actual existent de la dosi màxima de 170 kg N/ha i any procedent de fonts orgàniques és adequada per a les rotacions de doble cultiu anual en aquesta zona.

7.2.2 Moment i distribució del fertilitzant

Els rendiments i les extraccions obtingudes en els dos cultius de l'assaig de fertilització han estat més altes en el cereal d'hivern, tant en la rotació farratgera de blat de moro i triticle, com en la de sorgo i ordi. Per aquest motiu, en el moment de decidir la distribució anual de l'adob orgànic que pertocarà a cadascun dels cultius d'una rotació implantada en condicions similars, es recomana aplicar la major part de la dosi de nitrogen en la cobertura del cereal d'hivern, moment en què les necessitats del cultiu són màximes. A més, evitar l'aportació de nitrogen a la tardor minimitzarà el risc de lixiviació dels nitrats cap a les aigües subterrànies. La resta de la dosi s'aconsella aportar-la en fons (presebra) o en cobertura del cereal d'estiu.

Si durant el mes de juny les precipitacions són escasses, s'aconsella endarrerir les aplicacions a la cobertura, un cop s'hagi implantat el cultiu, al cap de 2-3 setmanes d'haver-lo sembrat. D'aquesta manera, s'evitarà que hi hagi una acumulació important de nitrats en el sòl i es reduirà el risc de lixiviació de nitrats en cas que no es pugui fer la collita del cultiu d'estiu a causa de la sequera.

Si durant l'estiu hi ha condicions de sequera que limiten el creixement del cultiu i no es pot fer la collita o bé el rendiment es molt baix, caldrà reduir la dosi de nitrogen aplicada en la fertilització del cultiu d'hivern de l'any següent, per aprofitar els nutrients no extrets pel cultiu que romanen al sòl.

Per decidir la dosi de nitrogen a aplicar en cada cultiu, caldrà tenir en compte el rendiment del cultiu anterior i les extraccions de nutrients que s'hagin produït, sobretot en el cereal d'estiu, el qual depèn fortament de la precipitació durant els mesos de juny i juliol.

7.2.3 Fertilització fosfòrica i potàssica

La recomanació de fertilització seguint el criteri nitrogen pot tenir conseqüències en l'acumulació o manca de fòsfor i/o potassi, segons els ratis N/P i N/K dels fertilitzants orgànics utilitzats.

La fertilització orgànica amb la dosi baixa (T1) en el doble cultiu anual ha comportat un lleuger excedent de fòsfor en el sòl que podria considerar-se assumible. No obstant això, s'ha observat que l'aplicació de dosis superiors (T2 i T3) han donat lloc a una acumulació notable d'aquest nutrient en el nivell superior del sòl (0-30 cm). Per evitar-la, s'aconsella no anar més enllà de la dosi de 170 kg N/ha. Tot i els resultats obtinguts a l'assaig, es recomana conèixer la relació N/P dels fertilitzants orgànics utilitzats amb l'objectiu de mantenir el contingut de fòsfor disponible dins un rang òptim, clarament per sota dels 40 mg/kg. Es recomana fer una anàlisi del fòsfor disponible (Olsen) de la part superficial del sòl almenys cada 5 anys.

En cas de disposar de fertilitzants orgànics amb un contingut de fòsfor elevat respecte al nitrogen, és a dir, amb relacions N/P baixes, caldrà seguir un criteri de fertilització en base al fòsfor. La resta de necessitats en nitrogen caldrà suplir-les amb fertilitzants minerals o dejeccions ramaderes tractades amb ratis N/P elevats, amb l'objectiu de no acumular fòsfor al sòl i poder satisfer les necessitats de nitrogen per part dels cultius.

El contingut de potassi en el sòl ha disminuït amb l'aportació més baixa de nitrogen (T1). En aquest sentit, la fertilització orgànica amb purins de composició similar a la de l'assaig, caldrà fer aportacions complementàries, per exemple, amb adobs minerals potàssics, per evitar el dèficit d'aquest nutrient.

Igualment com en el cas del fòsfor, es recomana fer una anàlisi del potassi disponible (extracte acetat amònic) de la part superficial del sòl almenys cada 5 anys amb l'objectiu d'avaluar l'evolució d'aquest nutrient. Quan el contingut de potassi disponible sigui inferior a 125 mg K/kg de sòl, caldrà fer-ne una aportació addicional.

A la taula 16 es resumeixen les recomanacions de fertilització en els sistemes de doble cultiu farratger en secà a la Plana de Vic, tenint en compte la pluviometria de l'any.

Taula 16

Recomanació de fertilització al doble cultiu farratger anual en condicions de secà a la Plana de Vic.
CH: cereal d'hivern; CE: cereal d'estiu.

CONDICIONS DE PLUVIOMETRIA	DOSI (kg N/ha i any)	TIPUS FERTILITZANT	MOMENT APLICACIÓ	POTASSI
Favorables ⁽¹⁾	MÀXIM 170		Prioritzar aplicació en COBERTORA del CH (2/3 del N total) Prioritzar aplicació en FONS o COBERTORA del CE (1/3 del N total)	
Incertes ⁽²⁾	INFERIOR a 170	Fertilitzant orgànic N/P alta ^(*) (criteri N) o Fertilitzant orgànic N/P baixa ^(*) (criteri P) + mineral nitrogenat i/o fertilitzants orgànics N/P alta ^(*)	Prioritzar aplicació en COBERTORA del CH (2/3 del N total) Prioritzar aplicació en COBERTORA del CE (1/3 del N total)	S'aconsella complementar periòdicament amb potassi en funció de les necessitats del cultiu i la relació N/K del fertilitzant utilitzat
Adverses ⁽³⁾	MOLT INFERIOR a 170		Prioritzar aplicació en COBERTORA del CH (2/3 del N total) Prioritzar aplicació en COBERTORA del CE (1/3 del N total) o SUSPENSIO En cas d'haver fertilitzat i el cultiu no sigui viable, REDUÏR aplicació al següent cultiu	

(1) El règim de pluges garanteix una bona implantació, desenvolupament i rendiment alt del cultiu.

(2) Període amb pluja inferior a l'esperada i poques perspectives en un futur proper, el potencial productiu del cultiu es redueix.

(3) Viabilitat d'algun dels cultius compromesa per la falta de pluja.

(*) N/P, relació nitrogen / fòsfor, N/P alta ≥ 3 , baixa < 3 . Llíndar establert en base als purins utilitzats a l'assaig i les extraccions dels cultius.



08

08

Bibliografia i agraïments

Bibliografia

Baltíerrez, A. (2012). Guia de camp TRANSCATALÒNIA (2012): Comarca d'Osona (Plana de Vic i rodalies). Institució Catalana d'Estudis Agraris i Delegació Catalana de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Barcelona.

Cela, S., Santiveri, F., Lloveras, J., (2011). Residual effects of pig slurry and mineral Nitrogen fertilizer on irrigated wheat. *Eur. J. Agron.* 34, 257–262.

Decret 153/2019, de 3 de juliol, de gestió de la fertilització del sòl i de les dejeccions ramaderes i d'aprovació del programa d'actuació a les zones vulnerables en relació amb la contaminació per nitrats que procedeixen de fonts agràries.

Oenema O., Brentrup F., Lammel J., Bascou P., Billen G., Dobermann A., Erisman JW., Garnett T., Hammel M., Haniotis T., Hillier J., Hoxha A., Jensen LS., Oleszek W., Pallière C., Powlson D., Quemada M., Schulman M., Sutton MA., Van Grinsven HJM., Winiwarter W. (2015). Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems Prepared by the EU Nitrogen Expert Panel.

Ovejero, J., Ortiz, C., Boixadera, J., Serra, X., Ponsá, S., Lloveras, J., Casas, C., (2016). Pig slurry fertilization in a double-annual cropping forage system under sub-humid Mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.* 81, 138–149.

Ovejero, J., Maresma, A., Marks, E.A.N., Ortiz, C., Boixadera, J., Serra, X., Ponsá, S., Lloveras, J., Casas, C., (2022). Nitrogen fertilization with pig slurry in a barley-sorghum double-annual forage cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 124 (3), pp. 373-388.

Perramon B., Bosch-Serra AD., Domingo F., Boixadera J. (2016) Organic and mineral fertilization management improvements to a double-annual cropping system under humid Mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.*, 76:28–40.

Reial Decret 1051/2022, de 27 de diciembre, pel qual s'estableixen normes per a la nutrició sostenible en sòls agraris.

Servei Meteorològic de Catalunya (SMC, 2024).

Yagüe, M.R., Quílez, D., (2010). Cumulative and residual effects of swine slurry and mineral nitrogen in irrigated maize. *Agron. J.* 102, 1682–1691.

Agraïments

Al llarg dels 18 anys són moltes les persones i entitats que han col·laborat i han fet possible l'execució de l'assaig i l'obtenció dels resultats que es presenten en aquest document tècnic.

Agraïm molt especialment al Dr. Jaume Boixadera, qui va ser cap del Servei de Producció Agrícola del Departament d'Agricultura Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya durant bona part dels anys de durada de l'assaig. Va ser el promotor i coordinador del camp experimental des dels seus inicis, l'any 2006, es va implicar en el desenvolupament de l'assaig i va proposar a la Universitat de Vic de participar en l'execució de les tasques conjuntament amb els tècnics de les cooperatives, l'Agrària de Torelló i la cooperativa Plana de Vic.

Agraïm als agricultors i ramaders que hi han participat i sense els quals el treball que es presenta en aquest document no hauria estat possible. A en Ramon Vinyeta, per haver-nos cedit un camp de la seva finca per instal·lar-hi les parcel·les experimentals, per haver realitzat les tasques de maneig del camp i per la seva generosa col·laboració en tot allò que hem necessitat. A en Josep Rifà, per haver agafat el relleu en les tasques del maneig del camp durant el darrer període de l'assaig. A en Ramon Viure, per haver-nos fet les aplicacions de purí. I, finalment, a en Moisès Farrés, responsable de Medi Ambient de l'empresa ESPORC – Granges Terragrisa, pel subministrament de la fracció líquida de purí de porc en els darrers anys.

Agraïm a l'Agrària de Torelló el seu suport en la realització de l'assaig des dels seus inicis, la utilització de la bàscula de la cooperativa, el subministrament de la fracció líquida fins el 2019 procedent d'una granja de la cooperativa, i la participació dels seus tècnics en diverses tasques del camp i en la preparació de jornades de divulgació.

Agraïm el suport i la participació en els mostrejos de camp i en diverses tasques de l'assaig a tot l'equip tècnic del Servei de Sòls i Gestió Mediambiental de la Producció Agrària del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació.

Agraïm també al Dr. Jaume Lloveras, haver inclòs l'assaig en el projecte *Evaluación de estrategias para maximizar la eficiencia del nitrógeno y el secuestro de carbono en sistemas de maíz de alta producción*, finançat pel Ministerio de Economía y Competitividad (AGL2012-35122), coordinat pel mateix Jaume Lloveras de la Universitat de Lleida, durant el període (2013-2015).

Agraïm al personal investigador i tècnic del SART i del Centre Tecnològic BETA de la Universitat de Vic-Universitat Central de Catalunya (UVic-UCC) que ha col·laborat i participat en els mostrejos de camp al llarg de tots aquests anys. I també als estudiants de la UVic-UCC que han realitzat el seu treball final de grau en el camp experimental.

Els resultats presentats en aquest document han estat possibles gràcies al finançament continuat del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya durant les 18 campanyes (2006-2024) de l'assaig.





**Generalitat
de Catalunya**



Beta

Biodiversitat, Ecologia,
Tecnologia Ambiental i Alimentària



UNIVERSITAT DE VIC
UNIVERSITAT CENTRAL
DE CATALUNYA



Biodiversitat, Ecologia,
Tecnologia Ambiental i Alimentària

Centre Tecnològic BETA

Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya

Edifici Can Baumann

Ctra de Roda, 70. 08500 Vic

+34 93 881 61 68

info.beta@uvic.cat

www.betatechcenter.com



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

Oficina de fertilització i tractament de dejeccions ramaderes

Av. Alcalde Rovira Roure, 191 / 25198 Lleida

+34 973 22 08 68

fertilizacio.agricultura@gencat.cat

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