

GUIA DE LA FERTILITAT DELS SÒLS I LA NUTRICIÓ VEGETAL EN PRODUCCIÓ INTEGRADA

GUIA DE LA FERTILITAT DELS SÒLS I LA NUTRICIÓ VEGETAL EN PRODUCCIÓ INTEGRADA

Pere Villar Mir

Dr. Enginyer Agrònom

Assessor Consultor en nutrició de cultius, estudis de sòls i interpretació d'anàlisis

Josep M. Villar Mir

Dr. Enginyer Agrònom

Catedràtic d'Universitat. Departament de Medi Ambient
i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida



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

**Consell Català de la
Producció Integrada**



Abril de 2016

- © dels textos i les imatges: Pere Villar Mir i Josep M. Villar Mir
- © fotografia de la coberta: Marta Gabernet Foix
- © d'aquesta edició: Consell Català de la Producció Integrada
Complex la Caparrella, 97 · 25192 Lleida · www.producciointegrada.cat

Primera edició: maig de 2016

DL L 31-2016

Imprès a Arts Gràfiques Bobalà, SL

Sant Salvador, 8 · 25005 Lleida · bobala@bobala.cat

AGRAÏMENTS

Al laboratori d'anàlisi ILERSAP, per la seva contribució a la recopiació d'informació analítica utilitzada per a la realització d'aquest manual. La seva professionalitat ha estat clau en la consecució d'informació de base de qualitat.

Al Dr. Francesc Miret i Benet, coordinador de Producció Integrada del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació i a la Sra. Maite Ros Bosch del Consell Català de la Producció Integrada per confiar en nosaltres a l'hora de redactar aquest document, així com per tots els suggeriments i comentaris que ens han fet.

Una guia basada en l'experiència i en la percepció no hauria estat possible sense el contacte amb tots els agricultors, tècnics, centres de formació i recerca, productors i distribuïdors d'insums per l'agricultura, empreses de serveis agrícoles i laboratoris del sector agrícola amb els quals hem tingut l'ocasió de treballar, consultar o parlar en algun moment de les nostres carreres professionals.

ÍNDEX

PREFACI	9
INTRODUCCIÓ	11
1. FERTILITAT DE SÒLS	17
1.1. Definició de fertilitat de sòls	17
1.2. El sòl, reservori de nutrients	19
1.3. Avaluació i diagnòsi de la fertilitat dels sòls	21
1.4. La millora de la fertilitat dels sòls	39
2. L'ESTAT NUTRITIU DELS CULTIUS	49
2.1. Mecanismes d'absorció de nutrients	49
2.2. Funcions dels nutrients	50
2.3. Avaluació i diagnòsi de la nutrició	54
3. LA FERTILITZACIÓ DELS CULTIUS	69
3.1. Les extraccions i exportacions dels principals grups de cultius.....	69
3.2. Gestió del nitrogen.....	73
3.3. Fòsfor i potassi	77
3.4. Fertilització amb calci	80
3.5. El magnesi	81
3.6. Fertilització amb micronutrients	83
3.7. La fertilització de l'alfals.....	83
EXEMPLES PRÀCTICS D'ÚS DELS CRITERIS DE MANEIG DE LA FERTILITZACIÓ	87
Exemple número 1. Determinació de les unitats fertilitzants a aplicar a partir de les taules del manual	87
Exemple número 2. Determinació de les unitats fertilitzants a aplicar a partir de les taules del manual en cultius hortícoles	89

Exemple número 3. Maneig de pomeres en àrees de planes al·luvials ..	91
Exemple número 4. Plantació d'oliveres	94
Exemple número 5. Maneig de presseguers en sòls amb petrocàlcic	97
Exemple número 6. Fertilització de cultius extensius	100
Exemple número 7. Plantació de pereres en sòls de graves	103
Exemple número 8. Fertilització de l'alfals	106
Exemple número 9. El risc d'asfíxia en espècies sensibles.	109
Exemple número 10. Problemes en varietats de nova incorporació	110
Exemple número 11. Maneig de la vinya	112
Exemple número 12. Fertilització de l'ametller	114
Exemple número 13. Fertilització de mandarina	117
Exemple número 14. Fertilització de l'avellaner	119
Exemple número 15. Fertilització del panís.....	122
Exemple número 16. Fertilització de la ceba.....	124

PREFACI

La producció d'aliments de qualitat i saludables pel consum humà, basat en l'ús de tecnologies que són respectuoses amb el medi ambient, és l'objecte de la producció integrada. Aquesta guia ha de permetre optimitzar la gestió de la nutrició dels cultius aconseguint els objectius de la producció integrada al mateix temps que es satisfà un dels objectius dels agricultors, com és la maximització dels beneficis.

Sovint es comet l'error d'entendre la nutrició dels cultius com l'acció, únicament, d'aportar fertilitzants per nodrir un cultiu. En realitat, la nutrició dels cultius és molt més complexa que la simple aportació d'uns determinats nutrients per cobrir les extraccions del cultiu.

La nutrició dels cultius està afectada, en primer lloc, per les característiques de les terres. La disposició dels materials que composen el sòl, la seva mineralogia i les interrelacions químiques entre nutrients juguen un paper fonamental. En el procés de la nutrició vegetal intervenen molts factors relacionats amb les propietats del sòl (factors edàfics) com són la granulometria, l'estructura, els minerals, la matèria orgànica, els microorganismes i la disponibilitat d'aigua.

Els mecanismes d'absorció dels nutrients són complicats. Les arrels són selectives, no absorbeixen tots els nutrients dissolts i, en canvi, poden absorbir nutrients no dissolts. Les arrels de les diferents espècies i varietats tenen diferents aptituds d'absorció. També la quantitat i qualitat de les arrels faciliten o limiten la capacitat d'absorció dels nutrients.

Aquesta guia proporciona una visió àmplia del sistema sòl/planta abordant aspectes importants de la química, la física i la microbiologia dels sòls i la seva relació amb les plantes.

Els autors de la guia tenen una àmplia trajectòria professional en el camp de la diagnòsi per a la solució de problemes i millora de les condicions de producció de cultius. Les anàlisis de laboratori han constituït una eina decisiva pel coneixement i la diagnòsi. En aquesta guia es presenten taules d'interpretació d'anàlisi que són conseqüència directa de l'activitat professional en l'àmbit de la fertilització i la nutrició dels cultius.

INTRODUCCIÓ

La producció integrada s'orienta a la consecució d'una agricultura sostenible. La gestió intel·ligent i la utilització racional i prudent dels recursos naturals contribueixen de forma decisiva en la reducció de la contaminació i dels costos de producció.

La producció integrada inclou, entre altres, dos principis bàsics sobre la fertilitat de sòls i la nutrició dels cultius:

- Els cicles de nutrients han de ser equilibrats i les pèrdues dels mateixos, minimitzades (l'equilibri fa referència a l'ajust real entre les entrades i sortides de nutrients a nivell de parcel·la).
- La fertilitat intrínseca del sòl ha de ser preservada i millorada (la fertilitat intrínseca del sòl és la capacitat de producció del sòl en unes condicions determinades, sense intervencions externes. La fertilitat depèn, per tant, de l'equilibri de les característiques físiques del medi, del rendiment químic i de l'equilibri de l'activitat biològica. La fauna del sòl és, per tant, un indicador important de la fertilitat del sòl).

El concepte de fertilitat de sòls va més enllà dels programes d'abonat. No només els inclou sinó que, a més, els integra en unes pautes de maneig necessàries per a la consecució dels objectius finals de producció. La fertilitat del sòl depèn de factors inherents al propi sòl i al maneig pretèrit, present i futur. Les propietats fisicoquímiques del sòl tenen una influència sobre el cultiu que seran determinants en els processos d'absorció de nutrients i aigua, i en definitiva en la producció i qualitat.

Sovint, quan es detecten problemes indeterminats sense una simptomatologia definida es considera que hi ha algun tipus de carència i que cal solucionar-ho amb l'aplicació d'adobs. D'alguna manera, la descàrrega del problema aplicant algun tipus de fertilitzant o corrector dona un marge de temps suficient com per esperar una millora sobtada. La realitat és que un percentatge molt alt (pot ser al voltant d'un 80 %) dels problemes diagnosticats en camp tenen el seu origen en les condicions del medi físic.

Les propietats fisicoquímiques del sòl condicionen el desenvolupament dels cultius. Es tracta d'un efecte biunívoc, en el qual el material vegetal interacciona amb el medi donant un ventall de respostes igual al producte de la combinació de totes les possibilitats.

El maneig de la fertilitat dels sòls té com a principal objectiu satisfer les necessitats d'un cultiu que per si mateix no és capaç d'assolir. La fertilitat dels sòls porta implícits més conceptes que el de l'aplicació d'uns determinats nutrients en un programa d'abonat anual. Tal com es comenta al principi, són molts més els casos en què els cultius presenten problemes associats a la salinitat, l'entollament, la manca d'oxigen, la presència d'aigües freàtiques superficials o la manca d'espai per al desenvolupament del sistema radicular. En aquests casos, els cultius poden manifestar carències de nutrients, falta de vigor, atac de fongs, bacteris o insectes, marciment, necrosi, etc. En alguns casos, els diagnòstics de carències visuals o fins i tot determinats mitjançant anàlisis foliars no són suficients per diagnosticar els problemes.

També cal tenir en compte que les condicions meteorològiques afecten a la resposta dels cultius. Les temperatures baixes, les sequeres perllongades en el temps o les temperatures anormalment elevades afecten a l'absorció de nutrients.

Però no sempre hem d'esperar a tenir problemes per realitzar un diagnòstic. La diagnosi es fa servir per establir el maneig més adequat segons la finalitat productiva. El reg, la fertilització i altres pràctiques culturals s'han de realitzar a mida per a cada explotació. D'aquesta manera s'estalvien recursos i s'optimitzen els objectius.

12

L'èxit de la fertilització requereix una millora contínua basada en directrius bàsiques del maneig de la fertilitat dels sòls i de la nutrició dels cultius. Els avenços tècnics i científics en les eines de diagnòstic i la seva interpretació permeten un ajust de la fertilització cada vegada més precís. Les estratègies d'aplicació dels nutrients, el maneig del reg i la superació de factors limitants del sòl són uns processos continus que es retroalimenten de la pròpia experiència.

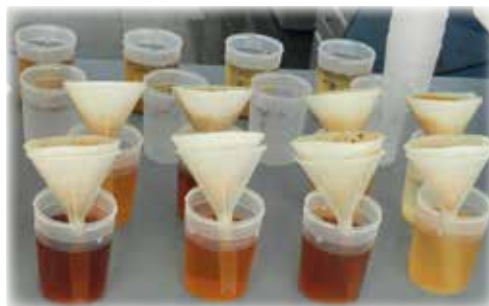
El maneig de la fertilitat dels sòls necessita la integració de les següents variables:

1. Medi edàfic

- 1.a. Caracterització del sòl. Les propietats físiques del sòl es determinen mitjançant l'estudi de perfils representatius. El sòl aporta informació sobre:
 - 1.a.i. La capacitat en l'absorció de nutrients i aigua.
 - 1.a.ii. La resposta a l'aplicació d'estímuls de creixement (reg, adob, etc.).
 - 1.a.iii. La disponibilitat en nutrients associats al material originari.
- 1.b. Anàlisi de nutrients en el sòl. La determinació dels nivells de nitrats, fòsfor, potassi, calci i magnesi en el sòl es realitza a partir de mostres representatives. Aquesta informació analítica s'ha de contrastar amb les diferents propietats del sòl, sistema de reg i material vegetal establert.
- 1.c. Relació sòl-paisatge. Reconèixer el paisatge ajuda a identificar l'abast de la variabilitat del sòl, el que permet establir unitats de sòls homogènies. D'aquesta manera es pot simplificar el nombre de parcel·les a estudiar. El



Imatge 1. Perfil d'un sòl desenvolupat sobre llicorelles a la comarca del Priorat preparat per al seu estudi detallat.



Imatge 2. Procés de filtrat de mostres de terra al laboratori.



Imatge 3. Oliveres plantades en un sòl desenvolupat sobre una roca calcària en què s'han produït fenòmens de carstificació.

paisatge i el seu relleu condicionen l'origen dels materials formadors del sòl (material geològic) i per tant les seves propietats físiques i químiques. L'aplicació d'una perspectiva geogràfica de l'entorn permet un millor coneixement dels processos formadors del sòl i, per tant, la identificació dels sòls en el territori. El concepte geogràfic, en la formació dels sòls, respon a una acció conjunta d'elements naturals com el relleu, el clima, la geologia i l'acció de processos antròpics.

2. Anàlisi de les dades meteorològiques (pluviometria, temperatura...)

Resulta interessant disposar de les dades que proporcionen estacions meteorològiques a la mateixa explotació o en la seva proximitat. Aquesta informació de primera mà, juntament amb les dades del sòl, servirà per avaluar la disponibilitat potencial de reserva d'aigua, definir condicions estressants o estimar si el creixement i el desenvolupament són els adequats.

3. Cultiu (estat, característiques i historial)

3.a. Material vegetal. Els diferents tipus de sistemes radiculars s'adapten de diferent forma a les diferents condicions de sòl. De la relació entre tots



Imatge 4. Presseguers varietat baby gold empeltats sobre GF677, formats en vas, plantats sobre petits cavallons, reg per degoteig amb doble mànega i coberta amb malla antipedra.

- dos, s'obtenen les diferents gradacions de vigor, resistències a clorosi, resistència a asfíxia, tolerància a la salinitat, etc.
- 3.b. Densitat de plantació, sembra, formació. La recerca de l'equilibri entre el sistema vegetatiu i reproductiu és una de les claus de l'èxit en la producció de qualitat, garantint a més la continuïtat en el temps. El control del vigor o el seguiment del desenvolupament són aspectes prioritaris en el maneig de les explotacions.
 - 3.c. Històric (gelades, pedregades, pautes d'adobament i de reg...). L'historial d'una explotació és un intangible de gran valor per a la presa de decisions en el futur.
 - 3.d. Objectius de la producció (quantitat i qualitat). És obvi plantejar els nostres objectius abans d'iniciar un programa de fertilització. Els objectius han de plantejar-se en un context realista, delimitant les possibilitats potencials màximes en cada situació.
 4. La qualitat de l'aigua de reg. L'aigua de reg s'avalua amb anàlisis (salinitat, composició iònica, nutrients...). Es diagnostica el risc de salinització, de pèrdua d'infiltració, de toxicitat o d'obstrucció en el cas de reg per degoteig.

5. Anàlisi de fulla. Ocasionalment s'analitzen altres parts de la planta com és el cas de la fusta de poda en fruiters o de la tija en plantes herbàcies. Les anàlisis de fulla s'utilitzen per:
- 5.a. Monitoritzar el programa de fertilització en un moment determinat. Es tracta d'avaluar si l'absorció de nutrients es realitza de forma correcta, i permet modificar convenientment les aplicacions programades.
 - 5.b. Avaluar les carències (el cultiu manifesta visualment la deficiència) i subcarències (el cultiu no manifesta símptomes visuals de deficiència, però respon positivament a l'aportació d'un nutrient).
 - 5.c. Ajudar en el diagnòstic de problemes associats a propietats físiques de sòls (hi ha elements que són indicadors d'anòxia, poc desenvolupament radicular, etc.).
 - 5.d. Prendre decisions en l'aplicació de correctors (presa de decisions per l'aplicació foliar o radicular de determinats elements).
 - 5.e. Per al càlcul de les extraccions del cultiu, conjuntament amb l'anàlisi de fruit.



Imatge 5. Plantació de cogombres amb carències de magnesi.

6. Anàlisi de fruits. Les anàlisis de fruits en el moment de la seva maduresa fisiològica es fan servir per:

- 6.a. Diagnosticar si el fruit s'ha desenvolupat de forma equilibrada i sense deficiències.
- 6.b. Avaluar la capacitat de conservació i transformació (avaluació de desequilibris). És útil en l'elaboració d'oli i vi i per a la conservació de la fruita fresca (postcollita). Aquest equilibri nutricional està relacionat amb les pràctiques de fertilització.
- 6.c. Per al càlcul de les extraccions del cultiu, conjuntament amb l'anàlisi foliar.
- 6.d. S'utilitza per rectificar i ajustar el programa de fertilització de la campanya següent (retroalimentació) .



Imatge 6. Tomàquet madur pròxim al moment de recol·lecció.

La generalització de solucions agròniques de forma estandaritzada està relegada al fracàs. El marge econòmic dels productors és cada vegada més estret. Les solucions fins ara acceptades comencen a ser cada vegada més qüestionades. Primer es parlava de producció controlada, i més tard de sistemes de producció sostenible (producció integrada, ecològica, biodinàmica...) i de normes i protocols de producció (GlobalGap...). Però la veritat és que el mercat i els preus dels recursos (aigua, fertilitzants, fitosanitaris) estan posant cada vegada més les coses al seu lloc. S'acaba l'època en què es recomanaven de forma generalitzada els tractaments de les oliveres amb bor, les pomeres amb manganès i les pereres amb fòsfor. Els tractaments s'han de realitzar de forma específica en els casos concrets en què s'han diagnosticat aquestes necessitats, s'intervé en les pràctiques culturals del sòl i es modifica el reg per aconseguir no només l'excel·lència del producte, sinó la reducció de costos necessària.

1. FERTILITAT DE SÒLS

El coneixement de la fertilitat dels sòls, dels seus equilibris químics i biològics, és imprescindible per desenvolupar tècniques de millora per a la producció de cultius. Les tècniques de millora i maneig de la fertilitat inclouen la innovació en productes millorants i la gestió d'esmenes minerals, orgàniques, fertilitzants, composts, etc.

1.1. Definició de fertilitat de sòls

17

La fertilitat d'un sòl és el resultat del conjunt de propietats físiques, químiques i microbiològiques.

Les propietats físiques, com la textura (granulometria), l'estructura, la densitat, la porositat, el contingut d'aigua, la compacitat i la temperatura són factors que afecten directament sobre els usos i característiques del sòl. No obstant això, cal saber que les propietats físiques, químiques i microbiològiques estan relacionades entre elles. La granulometria determina en gran part la capacitat de bescanvi catiònic del sòl i, per tant, la capacitat de retenció de metalls com el potassi o el magnesi. Alhora, la presència de salinitat (propietat química) i la compactació (propietat física) poden estar relacionades i condicionar alhora l'activitat microbiològica.

Cal recordar que un sòl pot ser molt fèril i no ser molt productiu (per exemple, per falta d'aigua) però que difícilment serà productiu amb una baixa fertilitat que només pot ser substituïda per mitjans tecnològics.

Aquestes propietats determinen la disponibilitat d'oxigen, la mobilitat i la capacitat d'emmagatzematge de l'aigua, el desenvolupament i l'exploració radicular, la disponibilitat d'alguns dels nutrients essencials pels cultius: fòsfor, calci, sofre, ferro, zinc i manganès, principalment.

En la majoria de casos, les propietats del sòl no es poden modificar fàcilment, però el seu coneixement permet un millor maneig de les pràctiques culturals orientades a la millora de la fertilitat del sòl.

L'estructura del sòl depèn de pràctiques culturals com són el treball mecànic, la presència de matèria orgànica i l'activitat microbiològica.

Factors ambientals com la humitat i la temperatura són fonamentals pel manteniment de la vida en el sòl. Per aquest motiu cal minimitzar el treball del sòl, realitzar treballs sempre verticals, minimitzar l'acció dels herbicides i, en el cas de plantacions de fruiters i vinya, mantenir sempre que sigui possible el sòl amb coberta vegetal. Sempre és aconsellable picar les restes de cultiu, fulla i fusta de poda per aportar matèria orgànica.

Taula 1.1

Classificació de macronutrients i micronutrients segons la seva concentració en planta. Entre parèntesi es mostra la forma iònica en què s'absorbeixen. Entre parèntesi quadrat altres formes d'absorció menys importants. S'expressen en quantitat relativa a 100 unitats de nitrogen

Macronutrient		Micronutrient	
Element químic (nutrient) que presenta una concentració superior als 0,5 mg g ⁻¹ (>500 ppm)		Element químic necessari per al creixement de les plantes, present en petites quantitats, normalment menys de 0,1 mg g ⁻¹ (<100 ppm)	
Macronutrients primaris:		Bor, B (H ₃ BO ₃)	0,2
Nitrogen, N (NO ₃ ⁻ , [NH ₄ ⁺])	100	Clor, Cl (Cl ⁻)	0,3
Fòsfor, P (H ₂ PO ₄ ⁻ , [HPO ₄ ²⁻])	10	Coure, Cu (Cu ⁺ , [Cu ²⁺])	0,05
Potassi, K (K ⁺)	75	Ferro, Fe (Fe ²⁺ , [Fe ³⁺])	0,6
Macronutrients secundaris:		Níquel, Ni (Ni ²⁺)	0,0001
Calci, Ca (Ca ²⁺)	30	Manganès, Mn (Mn ²⁺)	0,2
Magnesi, Mg (Mg ²⁺)	10	Molibdè, Mo (MoO ₄ ²⁻)	0,001
Sofre, S (SO ₄ ²⁻)	10	Zinc, Zn (Zn ²⁺)	0,2

Font: Elaboració pròpia, adaptada de (SSSA, 2001) (Havlin *et al.*, 2005)



Imatge 7. Detall d'un sòl amb un primer horitzó molt ric en matèria orgànica i abundant cabellera radicular. Per sota, els horitzons amb grava amb una elevada conductivitat hidràulica que permeten un bon drenatge del sòl.

Imatge 8. Arrel afectada per nematodes en un sòl mal estructurat.



Imatge 9. Camp de faves, afectat per fongs d'arrel en un sòl arenós, amb poca matèria orgànica i compacte.

19

És possible que l'aparició algunes malalties i plagues depengui de l'estat nutricional de les plantes. La teoria que estableix la relació entre els desequilibris de nutrients a les plantes i aquesta susceptibilitat de les plantes s'anomena trofobiosi, i suposa un nou enfocament en la nutrició vegetal.

1.2. El sòl, reservori de nutrients

Els sòls estan constituïts bàsicament per minerals alterats per efecte de la meteorització produïda a partir de factors ambientals, microorganismes i plantes. La fracció orgànica en sòls agrícoles és generalment inferior al 5 %. Aquest 95 % de fracció mineral està formada pels elements químics. Els elements més abundants en un sòl típic de Catalunya són el carboni, l'oxigen, el silici, l'alumini, el calci i el ferro (taula 1.2.1).

L'oxigen i el silici formen part d'estructures rígides, els silicats (SiO_4), que constitueixen la fracció mineral d'arenes i argiles. També podem trobar una part d'oxigen en la fracció mineral dels llims, juntament amb el carboni, constituint els carbonats, i amb el sulfat, constituint els guixos del sòl.

Element	Total (%)	Extraïbles (mg/kg)	Cations de canvi (mg/kg)	Dissolts (mg/kg)
Oxigen	47,00			
Silici	32,00	60		Inapreciable
Calci	10,00	4.500	1800	3
Carboni	6,00	15.000		Inapreciable
Ferro	2,50	2		Inapreciable
Alumini	2,00	0,01		Inapreciable
Nitrogen-orgànic	0,15	1.500		Inapreciable
Nitrogen-nítric	0,0025	25		25
Fòsfor	0,08	42		0,3
Potassi	0,35	250	200	3
Magnesi	0,60	225	100	2
Sofre	0,05	35		0,3
Sodi	0,05	85	10	1
Suma d'altres elements (Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo, Ni...)	0,10	10		Inapreciable

Font: Elaboració pròpia.

La resta de carboni no contingut en els carbonats forma part de la fracció orgànica del sòl (àcids húmics, restes vegetals i microorganismes), juntament amb el nitrogen.

El contingut total d'elements (excepte l'oxigen i el nitrogen) es determinen per la mineralització de la mostra de sòl amb extracció àcida a temperatura i pressió elevades. Habitualment, el fòsfor i el potassi determinat en les anàlisis de sòls té origen en les aplicacions fetes pels agricultors, en forma de fertilitzants minerals i orgànics. La resta d'elements tenen el seu origen en els minerals constituents del sòl.

Els minerals extraïbles fan referència a aquelles concentracions determinades mitjançant un mètode analític i poden ser interpretades qualitativament en termes de disponibilitat pels cultius, tot i que no es corresponen amb la quantitat real de nutrient disponible. La millora de les propietats del sòl comporta un augment en les concentracions d'alguns d'ells.

Els cations de canvi, anomenats bases, fan referència als quatre elements (Ca, K, Mg i Na) més abundants en el complex argil·lohúmic del sòl. Determinar amb exactitud els cations de canvi resulta impossible en sòls calcaris o salins, on la seva abundància emmascara els resultats analítics. En sòls àcids els elements que també ocupen llocs d'intercanvi catiònic són l'alumini i l'hidrogen (taula 1.2.2).

Exemple: un sòl té una capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) de 13 cmol_c/kg i s'han mesurat els següents cations de canvi: Ca²⁺: 4,5 cmol_c/kg; Mg²⁺: 2 cmol_c/kg; K⁺: 2 cmol_c/kg; Na⁺: 1 cmol_c/kg (1 cmol_c/kg és igual a 1 meq/100 g).

Total bases: 10,5 cmol_c/kg; El percentatge de saturació de bases (SB) és:

$$SB = \frac{9,5}{13} * 100 = 73 \%$$

Taula 1.2.2

Cations de canvi segons el pH del sòl

Tipus de sòl	Cations principals
Àcid	Al ³⁺ , H ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ i K ⁺
Neutre i bàsic	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ i Na ⁺

Font: Foth i Ellis, 1997.

1.3. Avaluació i diagnosi de la fertilitat dels sòls

Molts dels problemes que s'observen en finques estan relacionats amb les propietats de la fertilitat del sòl. La solució a un problema només és possible si es té una visió ampla dels factors implicats i es disposa de les eines de diagnòstic adequades.

1.3.1. La prospecció de camp

Per poder prescriure tècniques de millora de la fertilitat és imprescindible conèixer el sòl. La prospecció de camp ens aporta informació de base per avaluar el tipus de sòl i les seves limitacions més importants.

El medi edàfic és conseqüència d'un conjunt de factors associats a la geologia, el relleu, la vegetació, el clima i l'acció de l'home. L'anàlisi del paisatge on s'integren els cultius és clau per determinar la naturalesa dels sòls. L'aplicació d'una perspectiva geogràfica en el estudi del sòl permet un millor coneixement dels processos formadors i per tant de la identificació dels diferents tipus de sòls en el territori.

La caracterització dels sòls identificats en el territori es realitza a partir de les propietats físiques, com són la profunditat efectiva del sòl, la granulometria, la capacitat de retenció d'aigua, el drenatge, el pendent i les propietats químiques bàsiques com el pH, el contingut en carbonats i la salinitat.

L'agrònom especialista sap identificar en el paisatge els trets diferencials d'un sòl associats a la posició o relleu, i la mineralogia.

Els sondejos de camp mitjançant barrina i els talls geològics de la zona permeten identificar moltes de les propietats bàsiques associades a la profunditat, la granulometria, la humitat, la compactació i en conseqüència la infiltració, el drenatge, la capacitat de retenció d'aigua i l'estructura. Aquestes propietats estan relacionades amb la capacitat d'emetre arrels i, per tant, amb la capacitat d'absorbir nutrients per part del cultiu.

A continuació es descriuen propietats rellevants del sòl que cal tenir en compte quan es fa un sondatge o una observació de talls a la zona.

1. Profunditat. Es determina la profunditat a què arriba la barrina fins a trobar un factor limitant.
 - a. Descripció de factor limitant.
 - i. Aigua, nivell freàtic
 - ii. Roca, tipus de roca i consistència (de vegades les roques toves, com una lutita molt alterada, es descriuen com a sòl cru o terra crua, no essent del tot exacte)
 - iii. Presència elevada de graves
 - iv. Horitzó molt compacte
 - v. Capa d'arenes



Imatge 10. Nivell freàtic fluctuant. S'observen taques de reducció en les parets del perfil. Sòl classificat com a *Xerofluvent oxyàquic* segons la Soil Taxonomy, USDA. La presència d'aigua en el sòl limita l'exploració radicular per dessota la zona de fluctuació.

2. Granulometria. Determinació i descripció dels canvis granulomètrics observats a mesura que anem aprofundint amb la barrina.

- a. Textura de la fracció fina ($< 2 \text{ mm}$). Es determina la textura aproximada fent una massa amb aigua que, al pressionar entre els dits índex i polze, flueix permetent determinar al tacte les propietats de cada fracció: l'arena rasca, el llim rellisca i l'argila adhereix.
- b. Granulometria dels elements grossos ($> 2 \text{ mm}$), percentatge, mida i freqüència.
3. Compactació. La percepció de la compacitat del sòl per resistència a l'entrada de la barrina (l'assaig de penetració es realitza amb un penetròmetre de sòls). A l'igual que les altres propietats s'avalua per cada capa o horitzó del sòl. Anotant en el quadern de camp si l'horitzó està compacte o no. Cal tenir en compte l'estat d'humitat del sòl.
4. Estructura. A mesura que es treuen els paquets de sòl trencats per la barrina s'observa la presència d'agregats, canals i porositat.



Imatge 11. Estructura prismàtica en un *Vertic haploxerepts*. Els agregats tenen forma prismàtica amb longituds que van dels 15 als 20 cm.

5. Color. El color està relacionat amb les propietats mineralògiques i amb el contingut de matèria orgànica. Existeixen taules de color per sòls que permeten definir amb exactitud el color del sòl. El color es pot mesurar en sec o en humit i pot ser molt diferent.



Imatge 12. Detall de les taules Munsell de colors. En aquest cas seria un color 10YR4/4.

24

6. Acumulacions. Observar si hi ha acumulacions de carbonats, guix, argila etc. És convenient descriure la forma, naturalesa i quantitat de les acumulacions.



Imatge 13. Detall de recobriments i acumulacions de carbonats (inici de formació d'un horitzó petrocàlcic).

7. Taques. Observar si a l'interior dels agregats o a les parets de tall de la barrina hi ha taques, de quin color i forma. Algunes taques estan relacionades amb processos de reducció de metalls com el ferro i el manganès, i són indicadors de condicions de falta d'oxigen en el sòl.

1.3.2. Les anàlisis de sòls

Les anàlisis de sòls constitueixen el complement idoni d'una avaluació de sòls. La parametrització d'algunes de les propietats fonamentals del sòl de forma objectiva i la determinació de les reserves de nutrients permeten una millora de la diagnosi i de l'emissió de dictàmens.

Les propietats físiques —granulometria, estructura, densitat, porositat, contingut d'aigua, compacitat, temperatura i color— són factors que afecten directament sobre els usos i característiques del sòl. Aquestes propietats determinen la disponibilitat d'oxigen, la mobilitat i disponibilitat de l'aigua, el desenvolupament i exploració radicular, etc. En la majoria de casos no es poden modificar fàcilment les propietats físiques, però el seu coneixement permet un millor maneig dels sòls.

L'anàlisi de terres permet mesurar les propietats permanents de les terres com són la granulometria, el pH, el carbonat càlcic... però també altres propietats com la presència i intensitat de la salinitat, el nivell de matèria orgànica, etc.

L'anàlisi de sòls és una metodologia utilitzada per determinar la disponibilitat de nutrients en el sòl. Conèixer el nivell de nutrients és important per:

- Indicar dèficits o excessos importants pels cultius
- Determinar el risc d'antagonismes
- Programar i mesurar, de forma objectiva, l'estat real de les reserves
- Conduir la fertilització en el temps

25

1.3.2.1. La mostra que s'analitza

L'obtenció de la mostra té l'objectiu de facilitar informació representativa d'una parcel·la. La mostra s'obté en una àrea homogènia, sense mesclar zones amb diferències texturals, geològiques, morfològiques, de color i d'ús on es realitzen pràctiques culturals homogènies.

La variabilitat existent dins d'una parcel·la es redueix quan la mostra està composta de vuit submostres a una profunditat de 0-35 cm. La mostra s'extreu de la zona de màxima densitat radicular del cultiu, que coincideix amb les zones de major absorció d'aigua i nutrients. En alguns casos s'agafen mostres fins a la profunditat efectiva del sòl.

El nombre de submostres que s'han de realitzar per cada mostra té l'objectiu de disminuir possibles errors atribuïbles a la distribució dels nutrients en el sòl. Un cop s'obtenen les submostres, s'homogeneïtzen en un recipient net per obtenir la mostra final. La mostra de terra definitiva, de mig quilo aproximadament, s'introdueix en una bossa de plàstic en la qual s'escriurà la referència de la mostra amb un reto-



Imatge 14. Extracció d'una mostra de sòl al costat de la línia de reg.

lador de tipus permanent (resistent a l'aigua).

1.3.2.2. La classe textural

La textura d'un sòl és la propietat definida a partir de la proporció de les diferents partícules minerals que el componen. La plasticitat, la coherència, l'adhesivitat són característiques relacionades amb la textura.

La textura es classifica a partir de la proporció d'arenes, llims i argiles sobre la mostra preparada per analitzar (partícules inferiors a 2 mm). Sempre s'avalua tenint en compte la presència d'elements grossos.

Taula 1.3.2.2.1
Fraccions granulomètriques

Fracció	Diàmetre aparent (mm)
Arena	0,05-2
Llim	0,02-0,05
Argila	< 0,02

L'arena més gruixuda és la que trobem en un interval de 0,5-2 mm i que es detecta fàcilment pel tacte. Els llims es corresponen sovint amb els carbonats, guixos i fraccions minerals fines però més denses que l'argila. L'argila està composta per silicats d'alumini hidratats i es correspon amb la fracció més fina del sòl. L'argila aporta propietats importants, com la capacitat de bescanvi catiònic.

La granulometria es relaciona amb altres propietats del sòl com el contingut d'aigua, la infiltració, la disponibilitat d'oxigen, la penetració de les arrels i altres propietats químiques característiques del sòl. Conèixer la granulometria d'un horitzó permet inferir altres propietats i característiques relacionades directament amb l'ús i comportament del sòl. És imprescindible conèixer la presència de pedres o elements grossos i els possibles canvis texturals que es poden donar en el perfil del sòl.

La textura es classifica seguint diferents criteris segons les proporcions de les seves fraccions granulomètriques. Habitualment s'utilitza la classificació USDA.

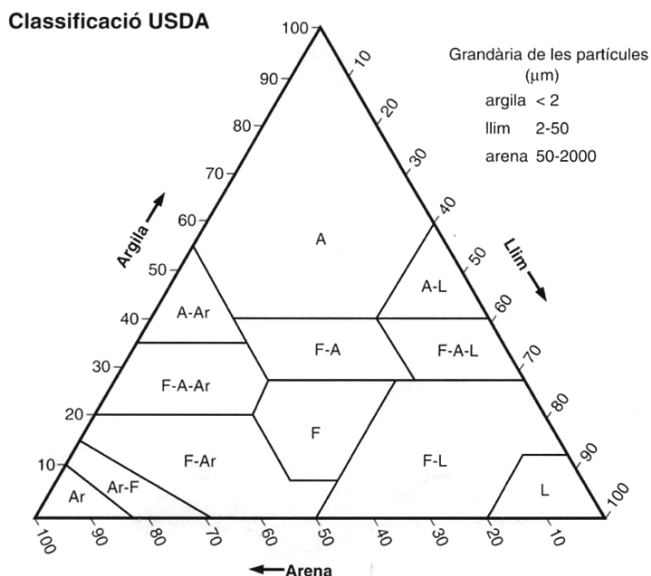
Taula 1.3.2.2.2

Continguts d'argila, llim i sorra de les classes texturals USDA

Classe textural	% sorra	% llim	% argila
Argilosa	0-45	0-40	> 40
Argil·lollimosa		> 40	> 40
Francoargilosa	0-45	0-53	27-40
Francoargil·lollimosa	0-20	> 40	27-40
Franca	0-52	0-50	7-27
Francollimosa		50-88	0-27
Llimosa		> 80	0-12
Argil·loarenosa	> 45	0-20	35-55
Francoargil·loarenosa	> 45	0-28	20-35
Francoarenosa	43-85		0-20
Arenofranca	70-90		0-15
Arenosa	> 85		0-10

27

Per a representar les diferents classes texturals s'utilitza el triangle de textures.



Imatge 15. Diagrama de classes texturals segons USDA.

1.3.2.3. La reacció del sòl (pH)

La reacció del sòl és un indicador de l'acidesa o basicitat del sòl. L'escala de mesura va de 0 a 14. En el cas dels sòls calcaris, els valors de pH són bàsics. La presència de carbonats i sulfats limiten el ventall de valors de pH entre 7,5 i 8,4.

Els sòls àcids els podem trobar en els sòls dels Pirineus, Garrotxa, Serra de Prades, Priorat i aïlladament en serres i ventalls de la Serralada Costanera Catalana. Els sòls alcalins a Catalunya es corresponen amb sòls sòdics, associats a materials geològics rics en sals en àrees mal drenades. Els podem trobar, per exemple, en àrees de la franja de Ponent i al nord de la comarca de l'Urgell. La resta de sòls de Catalunya són de pH bàsic i neutre. Al pla d'Urgell també s'han descrit processos de sodificació.

Taula 1.3.2.3

Interpretació dels resultats de pH extret amb aigua (1:2,5 p/v)

Resultat	Interpretació
< 5	Fortament àcid
5,0-6,5	Àcid
6,5-7,5	Neutre
7,5-8,4	Bàsic
8,4-9,5	Alcalí
> 9,5	Fortament alcalí

Font: Elaboració pròpia adaptada de la FAO.

El valor de pH ens aporta informació sobre les propietats dels sòls. El pH afecta la solubilitat dels diferents minerals i la disponibilitat de certs elements minoritaris (ferro, zenc, coure i manganès) i metalls pesants pels cultius. Les condicions de pH del sòl també poden influir sobre el creixement de les plantes per l'efecte que pot tenir sobre els microorganismes del sòl.

El pH d'un sòl calcari no es pot canviar dràsticament, encara que si que es poden minimitzar alguns efectes negatius. La presència de carbonats presenta un poder tampó que evita un canvi definitiu de la reacció del sòl. Els canvis de pH es localitzen en el lloc de la reacció i tenen un efecte temporal.

L'aplicació d'esmenes orgàniques, adobs en verd i la millora del maneig del sòl poden modificar temporalment i de forma localitzada el pH del medi, millorant les condicions químiques i l'absorció de determinats nutrients.

Es parla de microacidificacions, com aquelles reaccions molt localitzades que es produeixen en el sòl (rizosfera) per l'efecte de l'aplicació de productes acidificants, per exemple fertilitzants nitrogenats de reacció àcida en el sòl o l'excreció per les arrels de protó H^+ . Aquest efecte s'ha descrit quan s'utilitzen fertilitzants nitrogenats amb inhibidors de la nitrificació.

1.3.2.4. Els carbonats

La determinació dels carbonats dóna una idea orientativa del contingut total de sals del tipus carbonat càlcic i magnèsic que hi ha en el sòl. Aquests minerals es troben principalment en forma de precipitats i concrecions, sovint emmascarades en la matriu del sòl i, de vegades visibles (sòls definits edàficament com a càlcics).

La seva determinació pot realitzar-se per diferents mètodes: els més freqüents són els realitzats per volumetria a partir del despreniment del diòxid de carboni o acidimetria, per valoració potenciomètrica.

El contingut s'expressa en el percentatge de carbonat càlcic equivalent, referit, com totes les altres analítiques, a la terra fina de grandària inferior a 2 mm. El contingut de carbonats d'un sòl comporta un conjunt de propietats químiques i físiques que poden ser interessants pels cultius i ocasionalment negatives.

Taula 1.3.2.4

Interpretació dels continguts de carbonat càlcic equivalent segons intervals

Contingut de carbonat càlcic equivalent (%)	Interpretació
< 5	Inapreciable o no calcari
5-15	Poc calcari
15-25	Calcari
25-45	Molt calcari
> 45	Extremadament calcari

Font: Elaboració pròpia adaptada de la FAO.

Propietats interessants dels carbonats:

- Contribueixen al manteniment dels agregats i de l'estructura del sòl
- Poder també davant de reaccions químiques adverses com la sodificació, l'acidificació, la presència de metalls pesants...

Propietats adverses dels carbonats:

- En cas de sòls extremadament calcaris es produeix un augment de l'aridesa en zones de secà amb baixa pluviometria
- Afavoreixen la immobilització de nutrients com el ferro (afectant a espècies sensibles)

1.3.2.5. Conductivitat elèctrica

La presència de sals en el sòl afecta negativament els cultius. La sensibilitat a la presència de sals en el sòl varia segons el cultiu. Els sòls poden patir un procés de salinització secundària per l'ús d'aigües amb sals dissoltes i la manca d'un drenatge adequat. Els sòls, i molt especialment els sòls de regadiu en zones semiàrides, necessiten una fracció de rentat. És a dir, quan es programa el reg, cal preveure una fracció

extra d'aigua per evitar que les sals que aporta s'acabin acumulant al sòl i disminueixin la seva productivitat.

Per determinar la salinitat del sòl s'ha de mesurar la conductivitat de l'extracte de pasta saturada (CEe). Les mostres de terra es porten a saturació amb una quantitat variable d'aigua desionitzada segons la textura. Les unitats de CEe son els dS/m a 25° C. Un dS/m equival a 1 mS/cm. De vegades alguns equips de camp expressen el resultat en µS/m. S és un siemen, unitat de conductivitat que és la inversa de l'ohm, unitat de resistència.

Taula 1.3.2.5.1

Intervals d'interpretació de la conductivitat elèctrica en l'extracte de pasta saturada

Nivell de salinitat (CEe) en dS/m a 25 °C en extracte de pasta saturada	Efectes sobre el rendiment dels cultius en sòls de granulometria mitjana i fina
0-2	Generalment mínims
2-4	Limitacions en el rendiment de plantes sensibles a la salinitat
4-8	Limitacions en el rendiment de les plantes sensibles
8-16	Només les plantes tolerants a la salinitat produeixen satisfactòriament
> 16	Poques plantes molt tolerants a la salinitat produeixen satisfactòriament

Font: Richards (1954), Rhoades i Loveday (1990).

El problema d'aquesta interpretació és que exigeix la determinació de l'extracte de pasta saturada, realitzat normalment amb una orientació específica envers els estudis i la caracterització de la salinitat. Un sòl es considera salí si la CEe és més gran de 4 dS/m. La seva determinació requereix un cert temps, i per aquest motiu els laboratoris faciliten una prova prèvia de salinitat. Es tracta d'un diagnòstic ràpid de la presència de sals en un extracte de sòl:aigua en la relació 1:5 p/v (CE_{1:5}).

Taula 1.3.2.5.2

Intervals d'interpretació de la conductivitat elèctrica a partir dels resultats de la prova prèvia (1:5 p/v)

Nivell de salinitat dS/m a 25° C en extracte de sòl: aigua 1:5 (p/V)	Interpretació
< 0,5	No limitant
0,5-1	Lleugerament alta
1,0-2,5	Alta
> 2,5	Molt alta

Font: Villar i Arán, 2008.

La relació entre la CE_e i la $CE_{1:5}$ per sòls que no contenen guixos és de forma aproximada.

$$CE_e = 7,6 CE_{1:5}$$

Els sòls que presenten guix poden presentar també valors relativament elevats de conductivitat elèctrica en la prova prèvia sense presència de problemes associats a salinitat. La determinació de la composició de sals en l'extracte de pasta saturada permetrà llavors el diagnòstic precís.

La quantitat o tipologia de les sals presents en el sòl constitueix una característica distintiva de molts sòls de zones amb clima àrid i semiàrid.

La caracterització de les sals es fa mitjançant la determinació dels cations i anions solubles en l'extracte de pasta saturada. La mesura d'ambdós (cations i anions) juntament amb el pH i la conductivitat de l'extracte de pasta permet l'assignació de sòl a la categoria salina, salino-sòdica o alcalina.

Alguns factors a considerar amb el nivell de salinitat són:

- Variabilitat de la salinitat (espacial i temporal)
- La relació d'adsorció de sodi (SAR)
- L'efecte específic del guix
- La correcció de la salinitat
- Reacció específica dels cultius a la salinitat

31

1.3.2.6. La matèria orgànica

La matèria orgànica, o matèria orgànica oxidable d'un sòl, fa referència a la fracció orgànica dels sòls, i és sinònim del terme *humus*. La matèria orgànica oxidable d'un sòl exclou els residus d'animals i plantes sense descompondre. És responsable del color fosc del sòl. La matèria orgànica permet modificar les propietats físiques i químiques d'aquests sòls, afavorint la formació d'agregats i millorant l'esponjositat del sòl, l'aireig i la circulació de l'aigua. La matèria orgànica del sòl té una acció física, química i biològica molt destacable.

L'acció física es relaciona amb els efectes de millora de l'estructura, afavoreix la formació d'agregats i redueix el risc d'erosió del sòl. Els efectes de tipus químic es manifesten en l'augment de la capacitat d'intercanvi i de reserva de nutrients, proporciona nutrients (N,P,S, micronutrients), adsorció de nutrients (CIC, propietats col·loïdals), quelata metalls, acció tampó (amortidora) del pH. L'acció biològica inclou una activació de la vida microbiana del sòl. Un sistema de producció sostenible com és la Producció Integrada ha de contemplar un sistema de producció en què la matèria orgànica dels sòls millori en el temps.

La determinació de la matèria orgànica del sòl es fa determinant el carboni orgànic per oxidació amb dicromat potàssic en medi àcid. S'utilitza un factor de 1,724 per obtenir la matèria orgànica dels sòls.

Taula 1.3.2.6

Interpretació dels nivells de matèria orgànica (mètode Walkley i Black) en sòls agrícoles en ambients del tipus mediterrani

matèria orgànica oxidable (%)	Interpretació
< 1	Molt baix
1-2	Baix
2-3	Mitjà
3-4	Alt
> 4	Molt alt

Font: Elaboració pròpia adaptada de la FAO.

1.3.2.7. El nitrogen en el sòl

El nitrogen està present en diferents formes químiques que podem classificar en orgàniques i minerals. En el primer grup trobem el nitrogen, que forma part de la matèria orgànica, microorganismes i restes vegetals. En el segon grup, la part més abundant són els nitrats (NO_3), i en segon lloc l'amoni (NH_4).

Les formes orgàniques del nitrogen són importants en el sòl com a reservori de nutrients i vida. Es poden determinar mitjançant el mètode Kjeldahl. Aquesta forma de nitrogen es transforma mitjançant reaccions de mineralització.

Taula 1.3.2.7.a

Criteris d'interpretació dels nivells de nitrogen Kjeldahl al sòl

Contingut de nitrogen Kjeldahl al sòl (%)	Interpretació
< 0,07	Molt baix
0,07-0,10	Baix
0,10-0,15	Mitjà
0,15-0,20	Alt
> 0,20	Molt alt

Font: Elaboració pròpia.

L'anàlisi del nitrogen es pot interpretar conjuntament amb la matèria orgànica, mitjançant una estimació de la relació C/N del sòl.

La relació C/N es calcula dividint el carboni orgànic pel N Kjeldahl. Sòls amb poca activitat microbiològica presenten acumulació de carboni amb relacions C/N per sobre de l'11, en canvi, quan l'activitat microbiològica és alta, les relacions se situen per sota de 9.



Imatge 16. Destil·ladors automàtics per realitzar l'anàlisi del nitrogen pel mètode Kjeldahl.

Normalment, la part corresponent a la fracció nítrica és la quantitativament més important per ajustar la fertilització dels cultius. El contingut de nitrogen nítric en el sòl, i/o fàcilment disponible per les plantes, depèn en un moment concret de diversos factors: dels residus de la collita anterior, de la mineralització de les matèries orgàniques, dels ions originats en les aportacions d'adobs minerals i orgànics no consumits ni lixiviat, de les aportacions de les aigües de reg o pluja, etc.

L'anàlisi de sòls permet una estimació fiable envers la planificació de la fertilització nitrogenada. El nivell de nitrats es pot interpretar estimant la quantitat de nitrogen disponible pel cultiu en l'horitzó analitzat o bé a partir de taules d'interpretació adaptades als diferents cultius.

El nitrogen disponible es pot calcular a partir del nivell de nitrogen nítric expressat en mg/kg (ppm), el volum estimat de sòl on hi ha la major densitat radicular i la densitat aparent del sòl. Els càlculs a realitzar són:

Nivell al sòl (mg N-NO₃/kg de sòl sec) × densitat del sòl (kg/m³) × 10.000 (m²/ha) × profunditat (m) × 1 (kg/10⁶ mg) = Nitrogen disponible (kg/ha)

Exemple. Per un nivell de 18 ppm, una densitat del sòl de 1.400 kg/m³ i una profunditat de mostreig de 0,3 m: 18 mg N-NO₃/kg × 1.400 kg/m³ × 10.000 m²/ha × 0,3 m × 1 kg/10⁶ mg = 75 kgN/ha

En terme mitjà, la relació entre l'anàlisi de nitrogen en forma de nitrats expressat en parts per milió i el nitrogen disponible per hectàrea es pot aproximar a 4 kg/ppm en sistemes de reg per superfície i a 2 kg/ppm en sistemes de reg per degoteig.

Un sòl on es cultiva panís amb un nivell de 20 ppm equival aproximadament a 80 kgN/ha; en el cas d'un fruïter amb reg per degoteig el mateix nivell de 20 ppm equival a una disponibilitat de 40 kgN/ha.

En el cas de presència d'elements grossos en el sòl cal descomptar el volum ocupat.

El nitrogen nítric es caracteritza per la seva elevada solubilitat, de l'ordre d'uns 1.300 g per litre d'aigua. Aquesta propietat condiciona l'estat del nitrat, dissolt en la solució del sòl i, per tant, sotmès als moviments de l'aigua en el perfil. La lixiviació del nitrat és un dels temes a considerar en el moment de realitzar la fertilització nitrogenada.

Taula 1.3.2.7.b

Criteris d'interpretació dels nivells de nitrogen en forma de nitrats al sòl

Contingut de nitrogen en forma de nitrats (mgN-NO ₃ /kg)	Interpretació (*)
< 10	Dèficit
10-15	Deficiència lleugera
15-20	Mitjà
20-25	Òptim
> 25	Alt

Font: Elaboració pròpia adaptada de la FAO. (*) La interpretació de les analítiques pot estar subjecta al context (moment de l'any i cultiu).

34

Respecte a les pèrdues de nitrat del sòl, cal acotar-les en un context realista. Per exemple, en un sòl profund on el front d'humectació per pluja o reg se situa dins del perfil, no hi ha pèrdues significatives de nitrat per lixiviat. En canvi, per unes condicions percolants, les pèrdues de nitrat del sistema poden arribar a ser importants en una mateixa campanya. Cal tenir en compte:

El nitrat segueix el flux de l'aigua, és a dir, pot ser tant descendent com ascendent.

- En parcel·les amb aigües freàtiques pròximes a la superfície o amb acumulació d'aigües de drenatge, hi ha un balanç positiu de nitrats degut a l'ascensió capil·lar de l'aigua.
- Són moltes les parcel·les que disposen de quantitats elevades de nitrat en finalitzar la campanya de cultiu, el que demostra la relativa capacitat de rentat a curt termini.
- Les pèrdues d'aigua produïdes per pas preferent, com escletxes o entre els elements grossos, no produeixen un rentat significatiu de nitrats.
- Una dosi excedentària de nitrogen aplicat augmenta les pèrdues potencials del sistema.

Les pèrdues de nitrat del sòl depenen dels següents factors:

- La disponibilitat de nitrogen
- La profunditat del sòl
- La granulometria del sòl

- El drenatge per sota del perfil del sòl (provocat pel reg i/o la pluja)
- La dosi i intensitat d'aigua
- L'absorció d'aigua pel cultiu
- L'evaporació d'aigua del sòl

La planta consumeix els nitrats juntament amb el consum d'aigua del sòl (flux de massa). La concentració de nitrats a l'aigua és variable en dependre del nitrat dissolt i de la quantitat d'aigua disponible.

També cal tenir en compte que hi ha pèrdues de nitrats per desnitrificació. El seu efecte és més rellevant des del punt de vista ambiental que des de l'agronòmic. Les condicions d'excés d'aigua afavoreixen aquest procés.

1.3.2.8. El fòsfor

L'anàlisi de fòsfor extraïble per diferents mètodes d'anàlisi permet estimar la probabilitat d'intercepció de fòsfor en el sòl per part del sistema radicular del cultiu. La capacitat de subministrament d'aquest nutrient al cultiu depèn de les condicions d'humitat, de la temperatura del sòl i de la capacitat de respiració de les arrels del cultiu. La interpretació final depèn, per tant, de cada tipus de sòl i cultiu. En aquest sentit, existeixen diversitat de taules d'interpretació segons autors, zones, cultius i tipus de sòls.

Sovint, els cultius extensius són els menys exigents, mentre que els horticòles són els més exigents. L'època de l'any en què s'inicia el desenvolupament del cultiu també hi té a veure. La disponibilitat de fòsfor està relacionada amb la temperatura i el desenvolupament radicular.

Amb l'objectiu de simplificar la interpretació del nivell de fòsfor extraïble pel mètode Olsen, s'ha elaborat la taula 1.3.2.8 per als diferents cultius produïts en el marc de la producció integrada a Catalunya i pels sòls de granulometries mitjanes, de reacció neutra a bàsica i capacitats d'intercanvi entre 8 i 15 meq/100g. Respecte la taula de la guia d'interpretació d'anàlisis de l'any 2008, la nova taula introdueix el concepte d'òptim com aquell nivell en què els diferents cultius no haurien de trobar a faltar el fòsfor, minimitzant el risc ambiental de contaminació d'aqüífers. També s'afegeix un interval final de més de 80 ppm considerat com un nivell molt alt i pràcticament desaconsellat.

Taula. 1.3.2.8

Criteris d'interpretació de l'anàlisi de fòsfor extret amb el mètode Olsen

Nivells de P (Olsen) al sòl, en ppm	Interpretació
< 12	Baix
12-24	Mitjà
24-36	Òptim
36-80	Alt
> 80	Molt alt

Font: Elaboració pròpia adaptada de la FAO.

El fòsfor és un nutrient que es presenta en diferents formes químiques. Es pot considerar que, a diferència del nitrat, el fòsfor es troba en concentracions molt baixes en la solució del sòl. L'acció dels microorganismes del sòl permet la difusió del nutrient cap a les zones on es produeix l'absorció.

El mecanisme d'absorció principal per part de les plantes està estretament associat als mecanismes de respiració dels sistema radicular. El fòsfor s'absorbeix en forma d'ió fosfat, essent les formes monovalents les més fàcilment disponibles. El moviment d'aquest element en el sòl es produeix per gradients de concentració. Es tracta d'un moviment lent però que permet, a llarg termini, una distribució homogènia en la zona de màxima absorció del cultiu. La disponibilitat de fòsfor en el sòl és necessària per augmentar la probabilitat d'intercepció de les molècules de fosfat per les arrels. En aquest sentit, és molt important disposar d'una bona densitat de pèls radiculars per facilitar els processos de respiració i l'absorció de fòsfor.

Els nivells de fòsfor extraïble tenen una interpretació qualitativa, és a dir, que s'interpreta com un valor relatiu, de forma que no es pot determinar la quantitat exacta de fòsfor. La quantitat de fòsfor absorbit es realitza mitjançant l'anàlisi foliar.

1.3.2.9. El potassi

El nivell de potassi extraïble en un sòl depèn principalment de les tècniques de gestió agrícola (aplicació de fertilitzants minerals i orgànics, maneig de les restes vegetals i treball del sòl). La resposta dels cultius a la fertilització potàssica depèn del tipus de cultiu, l'objectiu productiu, el contingut de potassi en el sòl, de les condicions del medi i la disponibilitat d'aigua.

El potassi afecta no solament al rendiment, sinó també a la qualitat de la producció. Per aquest motiu, s'ha de considerar tant els aspectes de carència de potassi com les condicions de l'excés, relacionades amb fisiopaties d'alguns fruits, per exemple, amb la podridura apical en tomàquet. Una aplicació adequada de potassi millora la producció i la qualitat de molts cultius per les diverses funcions que hi realitza aquest element.

Taula. 1.3.2.9

Interpretació dels nivells de potassi extret amb acetat amònic a pH 7

Nivells de K al sòl (ppm)	Interpretació
< 125	Baix
125-175	Mitjà
175-250	Òptim
250-350	Alt
> 350	Molt alt

Font: Elaboració pròpia adaptada de la FAO.

El potassi disponible del sòl es troba majoritàriament en forma adsorbida en el complex argil·lohúmic. També hi ha una part del potassi que es troba dissolt en la

solució del sòl i precipitat en forma de sals. El potassi que forma part de la pròpia mineralogia de les argiles del sòl està poc disponible a curt termini.

El potassi aplicat al sòl, es troba temporalment en forma d'ió potassi dissolt en la fase aquosa del sòl. Aquest catió cerca en el complex argil-lohúmic els radicals necessaris per a la seva adsorció. El sòl manté un equilibri entre el potassi adsorbit i el disponible en la solució del sòl mitjançant la seva capacitat de bescanvi.

És important mantenir un equilibri entre el desenvolupament vegetatiu i la producció de fruits per mantenir un equilibri adequat en la producció.

1.3.2.10. El magnesi

L'origen del magnesi és degut en gran part a la composició mineral dels sòls, però també depèn fortament de la qualitat de les aigües i de les aportacions fetes amb fertilitzants i dejeccions ramaderes. Algunes aigües de reg poden provocar un augment del nivell de magnesi en el sòl atesa l'aportació d'aquest element.

Es recomana analitzar les fulles per determinar la necessitat de magnesi de forma puntual. També convé avaluar l'equilibri nutricional dins de la planta mitjançant les anàlisis de planta.

Taula 1.3.2.10

Interpretació dels nivells de magnesi extret amb acetat amònic a pH7

Nivells de Mg al sòl, en ppm	Interpretació
< 100	Baix
100-175	Mitjà
175-250	Òptim
250-600	Alt
> 600	Molt alt

Font: Elaboració pròpia.

Els símptomes principals de carència de magnesi són clorosis entre els nervis de les fulles, que dificulten l'activitat fotosintètica del cultiu i, per tant, l'assoliment del màxim desenvolupament i producció.

1.3.2.11. El calci

El calci en el sòl juga un paper molt important per regular l'equilibri dels cations de canvi del complex argil-lo-húmic del sòl. En el cas de sòls calcaris i/o amb guix ho compleix amb escreix.

Els nivells de calci extret amb acetat amònic a pH 7,0 és superior als 4.000 ppm en sòls calcaris i pot arribar a nivells de més de 20.000 ppm en sòls amb guix. Quan l'extractant és l'acetat amònic a pH 8,2 els valors són aproximadament la meitat, i la seva interpretació, en conseqüència, també ho és.

Quan els nivells baixen per dessota els 700 ppm el sòl s'acidifica per la pèrdua de bases i l'aparició de protons d'hidrogen i alumini. En aquests casos, el sòl perd fertilitat, alliberant-se formes d'alumini que poden ser tòxiques pels cultius. Així doncs, és recomanable l'aportació al sòl de carbonat càlcic.

Taula 1.3.2.11

Interpretació dels nivells de calci al sòl extret amb acetat amònic a pH7

Nivells de Ca al sòl, en ppm	Interpretació
< 700	Molt baix
700-2000	Baix
2000-4000	Adequat
> 4000	Alt

Font: Elaboració pròpia adaptada de la FAO.

1.3.2.12. El sodi

L'anàlisi del sodi es pot utilitzar per millorar el diagnòstic realitzat amb la prova prèvia de salinitat. Per la seva determinació analítica s'extreu juntament amb el potassi, el calci i el magnesi utilitzant acetat amònic. En l'extracte es determina la concentració de sodi per espectrofotometria en el mateix procés de determinació dels altres cations.

Aquesta anàlisi millora la interpretació de les anàlisis de sòls de forma qualitativa en relació amb el nivell de salinitat de la mostra analitzada.

Taula 1.3.2.12

Interpretació dels nivells de sodi extret amb acetat amònic

Nivells de Na al sòl, en ppm	Interpretació
< 100	No salí
100-300	Lleugerament salí
300-1000	Salí
> 1000	Salí-sòdic

Font: Elaboració pròpia.

En la majoria de sòls salins i salins-sòdics existeixen molt bones correlacions entre el sodi extret amb acetat amònic (Na_e) i la conductivitat elèctrica de l'extracte de saturació (CE_e), el sodi del mateix extracte (Na_e) i una estimació del SAR (que en realitat es calcula a partir del sodi de canvi) a partir d'aquest sodi extret amb acetat amònic (que no és exactament el de canvi).

$$SAR = \frac{Na}{100} \quad CE_e = \frac{Na}{71} \quad Na_e = \frac{Na}{12,5}$$

1.4. La millora de la fertilitat dels sòls

Un programa de nutrició dels cultius adequat, especialment pel que fa a la producció integrada, s'ha de basar en la millora de la fertilitat del sòl com a eix vertebrador i en manteniment dels cicles equilibrats de nutrients. A més, alguns factors ambientals com la humitat i la temperatura són fonamentals pel manteniment de la vida en el sòl. Per aquest motiu cal minimitzar el treball del sòl, realitzar treballs sempre verticals, minimitzar l'acció dels herbicides i mantenir sempre que sigui possible el sòl amb coberta vegetal. Sempre és aconsellable picar les restes de cultiu, fulla i fusta de poda per aportar matèria orgànica i afavorir l'activitat microbiana del sòl.

La qualitat d'un sòl s'avalua amb indicadors que van des dels més clàssics i fàcils de mesurar, com són algunes propietats físiques i químiques descrites, fins a les de tipus biològic, més complicades d'avaluar i actualment en desenvolupament perquè d'una manera fàcil i en baix cost puguin ser implementades. Algunes tècniques com la respiració dels sòls ja s'han implementat com un indicador de l'activitat biològica (e.g. Solvita™).

Un cop avaluats i diagnosticats els sòls, podem establir diferents solucions per millorar les propietats dels sòls. Les pràctiques de millora consisteixen en canviar les propietats deficientes sense desequilibrar les propietats considerades òptimes. Per exemple, un sòl pobre en matèria orgànica però amb un nivell de fòsfor alt no es pot millorar aportant fens, perquè es produiria un augment encara més elevat de fòsfor. La millora aniria més aviat per l'aportació d'esmenes com la leonardita (derivat del lignit) i l'adobat en verd (incorporació de restes vegetals cultivades, com les veces, en el mateix sòl).

39



Imatge 17. Sòl degradat per salinitat (Viladecans, Baix Llobregat). La pèrdua d'estructura produeix situacions d'asfíxia radicular.

S'aconsella millorar l'estructura del sòl mitjançant l'aplicació d'esmenes que millorin la capacitat de bescanvi catiònic i l'esponjositat del sòl. També resulta interessant la introducció d'espècies com l'adobat en verd en cultius que permetin la rotació o la sembra entre carrers en cultius arboris.

En determinats casos, és possible una fertilització únicament química en un medi estèril, però el producte final perd propietats i és més fàcil introduir desequilibris. Quan hi ha problemes físics greus, aquests poden afectar el desenvolupament del cultiu, disminuint les defenses i fomentant l'aparició de plagues. Una nutrició desequilibrada produeix trofobiosi. La trofobiosi fa referència a les malalties afavorides per desequilibris nutricionals. Principalment és deguda a:

- La presencia de formes nitrogenades lliures (amides, amines, i aminoàcids) en el final dels brots que són aliment de insectes xucladors i fongs.
- L'assimilació molt ràpida de nitrogen en detriment d'altres elements catalitzadors (Zn, Mn, Fe, Mg, B) i constitutius (P, S).

La millora de la fertilitat del sòl consisteix a evitar la pèrdua d'estructura i matèria orgànica del sòl, oferint solucions per millorar el medi sense crear desequilibris químics. Cal determinar l'efecte de les aportacions d'esmenes orgàniques en la composició química del sòl i fomentar la implantació de microorganismes beneficiosos per a la fertilitat del sòl.

La fertilització es realitza tenint en compte les necessitats reals de nutrició del cultiu, posant èmfasi en tots els nutrients, el moment d'aplicació i el seu equilibri. La font dels nutrients pot ser d'origen orgànic, mineral o de síntesi.

40

Els fertilitzants orgànics líquids són extractes procedents de plantes, sòls, minerals i composts que aporten metabòlits, àcids orgànics i fraccions minerals biodisponibles que fomenten les defenses i el desenvolupament equilibrat de les plantes. L'aportació d'extractes húmics i àcids orgànics procedents de plantes i composts actuen sobre els microorganismes del sòl, les arrels dels cultius i la química del sòl, introduint millores a la fertilitat.

1.4.1. L'augment de la matèria orgànica

La matèria orgànica oxidable d'un sòl està constituïda per un conjunt de substàncies complexes, procedents de la descomposició de les restes vegetals i dels productes d'origen orgànic aplicats.

Aquesta matèria orgànica permet modificar les propietats físiques i químiques dels sòls, afavorint la formació d'agregats i millorant l'esponjositat del sòl, l'aireig i circulació de l'aigua. En definitiva, la matèria orgànica del sòl té implicacions sobre l'activitat física, química i biològica del sòl.

L'acció física es relaciona amb els efectes de millora de l'estructura. Els efectes de tipus químic es manifesten en l'augment de la capacitat d'intercanvi i de reserva de nutrients, i l'acció biològica inclou una activació de la vida microbiana del sòl.

El manteniment de cobertes vegetals entre files de cultius ajuda a millora el nivell de matèria orgànica, especialment quan hi ha disponibilitat d'aigua suficient per generar un bon creixement.



Imatge 18. Tractor amb picadora per esmicolar les restes de poda i control de la coberta vegetal.

L'aportació a la matèria orgànica del sòl quan s'incorporen les restes de poda depèn del que s'anomena coeficient isohúmic. En el cas de les restes de poda, es pot considerar un coeficient d'un 35 %. La resta es descomposa aportant nutrients al sòl sense incorporar-se a la matèria orgànica del sòl (humus).

L'aplicació d'esmenes orgàniques té com a objectiu millorar la fertilitat del sòl sota una perspectiva física, química i biològica. Amb l'aportació d'esmenes orgàniques al sòl no tan sols el proveïm de nutrients, també s'aporten fibres que milloren les condicions físiques com l'aireig i el drenatge i s'aporta matèria orgànica que millora la capacitat de bescanvi del sòl, que és una font d'aliments pels microorganismes beneficiosos del sòl resultant finalment en unes millors capacitats de desenvolupament dels cultius.

L'aportació d'esmenes orgàniques s'ha de realitzar anualment, dins de la rotació de cultius. Els materials aportats han d'estar prèviament tractats per evitar reaccions adverses un cop aplicats al sòl.

El contingut òptim de matèria orgànica d'un sòl depèn d'altres paràmetres, com la textura, l'estructura i inclús la presència de sals. La matèria orgànica és clau per mantenir l'estabilitat estructural dels sòls.



Imatge 19. Sòl amb un contingut alt de matèria orgànica en l'horitzó superficial (classificat com *Typic calcixerolls* segons la Soil Taxonomy, USDA). S'observa el color fosc fins gairebé a 40 cm de profunditat.

L'estabilitat estructural dels sòls depèn en gran part de la proporció entre els llims i les argiles i l'humus. Per mesurar la capacitat d'un sòl de formar una estructura estable es pot utilitzar un índex que relacioni la proporció entre les partícules que tenen càrrega i les partícules que no en tenen i que, alhora, són prou fines com per obturar l'espai porós (capacitat de formació d'agregats, CFA).

Entre les partícules que tenen càrrega hi ha l'argila i el conjunt d'àcids húmics i fúlvics que constitueixen la proporció de matèria orgànica oxidable d'un sòl. El conjunt de partícules sense càrrega està constituït pels llims i les arenes de diàmetre inferior a 0,5 mm.

$$C.F.A. = \frac{\text{Argila (\%)} + 8 \times MO(\%)}{12,5} \times 100$$

Interpretació de l'índex de formació d'agregats del sòl

CFA (%)	Capacitat de formació d'agregats
< 25	Molt baixa
25-50	Baixa
50-75	Adequada
> 75	Òptima

Font: Elaboració pròpia.

Aquest índex de formació d'agregats pondera la capacitat de càrrega de les argiles i la matèria orgànica respecte la presència de llims i arenes fines. A mesura que augmenta la presència de llims i arenes fines en un sòl, major ha de ser el nivell de matèria orgànica per mantenir la capacitat de formació d'agregats dins d'un rang òptim.

En sòls amb textures on la suma de llims i arenes fines assoleix el 80 % fan falta nivells de matèria orgànica del 3,5 % per mantenir una CFA de l'ordre del 60 %.

Un sòl amb un nivell baix de matèria orgànica, de l'ordre de l'1 %, conté 45.000 kg/ha de matèria orgànica (MO). Millorar el nivell de MO d'un sòl és una tasca difícil a curt termini utilitzant criteris agrònomicos sostenibles amb l'entorn. Aquests càlculs teòrics es desajusten en la realitat al intervenir altres factors com son la pèrdua de matèria orgànica per mineralització. Per aquest motiu es justifica el seguiment experimental durant alguns anys per avaluar la dinàmica de la matèria orgànica al sòl. La proporció de matèria orgànica aportada que finalment provoca un increment de la matèria orgànica del sòl depèn del que s'anomena coeficient isohúmic.

Les dosis a aplicar depenen del tipus de material, dels cultius de la rotació anual, de les anàlisis de sòls i de les normatives vigents. És aconsellable realitzar un balanç de nutrients entre les extraccions i les aplicacions de forma que els nivells en el sòl no assoleixin mai nivells alts de nitrogen, fòsfor o potassi que puguin arribar a ocasionar desequilibris nutricionals en els cultius.

1.4.1.1. Característiques d'un compost

El compost, com el seu nom indica és un material d'origen vegetal i/o animal que ha sofert un procés de compostatge. És a dir, ha sofert un procés de transformació per acció de microorganismes, temperatura, humitat i aireig. El material s'apila, s'humecta i es volteja fins a obtenir unes característiques determinades.

Les principals característiques d'un compost són:

- Producte que fa bona olor
- Granulometria fina, sense plàstics ni vidres
- pH bàsic (7,8-8,3)
- Baix contingut d'humitat (20-30 %)

- Matèria orgànica entre el 40-60 %
- Relació C/N entre 8 i 12

Nivells baixos de metalls pesants:

- Cadmi < 0,7 ppm
- Crom < 70 ppm
- Mercuri < 0,4 ppm
- Plom < 45 ppm

El compost aporta al sòl microorganismes i nutrients essencials per a la millora de la fertilitat. La dosificació màxima es realitza d'acord amb els criteris de nutrició dels cultius, essent el principal factor limitant la quantitat de fòsfor i potassi aportada amb l'aplicació de compost. El seguiment de les aplicacions de compost es pot realitzar mitjançant les anàlisi de sòls, evitant els criteris d'acumulació quan els nivells dels principals nutrients són alts.

1.4.1.2. L'adobat verd com a millorant de l'estructura del sòl i activador de les reaccions enzimàtiques

Un sistema per aportar matèria orgànica de forma sostenible és incloure l'adob verd en la rotació de cultius. L'adob verd consisteix en sembrar un cultiu que s'incorporarà al sòl amb una passada de cultivador. Es busquen cultius més o menys ràpids, amb sistemes radiculars profunds, potents o fixadors de nitrogen (per exemple la veça *Vicia sativa* L.).



Imatge 20. Associació de lleguminoses i crucíferes com a adobat en verd en hivernacle.

L'adob verd aporta a curt termini fibres que estructurin el sòl, carboni orgànic que fomenta l'activitat microbiològica i, en el cas de lleguminoses, aporta un increment de bacteris fixadors de nitrogen. La degradació de la biomassa vegetal allibera àcids orgànics que milloren les reaccions químiques del sòl, fomenten l'activitat radicular del cultiu següent i tenen cert efecte biocida contra algunes plagues, com nematodes i fongs d'arrel. A mig termini resulta una font d'àcids húmics necessària per al manteniment de la fertilitat del sòl.

L'increment del nivell de matèria orgànica del sòl amb un adobat verd varia del 0,1 al 0,2 % en cada incorporació. Aproximadament el doble que amb l'aportació d'un compost. Per mantenir nivells de fertilitat elevats en un sòl és necessària la realització d'aquestes pràctiques de forma habitual en el calendari de les bones pràctiques.

1.4.2. L'aportació de fertilitzants i altres esmenes minerals

Als fertilitzants minerals se'ls atribueix entre un 40 i un 60 % de la producció de cultius als EUA i Anglaterra. Alguns autors fins i tot estimen en un 40 % la població mundial que no podria ser alimentada sense l'adveniment dels fertilitzants nitrogenats. No obstant la importància del fertilitzants, la seva gestió no es pot banalitzar en el sentit dels costos que representa, el seu impacte en el medi ambient i el més important, l'efecte que tenen en la producció i la qualitat dels productes que són objecte de l'activitat agrària.

Les principals esmenes minerals són:

- Sulfat càlcic
- Carbonat càlcic i carbonat magnèsic
- Lignits
- Fertilitzants minerals

El guix (sulfat de calci dihidratat) s'utilitza per reemplaçar el sodi per calci en sòls salins-sòdics. Facilita la lixiviació del sodi adsorbit en el complex, millorant la floculació de les argiles. També pot precipitar formant canals i passos preferents d'aigua que milloren el drenatge. El guix és una font de sofre important que pot ser interessant com a nutrient en molts sistemes de producció agrícola. La dosi de guix a aplicar depèn de la quantitat de sodi que es vol disminuir.

Les esmenes calcàries estan molt indicades en sòls àcids amb baix percentatge de saturació de bases. Generalment, aquests sòls es diagnostiquen per nivells baixos de pH i de calci extraïble. Són sòls degradats, amb baixa fertilitat, amb pèrdua d'estructura i potencialment tòxics quan s'allibera l'alumini dels minerals de l'argila.

El lignits contenen quantitats importants d'àcids húmics, tenen com a objectiu augmentar la capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) del sòl de forma localitzada, millorant certes propietats del sòl. L'aportació de lignits és aconsellable en sòls amb baixa CIC.

Els fertilitzants minerals s'obtenen principalment per atac àcid de roques que poden contenir P, K, Mg, Ca, Fe, Zn, Mn, Cu... La indústria dels fertilitzants presenta aquestes esmenes en formes més o menys solubles segons el procés de fabricació i



46 **Imatge 21.** Aplicació de guix sobre cavallons abans de plantar.

es poden obtenir sols o combinats. Les dosificacions es realitzen en base a les anàlisis de sòls, per determinar el tipus d'esmena a realitzar i l'estimació de la quantitat de mineral a aportar.

Per tenir garanties dels adobs minerals la UE els etiqueta com a "adobs CE" (Reglament CE 2003/2003). El Reial Decret 506/2013 (l'ordre AAA/2564/2015) regula l'ús d'altres tipus de fertilitzants, des dels adobs líquids (solucions NPK) fins a esmenes minerals com l'aplicació de carbonat càlcic en sòls àcids.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- BRADY, N. C. 1990. *The Nature and properties of soils*. 10a edició. Macmillan Publ. Co. Nova York.
- CONNOR, D. J. 2001. "Optimizing Crop Diversification". Dins NÖSBERGER, J.; GEIGER, H. H.; STRUIK, P. C. (eds.), *Crop Science: Progress and Prospects*. CABI Publishing.
- ECKERT, D. J. 1994. "Site-Specific Soil Tests and Interpretations for Potassium". Dins FAO, 1980. *Soil and Plant Testing and Analysis*. FAO soils butletins.
- FISHER, T. A. 1974. "Some considerations for interpretation of soil tests for phosphorus and potassium". *Missouri Agric. Exp. Stn. Res. Bull.* (Columbia) 1007.

- FORGE, T., NEILSEN, G., NEILSEN, D. 2013. Assessing Soil Health for Tree Fruit and Vine Crops. Wash. St. Hort. Assoc. Annual Meeting Proceedings.
- FOTH, H. D.; ELLIS, B. G. 1997. *Soil fertility*. 2a edició. CRC Press, Inc.
- HABY, V. A.; RUSSELLE, M. P.; SKOGLEY, E. O. 1990. "Testing soils for Potassium, Calcium and Magnesium". Dins WESTERMAN (ed.), *Soil Testing and Plant analysis*. 3a edició. SSSA 3. Madison.
- HAVLIN, J. L., JACOBSEN, J. S. (ed.). *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations*. SSSA Special Publication, 40. Madison.
- HAVLIN, J. L., BEATON, J. D., TISDALE, S. L., NELSON, W. L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 7a edició. Prentice Hall.
- LOOMIS, R. S., CONNOR, D. J. 1996. *Crop Ecology; Productivity and Management in Agricultural Systems*. 2a edició. Cambridge University Press, Cambridge.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., ROQUERO, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3a edició revisada i ampliada. Ediciones Mundi-Prensa. 849 pp.
- RICHARDS, L. A. (ed.). 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agriculture Handbook 60, Washington, D. C.
- RHOADES, J. D., LOVEDAY, J. 1990. "Salinity in irrigated agriculture". Dins *Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy Monograph* (American Society of Agronomy, Madison), 30: 1089-1142.
- SMIL, V. 2001. *Enriching the Earth. Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*. MIT Press, Cambridge. 358 pp.
- SONMEZ, S., BUYUKTAS, D., OKTUREN, F., CITAK, S. 2008. "Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies". *Geoderma* 144, 361-369.
- SSSA 2001. *Glossary of Soil Science Terms*. Madison.
- STEVENSON, F. J. 1986. *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulphur, Micronutrients*. John Wiley & Sons, Nova York.
- STEWART, W. M., DIBB, D. W., JOHNSTON, A. E., SMYTH, T. J. 2005. "The Contribution of Commercial Fertilizer Nutrients to Food Production". *Agron. J.* 97, 1-6.
- TAN, K. H. 2005. *Soil sampling, preparation, and analysis*. 2a edició. CRC press.
- THOMAS, W. G. 1982. "Exchangeable cations". Dins A. L. PAGE *et al.* (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2*. 2a edició. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, 159-166.
- VILLAR, P., ARAN, M. 2008. *Guia d'interpretació d'anàlisis de sòls i plantes*. Consell Regulador de la Producció Integrada. Generalitat de Catalunya.
- VILLAR, P., VILLAR, J. M. 2012. *Diagnòstic de la fertilitat dels sòls i l'estat nutritiu de les plantes*. V1.1. Document intern DMACS. UdL. 36 pp. Copisteria Universitària Armengol. DL L 1.281-2012.
- VILLAR, J. M., GUILLAUMES, E. 2010. Use of nitrification inhibitor DMPP to improve nitrogen recovery in irrigated wheat on a calcareous soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*. Vol. 8. Núm. 4. 1218-1230.

2. L'ESTAT NUTRITIU DELS CULTIUS

La nutrició dels cultius és conseqüència directa de la fertilitat dels sòls, i de l'estat del material vegetal establert. Conèixer els mecanismes d'absorció, les funcions dels diferents elements i les eines de diagnòsi és fonamental per tancar el cercle d'aquest binomi sòl-cultiu.

La nutrició d'un cultiu es realitza a partir de reaccions bioquímiques entre els microorganismes del sòl i les arrels de les plantes en un medi oxidant. Com a nutrició, entenem un sistema productiu basat en la millora de la fertilitat del sòl com a eix vertebrador de la nutrició dels cultius. Els vegetals necessiten, com a mínim, la combinació de disset elements anomenats essencials per al seu desenvolupament, i n'hi ha d'altres considerats com a beneficiosos.

Perquè es produeixin aquestes reaccions és necessari disposar d'un sòl ben estructurat (disponibilitat d'aigua i oxigen), amb activitat microbiològica activa (biodisponibilitat de nutrients, simbiosi...), reserva de nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, B...) i una planta sana amb bon desenvolupament radicular (pels absorbents).

2.1. Mecanismes d'absorció de nutrients

Els nutrients són absorbits principalment en forma iònica des de la solució del sòl per les arrels. Els mecanismes que expliquen aquest procés es poden resumir en tres: la intercepció radicular, el flux de massa i la difusió.

El procés d'intercepció per part de les arrels està limitat principalment pel petit volum final que ocupen les arrels en relació al volum de sòl. La intercepció directa arriba al 10% de la nutrició mineral, i, té especial rellevància en el cas del calci. D'aquí que la nutrició de calci tingui un especial interès en la disponibilitat d'un bon sistema radicular, en definitiva, d'una bona fertilitat del sòl.

Taula 2

Exemple d'absorció de nutrients segons el mecanisme d'absorció

Element	Intercepció (kg/ha)	Flux de massa (kg/ha)	Difusió (kg/ha)
Nitrogen	5	85	10
Fòsfor	0,5	1	10
Potassi	2	13	100
Calci	18	45	0
Magnesi	3	11	0
Sofre	1	10	

Font: Elaboració pròpia adaptada de Foth i Ellis (1997).

El flux de massa consisteix en l'entrada de nutrients dissolts en l'aigua que absorbeix el cultiu. Aquest tipus d'absorció representa més del 50 % de la nutrició mineral i té especial rellevància amb nutrients com el nitrogen, donada l'alta solubilitat dels nitrats.

La difusió dels nutrients en el sòl es produeix principalment per gradients de concentració. Elements com el fòsfor i el potassi es mouen a partir dels gradients de concentració, és a dir, que tendeixen a redistribuir-se en el sòl i sobretot a ocupar el buit que va deixant el sistema radicular en produir l'absorció d'aquests elements per intercepció radicular. Es tracta aleshores d'un mecanisme combinat.

Els ordres de magnitud comentats es poden alterar especialment en sistemes de fertirrigació en els quals podem trobar, en els moments de la injecció de l'adob, grans quantitats de fòsfor i potassi dissolts que poden ser absorbits pel flux de massa, forçant d'aquesta manera l'entrada de nutrients en el cultiu.

2.2. Funcions dels nutrients

Els principals nutrients dels cultius (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Ni, Mn, Mo, Zn i Fe) són elements constituents dels teixits vegetals i formen part de reaccions i processos fonamentals per completar el cicle vegetatiu. A continuació s'indiquen les principals funcions i símptomes relacionats amb el seu dèficit o excés.

Nitrogen. Constituent de proteïnes i material genètic (ADN, ARN i aminoàcids). És necessari per a la fotosíntesi i la respiració (afecta molt al creixement). La seva carència produeix pal·lidesa a les fulles i creixement feble a més de poc desenvolupament. Afecta principalment a les fulles més velles (engrogiment de les fulles). L'excés produeix en general vigor que pot afectar en una menor productivitat d'òrgans de fructificació i en el gítat de cereals d'hivern.

Fòsfor. És l'element estructural d'àcids nucleics i fosfolípids. Intervé en la transferència d'energia (ATP), necessària per a moltes reaccions enzimàtiques. La seva carència afecta a la floració, a la formació dels fruits, a la síntesi de proteïnes, etc. Els símptomes es poden presentar en fulles amb una coloració fosca (púrpura). Difícilment es presenten excessos en planta, encara que en el sòl pot afavorir immobilitzacions de nutrients com el calci o el zinc.



Imatge 22. Imatge comparativa d'un assaig entre el testimoni (dreta) respecte la dosi màxima de nitrogen aplicada (esquerra). La falta de nitrogen avança la maduració i les fulles presenten un color més pàl·lid.

Potassi. Intervé en l'activació enzimàtica. Translocació d'assimilats. Regulador osmòtic. La seva carència pot produir reducció del creixement i del rendiment, menor acumulació de midó i de proteïnes. La simptomatologia es pot manifestar en fulles velles més grogues. El seu excés produeix esclats cel·lulars en fruits, anticipant la senescència. És un nutrient que si es troba en excés en el sòl afecta negativament a l'absorció del calci i del magnesi (antagonisme).

Calci. Estructura de les parets cel·lulars (pectats càlcics), donant un cert reforçament de les membranes. La seva carència produeix la desintegració de la paret cel·lular. En els òrgans i teixits de creixement ràpid es produeixen desordres, necrosis (*tip-burn*) i ensurats (*Bitter Pit* en pomera).

51



Imatge 23. Carència de calci en la base del tomàquet.

Magnesi. Forma part de la molècula de clorofil·la. És necessari en els processos de fotosíntesi i de respiració. La seva carència produeix clorosi, fulles més pàl·lides, color groc entre els nervis que s'escampen o s'estenen cap a les fulles més joves.



Imatge 24. Plantada de tomates en hivernacle amb carència de magnesi.

Sofre. És el constituent d'alguns aminoàcids com la cisteïna i la metionina. Necessari per formar proteïnes. Té funcions metabòliques rellevants (afecta tant a la qualitat de la proteïna del blat com al gust i l'olor d'alls i cebes). La seva carència produeix clorosis més repartides entre fulles joves i velles, comença a les parts més joves i s'escampa a tota la planta.

Bor. És responsable de part de l'estructura de la paret cel·lular i de la integritat de la membrana. Transport de sucres (floema). Metabolisme dels carbohidrats. La seva carència produeix fruita amb taques i ensurats. Afecta a la floració i a la pol·linització. Fulles cloròtiques. Afecta al creixement dels brots, donant entrenusos més curts. L'excés produeix cremades importants en la fulla, amb simptomatologia similar a la salinitat o toxicitat per sodi, també pot produir ensurats en la polpa de fruita per acció tòxica.



Imatge 25. Fitotoxicitat produïda pel bor.

Clor. Contribueix a la regulació estomàtica. La seva carència afecta al marge de les fulles, que es tornen músties. L'excés és tòxic, produint cremades en la fulla.

Coure. Forma part del component d'enzims. Síntesis de lignina. La seva carència produeix clorosi, creixement raquític i brots secs a les puntes. L'excés pot ser fitotòxic, manifestant-se en forma de cremades en les fulles i l'epidermis dels fruits.

Níquel. Forma part de component de la ureasa (enzim necessari per convertir la urea en amoni).

Manganès. Actua en l'activació d'enzims. Essencial en el procés de fotosíntesi i de respiració. La seva carència produeix clorosi entre els nervis i engrogeeix les fulles superiors més joves. L'excés arriba a ser fitotòxic, produint cremades en les fulles.

Molibdè. Forma part de la nitrogenasa i altres enzims (metabolisme del N). Participa en la transferència d'electrons. La seva carència produeix falta de vigor (similar al N).

Zinc. Actua en l'activació d'enzims (cofactor enzimàtic). Metabolisme dels carbohidrats i d'auxines com l'àcid indolacètic (AIA). La seva carència produeix inhibició del creixement.

Ferro. És part de la clorofil·la. Processos de transferència d'electrons. La seva carència produeix clorosi, fulles grogues (sobretot les més joves).



Imatge 26. Síntoma de clorosi fèrrica en olivera.

2.3. Avaluació i diagnosi de la nutrició

La realització de diferents tipus d'analítica en planta té com a objectiu principal completar la informació de les anàlisis de sòls i la gestió de la fertilització dels cultius. Les anàlisis de fulla tenen una gran utilitat per ajustar els programes de fertilització i per realitzar diagnòstics nutricionals dels cultius. L'ús d'aquestes anàlisis combinat amb la interpretació de les anàlisis de sòls permet millorar la fertilització sota una perspectiva productiva, de qualitat del producte i de les millores agroambientals que se'n deriven. Les anàlisis del fruit donen informació relativa a la dinàmica de la seva translocació final i estan molt relacionades amb la fertilitat dels sòls, la capacitat de conservació i l'aparició de malalties del fruit.

De la mateixa manera que en el coneixement del sòl és important la prospecció de camp, en el diagnosi de la nutrició és important la diagnosi visual dels cultius.

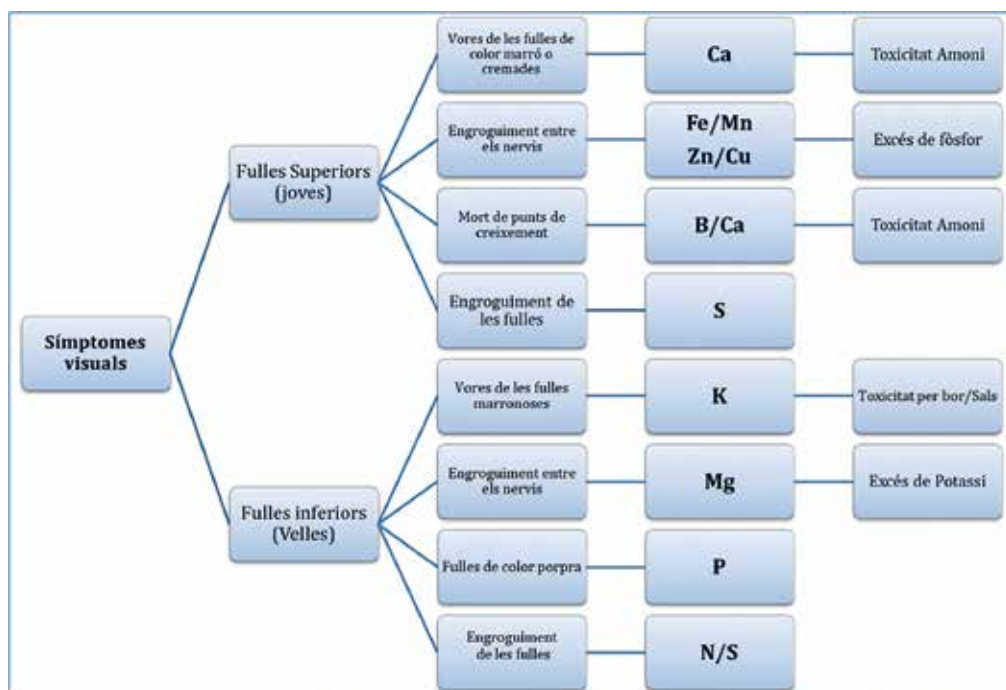


Figura núm. 2.3. Clau per a la diagnosi visual de deficiències de nutrients en cultius (adaptat de <http://www.extension.umn.edu/garden/fruit-vegetable/diagnosing-nutrient-disorders>. En línia, 2 d'octubre de 2014).

2.3.1. L'anàlisi foliar

La diagnosi de l'estat nutricional d'un cultiu es pot realitzar a partir de l'anàlisi química de les fulles. Aquesta analítica es realitza a nivell de laboratori per dues vies diferents. D'una banda, es determina el nitrogen pel mètode Kjeldhal, i, de l'altra banda, es determinen la resta d'elements com el P, K, Ca, Mg, Na, S, Zn, Mn, Fe, Cu, Si i B per digestió àcida i posterior lectura per espectrofotometria.

Per avaluar l'estat de nutrició dels cultius és necessari obtenir fulles en bon estat. El criteri general de selecció de les mostres es basa en l'obtenció de fulles desenvolupades, generalment de la part mitja dels brots o desenvolupament. Els requeriments de precisió dels resultats es recolzen més en el nombre d'individus mostrejats que en el nombre de fulles. Si, per exemple, una mostra està composta de vint-i-cinc fulles que provenen de vint-i-cinc plantes és més representativa que si provenen de dues.

Cada mostra representa l'estat nutricional d'una unitat de gestió que coincideix amb la definida en el capítol de presa de mostres de terra. El material vegetal i els períodes de presa de mostra s'estandarditzen per poder utilitzar unes determinades taules d'interpretació.

Els períodes de presa de mostres no poden ser restrictius, s'aconsella deixar un ventall suficientment ampli a criteri del prescriptor local. És convenient realitzar les analítiques anuals durant el mateix període vegetatiu per poder realitzar comparacions de resultats entre campanyes.



Imatge 27. Espectròmetre de masses amb plasma acoblat. Permet mesurar la majoria d'elements de la taula periòdica en un rang dinàmic lineal amb precisió de nanograms per litre.

En fruiters, és recomanable realitzar l'extracció de les fulles durant el període de desenvolupament vegetatiu, pròxim al final de la divisió cel·lular dels fruits.

56

En cultius hortícoles, generalment es pren mostra de la part superior, fulles més velles o les primeres completament desenvolupades, segons el cas. El nombre de fulles depèn de la quantitat de biomassa i de la representativitat.

Per la detecció de problemes s'aconsella buscar fulles amb aparició de símptomes sense arribar a estar malmeses del tot. No s'han d'utilitzar aquestes anàlisis per programar la fertilització, sinó que tenen la finalitat de diagnosticar problemes.

L'ús de les taules d'interpretació d'aquestes anàlisis ens permet realitzar un diagnòstic de l'estat de la planta en el moment de la presa de mostres. Bàsicament, les principals finalitats de les anàlisi de fulles són:

- **Diagnòstic de carències:** permet identificar carències de nutrients. En el cas de microelements és suficient per a la prescripció de tractaments. En el cas dels macroelements, la informació s'ha de completar amb les relacions existents entre ells.
- **Control de la fertilització:** les aplicacions de nutrients poden ser avaluades a partir del contingut en macronutrients en l'anàlisi foliar, ajustant les dosis de fertilització d'una forma convenient.
- **Diagnòstic de problemes:** alguns problemes físics del sòl es poden diagnosticar amb l'anàlisi foliar. La detecció de nivells baixos o alts de determinats elements estan associats a problemes en el sòl.
- **Control d'alguns tractaments:** l'anàlisi foliar permet avaluar les aplicacions excessives de metalls (per exemple, coure i zinc) i poder així tornar a ajustar les dosis aplicades en anys successius.



Imatge 28. Carència de fòsfor en api (*Apium graveolens* L.).

Taules d'interpretació de les anàlisis de fulles

Les taules que es proposen a continuació permeten caracteritzar l'estat nutricional dels cultius per a mostres extretes durant els períodes recomanats d'extracció. Habitualment coincideix entre el període de finalització de la divisió cel·lular del fruit i trenta dies més.

La interpretació es realitza definint un primer interval qualificat com a deficitari. Aquest interval inclou aquells nivells inferiors al nivell considerat crític, és a dir, limita el desenvolupament normal del cultiu. En aquest cas, el cultiu sovint presenta simptomatologies associades a aquest dèficit.

El segon interval definit és el considerat òptim, és a dir, el cultiu no presenta cap restricció associada a la carència o a l'excés d'aquest nutrient en particular considerat en si mateix i no en relació als altres nutrients.

Entre un nivell baix o deficitari i aquest interval òptim queda un espai en què cal avaluar la possibilitat d'una subcarència, en què sense una manifestació simptomatològica clara podem no assolir el màxim potencial productiu o qualitatiu del cultiu.

Finalment es dona un nivell a partir del qual es considera alt. En alguns casos un nivell alt pot comportar l'aparició de desequilibris i toxicitats. Entre l'interval considerat òptim i el nivell alt queda un altre interval on el nivell en particular es considera lleugerament alt i, per tant, susceptible d'ocasionar desequilibris nutricionals.

L'establiment d'interval·ls per a la diagnosi de l'estat nutritiu dels cultius és fruit de l'experiència empírica dels autors, i per tant s'ajusten en la mesura que es disposa de més informació i experiències. L'establiment d'interval·ls en base a l'estadística, pot comportar lògicament l'acumulació d'errors associats a possibles males pràctiques generalitzades en una zona. L'aplicació de normes DRIS (sistema integrat per a la diagnosi i la recomanació per cultius) basat en càlculs aritmètics a partir de la informació generada en un àrea concreta, transmet les desviacions al conjunt de la interpretació. L'establiment d'aquestes normes DRIS es realitza a partir de la diagnosi amb l'ajut d'anàlisi de sòls, fulles, aigües i fruits.

Taula 2.3.1.1

Interpretació d'anàlisis foliars per cultius fruiters (macronutrients). Si no s'indica expressament, són valors per a mostres de fulles recollides entre el final de la divisió cel·lular i trenta dies més

Cultiu	Interpretació	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Pomera i perera	Dèficit	< 1,45	< 0,10	< 1,0	< 0,8	< 0,20
	Òptim	2,0-2,7	0,2-0,3	1,3-2,0	1,3-2,2	0,3-0,4
	Alt	> 3	> 0,5	> 3,0	> 4,0	> 0,6
Presseguer i nectarina	Dèficit	< 1,6	< 0,15	< 1,2	< 1,0	< 0,23
	Òptim	2,5-3,8	0,2-0,4	1,7-2,7	2,0-3,5	0,4-0,7
	Alt	> 4,0	> 0,6	> 3,7	> 5,0	> 0,9
Cirerer	Dèficit	< 1,5	< 0,10	< 1,0	< 0,5	< 0,23
	Òptim	2,0-3,0	0,2-0,3	1,4-2,3	1,4-2,8	0,4-0,6
	Alt	> 4,0	> 0,5	> 3,7	> 4,0	> 0,9
Albercoquer i prunera	Dèficit	< 1,8	< 0,15	< 1,2	< 1,0	< 0,20
	Òptim	2,2-3,5	0,2-0,4	2,5-3,5	2,0-3,2	0,3-0,6
	Alt	> 3,5	> 0,5	> 4,0	> 5,0	> 0,8
Olivera	Dèficit	< 1,0	< 0,10	< 0,7	< 0,8	< 0,10
	Òptim	1,4-2,0	0,15-0,23	0,8-1,5	1,1-2,2	0,1-0,3
	Alt	> 3	> 0,5	> 3,0	> 5,0	> 0,8
Avellaner	Dèficit	< 1,45	< 0,10	< 0,7	< 0,8	< 0,20
	Òptim	2,0-2,5	0,15-0,40	0,8-1,8	1,0-2,5	0,2-0,5
	Alt	> 3	> 0,5	> 3,0	> 5,0	> 0,8
Ametller i festuc	Dèficit	< 1,45	< 0,10	< 0,9	< 0,8	< 0,15
	Òptim	2,0-2,5	0,15-0,35	1,2-1,8	0,9-2,0	0,2-0,6
	Alt	> 3	> 0,5	> 2,0	> 4,0	> 0,8

Cultiu	Interpretació	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Cítrics	Dèficit	< 1,0	< 0,1	< 0,7	< 1,5	< 0,15
	Òptim	2,2-2,7	0,19-0,27	1,0-1,7	3,0-6,0	0,3-0,6
	Alt	> 3,2	> 0,35	> 2,0	> 7,0	> 1,0
Noguera	Dèficit	< 1,8	< 0,1	< 0,6	< 1,0	< 0,1
	Òptim	2,4-3,5	0,2-0,3	0,9-2,1	1,4-2,8	0,2-0,6
	Alt	> 4,5	> 0,5	> 3,0	> 3,3	> 0,7
Vinya limbe	Dèficit	< 1,2	< 0,1	< 0,6	< 1,5	< 0,2
	Òptim	1,9-2,8	0,16-0,28	0,9-1,7	2,3-3,2	0,4-0,6
	Alt	> 3,5	> 0,5	> 2,5	> 4,0	> 0,8
Vinya peciol (floració)	Dèficit	< 0,6	< 0,05	< 0,8	< 1,0	< 0,25
	Òptim	0,7-1,2	0,1-0,3	1,1-3,0	1,2-2,1	0,4-0,9
	Alt	> 1,6	> 0,5	> 4,0	> 3,0	> 1,5
Vinya peciol (verolat)	Dèficit	< 0,2	< 0,05	< 0,3	< 1,0	< 0,35
	Òptim	0,3-0,8	0,06-0,2	0,4-1,5	1,6-3,0	0,5-1,3
	Alt	> 1,0	> 0,5	> 3,0	> 4,0	> 1,5

Font: Elaboració pròpia adaptada (vegeu referències).

59

La vinya es refereix a varietats per a vinificació. En peciols de vinya en floració, es considera un nivell deficient quan el contingut de N-NO₃ és inferior als 350 mg/kg.

Taula 2.3.1.2

Interpretació d'anàlisis foliars per cultius hortícoles de mitja estació (macronutrients)

Cultiu	Interpretació	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Tomaquera i pebrotera	Dèficit	< 1	< 0,075	< 1,2	< 1,5	< 0,2
	Òptim	2,9-4	0,3-0,75	2,1-4,7	2,6-7,0	0,3-0,9
	Alt	> 5,5	> 1,2	> 4	> 8	> 1,2
Cucurbitàcies	Dèficit	< 2,5	< 0,1	< 2,5	< 1,5	< 0,2
	Òptim	3-4,5	0,3-0,8	3-4,8	2-4	0,35-0,8
	Alt	> 5	> 1	> 5	> 4,5	> 1,2
Ceba (bulbificació)	Dèficit	< 1,5	< 0,1	< 1,5	< 0,7	< 0,2
	Òptim	2-3,0	0,25-0,3	2-3,5	1,2-1,7	0,3-0,7
	Alt	> 3	> 0,3	> 4	> 3	> 1

Cultiu	Interpretació	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Hortalisses en general	Dèficit	< 1	< 0,09	< 1,1	< 1,3	< 0,2
	Òptim	2,5-4,4	0,25-0,50	2,2-4,53	1,1-4,0	0,3-0,9
	Alt	> 5,5	> 1,2	> 5	> 8	> 1,5

Font: Elaboració pròpia adaptada (vegeu referències).

Taula 2.3.1.3

Interpretació d'anàlisis foliars per cultius extensius en el moment de la floració (macronutrients)

Cultiu	Interpretació	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Panís	Dèficit	< 1,5	< 0,1	< 1,0	< 0,2	< 0,1
	Òptim	2,2-3,5	0,2-0,3	1,2-2,6	0,3-0,7	0,14-0,3
	Alt	> 4,5	> 0,7	> 3,5	> 2	> 0,75
Cereal d'hivern	Dèficit	< 1,5	< 0,1	< 1,0	< 0,2	< 0,1
	Òptim	2,5-3,5	0,2-0,4	1,4-2,8	0,3-0,8	0,15-0,35
	Alt	> 5	> 1	> 5	> 4,5	> 1,2
Alfals (inici floració)	Dèficit	< 2	< 0,2	< 0,9	< 1,1	< 0,15
	Òptim	4-5	0,35-0,5	1,8-3,0	1,5-2,5	0,2-0,4
	Alt	> 6	> 0,6	> 4	> 3,5	> 0,7
Arròs	Baix	< 1,5	< 0,1	< 1,0	< 0,08	< 0,09
	Normal	2,5-3,5	0,15-0,4	1,2-2,5	0,1-0,4	0,15-0,3
	Alt	> 4,5	> 0,7	> 3,5	> 1,5	> 0,75

Font: Elaboració pròpia adaptada (vegeu referències).

Per cada espècie o grup es dona un nivell crític o deficitari per sota del qual els cultius perden capacitat productiva. Són indicadors d'un dèficit de fertilització, presència d'un problema d'absorció del nutrient (per exemple, asfíxia radicular), situacions d'excessos nutricionals o toxicitats produïdes per la qualitat de les aigües, elements acumulats en el sòl o pràctiques de fertilització mal orientades.

L'interval òptim és aquell en què cada nutrient avaluat no presenta carències induïdes ni excessos relatius. Els nivells alts indiquen un excés de disponibilitat de nutrient o presència de problemes que cal diagnosticar.

Quan un nutrient es troba per sobre del nivell crític i no arriba a l'òptim podem considerar que existeix un cert risc de desequilibri en relació amb altres nutrients. Les combinacions a estudiar són les següents: N/P, K/Ca, K/Mg.



Imatge 29. Fulla de cogombre amb dèficit de magnesi induït per desequilibri amb potassi (sistema de reg amb fertirrigació amb aigües procedents del riu Llobregat amb nivells de potassi superiors als 40 mg/L).

Taula 2.3.1.4

Intervals òptims orientatius per a diferents relacions entre nutrients

61

RÀTIOS	Interval òptim
N/P	9-11
K/Ca	0,7-1,0
K/Mg	3-6

Font: Elaboració pròpia.

La interpretació de les concentracions de micronutrients en fulla per les diferents espècies cultivades varien relativament poc. Per aquest motiu, es poden donar nivells de referència estandarditzats de forma global pels diferents cultius.

Taula 2.3.1.5

Interpretació d'anàlisis foliars per cultius fruiters i hortalisses (micronutrients i sodi)

Interpretació	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)	Mo (ppm)	Na (ppm)
Deficiència	< 12	< 20	< 5	< 40	< 15	< 0.1	-
Òptim	30 - 50	45-60	5-20	80-175	35-50		< 500
Risc toxicitat	> 300	> 600	> 1000	-	> 150		> 1000

Font: Elaboració pròpia.



Imatge 30. Tomateres irrigades amb aigua de pou amb nivells de bor d'1,5 mg/L. Les fulles tenen un nivell de bor de 150 mg/kg, just al llindar de fitotoxicitat (Gavà, Baix Llobregat).

L'objectiu de les pràctiques de millora de la fertilitat, d'aplicació d'esmenes i nutrients via foliar o al sòl és l'obtenció de cultius equilibrats. Cal cercar la part central de l'òptim en cada cas, de forma que les relacions entre els elements es mantinguin optimitzades.

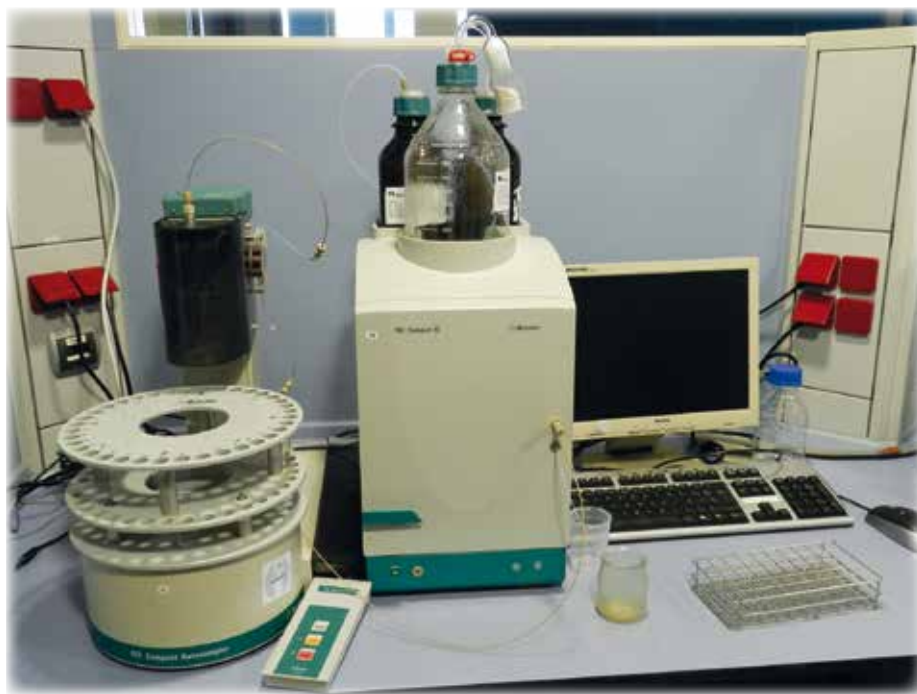
2.3.2. Anàlisi de nitrats en planta

L'anàlisi de nitrats es pot utilitzar com a control de consum en el cas d'hortícoles de fulla, fruits de cucurbitàcies (cogombre, carbassó, meló i síndria) i també com a control nutricional en el cas de la fertilització nitrogenada en cultius com el panís.

L'anàlisi es realitza sobre la mostra seca i triturada. Es realitza una dilució 1:5p/V i s'agita al vaivé durant 45 minuts. L'extracte es decanta o filtra i es procedeix a la lectura de la concentració de nitrats.

2.3.2.1. Controls de nitrat per al consum

Els nitrats en els cultius de fulla són objecte de valoració per la seva implicació en possibles problemes de salut associats a la ingesta en quantitats importants per part de la població. En la seva valoració, l'Organització de Consumidors i Usuaris (OCU) consideren com a molt bo el vegetal que presentava una quantitat de nitrats inferior a 500 mg NO_3/kg (el que seria la ingesta diària admissible per a un nen de 15 kg); acceptable el producte que té menys de 2.500 mg NO_3/kg (la quantitat que seria la ingesta diària admissible per a un adult de 70 kg); dolent si superava aquesta quantitat, sense arribar al límit legal (que és variable en cada verdura i fins i tot és diferent segons el tipus de cultiu i preparació), i molt dolent, si el contingut en mg de nitrats per quilo era superior a aquest límit legal.



Imatge 31. Cromatògraf iònic per lectura de nitrats en extractes líquids.

El Reglament (CE) N. 1881/2006 de la Comissió, de 19 de desembre de 2006, modificat pel reglament 1258/2011, de 2 de desembre de 2011 pel qual es fixen els continguts màxims de nitrats en aliments estableix un contingut màxim de 3.500 mg NO_3/kg en espinacs frescs i de 2.000 mg NO_3/kg en espinacs en conserva, refrigerats o congelats. A un enciam tipus "iceberg" cultivat a l'aire lliure se li exigeix un contingut màxim de 2.000 mg NO_3/kg .

2.3.2.2. L'anàlisi de nitrats de la base de la tija del panís

La concentració de nitrats en la part basal de la planta del panís (aproximadament en el tram que va dels 15 als 35 cm de la tija) està relacionada amb la disponibilitat de nitrogen per a la planta.

Per determinar els nitrats, el canyot extret s'asseca a 60°C i es polvoritza. Després s'analitza de forma idèntica a la que faríem amb una mostra de sòl. Els resultats s'expressen igual que en el sòl (mg N-NO₃/kg ms).

Aquesta analítica es pot realitzar a partir de l'estadi V6 del cultiu fins al moment de la collita.

Taula 2.3.2.2

Interpretació del nivell de nitrats en la base de la tija en el cultiu del panís a final de cycle vegetatiu

N-NO ₃ (mg/kg)	Interpretació
< 250	Deficient
250-700	Baix a mitjà
700-2.600	Òptim
> 2.600	Alt

Font: Villar *et al.*, 2015.

2.3.3. L'anàlisi del fruit

Les analítiques de material vegetal s'utilitzen com a eines de diagnòstic i control complementaries a les anàlisis de sòls. L'anàlisi foliar és l'anàlisi de material vegetal que presenta una major quantitat d'estudis i seguiments amb més de quaranta anys d'història. Això no obstant, l'anàlisi de fruit comença igualment a ser utilitzat. El procediment d'anàlisi és el mateix que en el cas de les fulles.

Aquesta anàlisi es realitza quan el fruit està totalment desenvolupat. Es tracta del producte acabat i, per tant, reflecteix el resultat final de les pràctiques de maneig realitzades durant la campanya de cultiu. Les principals utilitats d'aquesta analítica són:

- Avaluar l'equilibri nutricional del fruit un cop ha finalitzat la campanya. Aquest equilibri nutricional està relacionat amb les pràctiques culturals realitzades durant la campanya.
- Fer un diagnòstic de la fertilització: l'excés de determinats nutrients pot estar relacionat amb la dosi i moment d'aplicació dels fertilitzants, d'aquesta forma es pot ajustar el programa de fertilització de l'any següent.
- Avaluar la capacitat de conservació: en moltes espècies es pot realitzar una avaluació de la capacitat de conservació del lot de fruita.

Els nivells dels nutrients en un fruit condicionen d'alguna manera la qualitat intrínseca respecte a l'aparició de desordres nutricionals que poden produir alteracions fisiològiques en els fruits.

Quan un fruit presenta nivells fora del rang proposat cal avaluar la seva evolució i fer una revisió de les condicions en què s'ha desenvolupat. També es proposa realitzar una anàlisi de ratis entre els diferents nutrients per tal de millorar la interpretació analítica. A continuació es presenta en forma de taules els intervals més adequats de concentració de nutrients per als cultius de fruit més sensibles a l'aparició de fisiopaties relacionades amb el desequilibri nutricional. És important avaluar les proporcions entre diferents nutrients per controlar alteracions. També cal tenir en compte la sensibilitat de diferents varietats davant de situacions de desequilibri.

Taula.2.3.3.1

Interpretació d'anàlisi de fruit (macronutrients)

Cultiu	Interpretació	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Poma i pera	Dèficit	< 0,1	< 0,02	< 0,30	< 0,03	< 0,02
	Òptim	0,20-0,50	0,05-0,08	0,40-0,80	0,04-0,07	0,03-0,06
	Alt	> 0,70	> 0,09	> 0,90	> 0,07	> 0,06
Préssec i nectarina	Dèficit	< 0,3	< 0,15	< 0,60	< 0,04	< 0,23
	Òptim	0,40-0,75	0,10-0,15	0,80-1,20	0,04-0,07	0,04-0,07
	Alt	> 0,90	> 0,6	> 1,60	> 0,08	> 0,09
Cirera	Dèficit	< 0,3	< 0,08	< 0,60	< 0,04	< 0,02
	Òptim	0,6-1,1	0,10-0,25	1,0-1,4	0,07-0,25	0,05-0,07
	Alt	> 1,5	> 0,5	> 2,0	> 0,4	> 0,1
Albercoc	Dèficit	< 0,4	< 0,15	< 0,60	< 0,04	< 0,23
	Òptim	0,6-1,2	0,12-0,17	1,4-2,0	0,09-0,15	0,04-0,07
	Alt	> 1,7	> 0,35	> 2,1	> 0,35	> 0,08
Cítrics	Dèficit	< 0,4	< 0,1	< 0,5	< 0,1	< 0,3
	Òptim	0,6-0,8	0,5-1,2	0,7-1,1	0,2-3,5	0,5-0,8
	Alt	> 1,1	> 1,5	> 1,5	> 5,0	> 1,0
Tomàquet	Dèficit	< 1,00	< 0,10	< 0,7	< 0,75	< 0,40
	Òptim	1,2-2,2	0,25-0,50	1,5-2,5	0,15-0,25	0,1-0,14
	Alt	> 3	> 0,5	> 3,0	> 5,0	> 2

Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'anàlisi del laboratori llersap.

Un dels principals problemes de durabilitat de la fruita està relacionat amb el seu equilibri nutricional.

Com a norma general, els excessos de nitrogen i potassi i les carències de calci en fruits provoquen esclats cel·lulars on es produeixen alteracions fisiològiques que deriven en clapejats (interns i externs), podridures i proliferacions de fongs.

Per avaluar els resultats analítics es realitzen índex o ràtios entre els nivells dels principals nutrients. Mantenir-se dins de les òptimes ajuda a minimitzar l'aparició de fisiopaties. Els intervals són de caràcter general per a diferents cultius, fet que aconsella interpretar amb prudència els resultats analítics.

Taula 2.3.3.2

Intervals òptims per a diferents relacions entre nutrients en fruits

Ràtios	Interval òptim
(N+K)/Ca	20-40
N/P	4-7
K/Ca	17-23
K/Mg	15-20
Mg/Ca	0,9-1,2

Font: Elaboració pròpia.

2.3.3.1. La paradoxa del calci en fruit

En sòls amb nivells de calci elevat, com són els sòls calcaris, on a més s'utilitzen aigües de reg amb nivells alts de calci, podem trobar deficiències de calci.

L'explicació d'aquesta paradoxa rau en els mecanismes d'absorció del calci i l'antagonisme existent amb el potassi.

El 30 % del calci del fruit s'absorbeix per intercepció radicular durant la divisió cel·lular. L'activitat radicular juga un paper fonamental en l'absorció d'aquest element.

L'altre 70 % s'absorbeix per flux de massa, fet que entra en competència amb altres cations, principalment el potassi. Quan el sòl presenta nivells alts de potassi, o bé s'han realitzat aportacions excessives de potassi durant el període de creixement vegetatiu, el cultiu pot disposar de nivells molts alts de potassi en la solució del sòl. Part de l'excés de potassi absorbit és translocat a l'interior de les cèl·lules del fruit, augmentant la capacitat d'hidratació de les mateixes.

Una de les funcions del calci en el fruit és el recobriment de les parets cel·lulars per donar-los resistència. L'excés de potassi acumulat en l'interior cel·lular i la conseqüent hidratació i la falta de calci recobrint les parets cel·lulars afavoreixen el trencat de cèl·lules, induint fisiopaties de diferent consideració segons l'espècie i la varietat. En aquests casos són comunes les formacions de podridura apical. La diagnosi es pot efectuar a partir de l'anàlisi del fruit.



Imatge 32. Podridura apical del tomàquet. Els fruits afectats contenen menor quantitat de calci i major de potassi. Dins del fruit existeix una gradació de calci de més a menys entre la part del peduncle i la part basal.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- BENNETT, F. W. (ed.). 1993. *Nutrient deficiencies & Toxicities in crop plants*. The American Phytopathological Society.
- BENTON JONES, J. Jr. 2012. *Plant nutrition and soil fertility manual*. 2a edició. CRC Press. 282 pp.
- FERRER, F., VILLAR, J. M., STOCKLE, C. O., VILLAR, P., ARAN, M. 2003. "Use of pre-sidedress soil nitrate test (PSNT) to determine nitrogen fertilizer requirements for irrigated corn". *Agronomie: Agriculture and Environment*. 23, 561-570.
- FOTH, H. D., ELLIS, B. G. 1997. *Soil fertility*. 2a edició. CRC Press, Inc.
- GUILLAUMES, E., CARRASCO, I., VILLAR, J. M. 2006. "Response of wheat to additional nitrogen fertilizer application after pig slurry on over-fertilized soils". *Agron. Sustain. Dev.* 26, 127-133.
- MARSHNER, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2a edició. Academic Press. 889 pp.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. 1982. *Principles of plant nutrition*. 3a edició. International Potash Institute. Berna.
- MERRILL, L., HALVERSON, L. J. 2002. "Seasonal variation in microbial communities and organic malodor indicator compound concentrations in various types of swine manure storage systems". *J. Environ. Qual.* 31, 2074-2085.

- OLSEN, J. 2001. *Hazelnuts. Nutrient Management Guide. Extension Service*. Oregon State University.
- PENNSSTATE EXTENSION. Tree Fruit production. Plant nutrition. <http://extension.psu.edu/plants/tree-fruit/commercial-tree-fruit-production/orchard-nutrient-and-water-relations/plant-nutrition> (en línia, 23 de novembre de 2015).
- RIDGE, I. 1993. *Plant Physiology*. Hodder & Stoughton. The Open University.
- RUFAT, J., ARBONÉS, A., VILLAR, J. M., PASCUAL, M. 2015. "Fertilización nitrogenada en manzano: compromiso entre producción y calidad". *Revista Horticultura*. 319, 20-23.
- RUFAT, J., VILLAR, J. M., PASCUAL, M., FALGUERA, V., ARBONÉS, A. 2014. "Productive and vegetative response to different irrigation and fertilization strategies of an Arbequina olive orchard grown under super-intensive conditions". *Agricultural Water Management*. 144, 33-41.
- RUFAT, J., DOMINGO, X., ARBONÉS, A., PASCUAL, M., VILLAR, J. M. 2011. "Interaction between water and nitrogen management in peaches for processing". *Irrig Sci*. 29, 321-329.
- UNIVERSITY OF CALIFORNIA. <<http://ucanr.edu/sites/nm/Almond/>> (en línia, 23 de novembre de 2015).
- VILLAR, P., VILLAR, J. M. 2012. *Diagnòstic de la fertilitat dels sòls i l'estat nutritiu de les plantes*, V.1.1. Document intern DMACS. MM 36 pp. Copisteria Universitària Armengol. DL L 1.281-2012.
- VILLAR, P., ARÁN, M. 2008. *Guia d'interpretació d'anàlisis de sòls i plantes*. Consell regulador de la Producció Integrada. Generalitat de Catalunya.
- VILLAR, J. M., PASCUAL, M., RUFAT, J., VILLAR, P. 2015. "La determinación de nitratos en la base del tallo en el cultivo del maíz como herramienta de diagnóstico". *Vida Rural*. 400, 42-48.
- WESTERMAN, R. L. (ed.). 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. 3a edició. SSSA 3. Madison, Wisconsin.

3. LA FERTILITZACIÓ DELS CULTIUS

La fertilització és l'acció d'aportar nutrients al sòl o al cultiu. Els nutrients aportats poden formar part de compostos orgànics o minerals.

Els compostos d'origen orgànic són molt diversos i estan constituïts pels fems, les dejeccions ramaderes, les restes de cultiu, la fusta de poda, el compost, etc.

Els compostos minerals són sals inorgàniques procedents de síntesi i de mineria, transformats per millorar-ne el seu aprofitament. Són coneguts com a fertilitzants minerals.

69

Els objectius de la fertilització són:

- Millorar la fertilitat del sòl, sota una perspectiva física, química i biològica
- Millorar la productivitat dels cultius
- Millorar la resistència dels cultius a les plagues i a les malalties.

Cal recordar que les males pràctiques en l'aportació dels fertilitzants porten els efectes contraris als desitjats. La millor manera de controlar la fertilització realitzada és mitjançant la diagnosi del sòl i del cultiu.

3.1. Les extraccions i exportacions dels principals grups de cultius

Les pràctiques de fertilització orgànica i mineral suposen una aportació o entrada de nutrients que cal realitzar d'una forma controlada, amb l'objectiu d'equilibrar el sòl i proveir de nutrients els cultius, sense provocar perjudicis ambientals ni econòmics.

Per realitzar el càlcul de la fertilització de qualsevol cultiu és necessari establir a priori les extraccions del cultiu, diferenciant el concepte d'extracció del d'exportació.

L'extracció fa referència a l'absorció total de nutrients del cultiu, i l'exportació a la part del cultiu que surt de la parcel·la. Juntament amb l'avaluació i diagnosi de la fertilitat del sòl es pot realitzar un balanç aproximat teòric de les necessitats del cultiu.

El coneixement de les extraccions és important per preveure la necessitat potencial de nutrients per part del sòl i el coneixement de les exportacions és necessari per evitar entrar en una dinàmica d'acumulació de nutrients en el sòl que pugui acabar produint desequilibris en els cultius, que derivin en l'aparició de fisiopaties i/o carències induïdes.

3.1.1. Gramínies

Els cereals més cultivats a Catalunya són l'ordi, el blat, el panís i l'arròs. Tot i que les extraccions no són exactament iguals, sí que es mantenen ordres de magnitud similars. Això permet calcular amb certa aproximació les extraccions orientatives per una producció estimada.

Determinar les extraccions i exportacions de cultius extensius resulta relativament fàcil. Les extraccions totals en cereals d'hivern són de l'ordre de 24-10-23 kg d'unitat fertilitzant (N-P-K) respectivament per cada tona de matèria seca produïda. Lògicament, les extraccions finals són variables i depenen de l'espècie, varietat, tipus de sòl i disponibilitat d'aigua. Una producció de 6 tones de matèria seca per hectàrea suposaria unes extraccions de 144 kg de nitrogen, 60 kg de fòsfor (P_2O_5) i 138 kg de potassi (K_2O). En el cas d'aquests cultius, les extraccions (consum de nutrients) i les exportacions (sortida de nutrients de la parcel·la) difereixen segons si hi ha o no reposició de la palla.

La concentració de nitrogen en gra varia entre 1,1 i 2,2 %. A aquesta xifra cal afegir el nitrogen retingut en les restes del cultiu, que són de l'ordre del 0,3-0,9 %. S'adverteix al respecte de les variacions reals de producció i extraccions del cultiu que s'observen entre diferents anualitats, condicions de maneig, material vegetal, etc.

Les extraccions de fòsfor en forma de P_2O_5 se situen al voltant dels 8-11 kg/t de gra i les extraccions de potassi (K_2O) oscil·len entre 20 i 25 kg/t de gra.

Taula 3.1.1
Extraccions orientatives de nutrients del cereal

Nutrient	Gra	Palla	Ponderades per tona de gra
N (kg/t)	11-22	3-9	14-23
P_2O_5 (kg/t)	4-6	4-5	8-11
K_2O (kg/t)	4-8	12-17	16-25

Font: Elaboració pròpia.

3.1.2. Lleguminoses

Les lleguminoses més utilitzades són l'alfals, el pèsol, la veça i les faves. Pel seu potencial d'alt rendiment en matèria seca, els seus continguts a nivell de teixit vegetal i el seu tipus d'explotació (massa vegetativa que s'exporta de la parcel·la), les extraccions dels macro i micronutrients són molt elevades.

La composició de l'alfals, entenent per composició els continguts en elements minerals, és un element decisiu en la valoració de les quantitats de nutrients necessàries. Les dades, però, no són sempre coincidents a nivell de la informació utilitzada. Tenint en compte el cicle de talls que es realitzen les exportacions de nutrients, les extraccions serien de l'ordre de nitrogen, de 40 a 50 kg/ha i tona de matèria seca; fòsfor com a P_2O_5 , 8-10 kg/ha i tona de matèria seca, i potassi, com a K_2O , 20-35 kg/ha i tona de matèria seca.

Taula 3.1.2

Extraccions teòriques de nutrients per tona de matèria seca d'alfals

Nutrient	Alfals
N (kg/t)	40-50
P_2O_5 (kg/t)	8-10
K_2O (kg/t)	20-35

Font: Aife, 2006.

3.1.3. Arbres fruiters

Per a la majoria de cultius, les extraccions es calculen a partir de la concentració mitjana de nutrient per unitat de producció, sempre tenint en compte que la concentració pot augmentar juntament amb la producció (les concentracions de nutrients no són una constant). En el cas de la fructicultura, no hi ha una relació directament proporcional entre la producció i les extraccions totals. Les diferències entre el creixement vegetatiu i la producció en són el principal motiu. No obstant això, resulta necessari donar uns valors de referència que puguin ser utilitzats per realitzar els càlculs de la programació de la fertilització.

71

Taula 3.1.3.1

Exportacions en kg de nutrient per tona de producció en fresc (fruits)

Cultiu	N	P_2O_5	K_2O	Mg	Ca
Pomera	0,45	0,21	0,90	0,06	0,05
Perera	0,61	0,29	1,26	0,09	0,11
Presseguer	0,74	0,47	1,60	0,08	0,08
Nectarina	0,80	0,51	1,93	0,09	0,08
Cirerer	1,55	0,51	2,63	0,11	0,15
Albercoquer	1,55	0,23	2,47	0,10	0,13
Prunera	0,74	0,38	1,68	0,08	0,16

Cultiu	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Ca
Codonyer	0,56	0,28	1,42	0,09	0,15
Vinya	0,99	0,50	1,80	0,12	0,30
Cítrics	1,84	0,54	2,46	0,15	0,92
Ametller	5,40	3,44	12,96	0,63	0,54
Festuc	3,20	2,85	12,30	0,65	0,6
Avellaner	7,20	2,27	3,56	0,72	2,07
Noguera	4,95	3,17	10,80	0,56	0,53
Olivera	3,00	0,50	7,00	0,25	0,35

Font: Elaboració pròpia elaborada a partir d'anàlisis del laboratori llersap.

Taula 3.1.3.2

Extraccions en kg de nutrient per tona de producció en fresc (brots, fulles i fruits)

Cultiu	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Ca
Pomera	2,21	0,40	2,03	0,32	1,33
Perera	2,72	0,50	2,58	0,40	1,51
Presseguer	2,74	0,67	3,08	0,42	2,09
Nectarina	2,82	0,71	3,41	0,43	2,09
Cirerer	3,83	0,74	4,45	0,56	2,15
Albercoquer	3,71	0,46	4,79	0,45	2,14
Prunera	3,05	0,62	4,15	0,45	2,30
Codonyer	2,92	0,53	3,95	0,47	2,34
Vinya	3,88	0,78	3,41	0,74	3,65
Cítrics	4,40	0,78	3,84	0,61	5,53
Ametller	18,90	4,79	22,86	2,88	14,04
Festuc	12,00	4,20	20,00	2,50	13,10
Avellaner	20,70	3,62	10,31	2,30	11,07
Noguera	18,45	4,52	20,70	2,81	14,03
Olivera	11,44	1,63	10,75	1,56	6,73

Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'anàlisis del laboratori llersap.

És important considerar el maneig de les restes de poda i de la fruita caiguda. En fruits secs la producció es compta amb closca. Els rendiments (closca/gra) són molt variables en funció de les espècies, varietats (20-80 %) i disponibilitats hídriques.

3.1.4. Cultius hortícoles

Les taules d'extraccions tenen com a objectiu situar l'ordre de demanda del cultiu per poder orientar la fertilització davant d'una magnitud determinada. Això no vol dir que les necessitats fertilitzants hagin de tenir el mateix ordre de magnitud. Les anàlisis de sòls, les aportacions fetes amb esmenes fertilitzants, les aigües de reg, les estimacions de la mineralització de la matèria orgànica i el maneig de les restes dels cultius són els criteris a utilitzar.

Es poden utilitzar com a base de càlcul les taules de concentracions de nutrients.

Taula 3.1.4

Extraccions orientatives de diferents cultius hortícoles. Resultats expressats en kg de nutrient per cada tona de producte fresc

Cultiu	N (kg/t)	P ₂ O ₅ (kg/t)	K ₂ O (kg/t)	CaO (kg/t)	MgO (kg/t)
Carxofa	5,00	0,72	7,10	2,71	0,35
Cogombre	1,70	0,49	2,40	0,61	0,25
Col	3,50	0,86	3,20	0,78	0,42
Enciam	2,10	0,60	3,00	2,70	0,42
Espinac	2,90	0,83	3,00	2,70	0,40
Meló, síndria	2,00	0,57	2,70	0,65	0,29
Mongeta	3,00	0,86	5,60	0,78	0,42
Patata	2,00	0,57	3,20	0,65	0,29
Pèsol	3,00	0,86	3,40	0,78	0,42
Tomàquet	2,10	0,93	3,20	0,63	0,27
Pebrot	1,90	0,90	2,75	0,79	0,43
Ceba	1,83	0,89	2,01	0,95	0,23

Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'anàlisi del laboratori llersap.

3.2. Gestió del nitrogen

La gestió del nitrogen es pot realitzar a partir de les extraccions dels cultius, sense tenir en compte les exportacions. Les necessitats totals del cultiu s'han d'abastir sense la necessitat de realitzar un balanç de nutrients a mig termini. La principal diferència respecte altres nutrients és que el nitrogen disponible pel cultiu es comptabilitza en la seva totalitat. La diagnosi realitzada mitjançant l'anàlisi de nitrats al sòl contempla la disponibilitat immediata del nitrogen en el sòl en un moment donat.

A l'hora de determinar el nitrogen disponible a partir de la concentració de nitrats del sòl cal avaluar el volum de sòl on la densitat radicular és major i l'absorció de nutrients és més activa. En sòls de secà i en sòls de regadiu amb sistemes de reg per superfície i per aspersió o pivot, es contempla tota la parcel·la a una profunditat mitja de 30 cm, mentre que en els sistemes de reg localitzat la superfície és menor però queda, en part, compensada per la major exploració radicular en profunditat (50-60 cm).

El càlcul per convertir la concentració de nitrogen nítric del sòl (expressat en ppm) a nitrogen disponible pel cultiu (expressat en kgN/ha) es realitza multiplicant pel volum estimat i la densitat estimada del sòl i realitzant ajustos necessaris segons presència de graves, factors limitants, drenatge, etc. El resultant és un factor que es pot obtenir en base a l'experimentació i a l'experiència en el maneig del nitrogen.



Imatge 33. Assaig de nitrogen en bledes. A l'esquerra, sense fertilització nitrogenada.

El factor final aplicat en el cas de sistemes de reg de superfície és en terme mitjà de quatre i en sistemes de reg localitzat de dos (apartat 1.3.2.7 del manual).

L'estimació del nitrogen mineralitzat de la matèria orgànica durant la temporada de màximes necessitats (en general, durant la primavera) dependrà del sistema de reg utilitzat. Així, en sòls regats a tota la seva superfície, on la superfície radicular es distribueix per tot el camp, es pot estimar en 40UF (suposant un nivell de matèria orgànica del 2 % i una taxa de mineralització de l'1,5 %), mentre que en sistemes de reg localitzat s'estima en 25UF, al reduir el volum de l'àrea humida.

La taxa de mineralització de la matèria orgànica depèn de factors ambientals (temperatura i humitat), edàfics (estructura, porositat, mineralogia i contingut de nutrients) i sistema de reg (tipus, dosis, freqüència...).

En el càlcul de la mineralització de la matèria orgànica de la taula adjunta s'estima una densitat del sòl d'1,4 t/m³, una profunditat de 20 cm i un contingut de nitrogen orgànic del 5 % de la matèria orgànica.

Taula 3.2.1

Estimacions de la mineralització de la matèria orgànica del sòl segons diferents taxes de mineralització en sistemes de reg no localitzat

% MO	Taxa de mineralització (%)			
	0,5	1	1,5	2
0,5	5	5	10	15
1	5	15	20	30
1,5	10	20	30	40
2	15	30	40	55
2,5	20	35	55	70
3	20	40	65	85
3,5	25	50	75	100
4	30	55	85	110
4,5	30	65	95	125

75

En el cas d'haver aportat esmenes orgàniques, cal estimar la seva mineralització durant el període de creixement del cultiu.

Establir el moment òptim per a l'aplicació dels fertilitzants nitrogenats és conseqüència de les propietats d'aquest nutrient en relació al medi (sòl) i del ritme d'extraccions per la planta. Les necessitats de nitrogen per part dels cultius es produeixen principalment durant el període de desenvolupament del sistema vegetatiu. Passat aquest període, les necessitats són molt menors, podent ser aportades per la mateixa mineralització de la matèria orgànica del sòl i pels romanents existents. El nitrogen absorbit durant el període de desenvolupament vegetatiu s'acumula a les fulles, i s'anirà movent cap als òrgans de fructificació a mesura que creixen i cap als òrgans de reserva (principalment arrels i gemes) fins a la senescència de les fulles. En cultius de fulla perenne, aquest procés s'inicia amb la disminució del fotoperíode durant la tardor. Abans d'iniciar aquest període es poden analitzar les fulles per determinar si cal o no fer una fertilització postcollita.

Exemples de fertilització nitrogenada:

- Plantació de pomeres amb sistema de reg per degoteig i un rendiment objectiu de 55 t/ha. Nivell de nitrogen nítric al sòl de 18 ppm. Extraccions $55 \times 2,21 = 121,5$ kgN/ha. Nitrogen disponible $18 \times 2 = 36$ kgN/ha. Nitrogen procedent de la mineralització 25 kgN/ha. Balanç: $121 - 36 - 25 = 60$ kgN/ha. Les aplicacions de nitrogen es començaran a aplicar després del quallat fins a mitjan juny. L'avaluació es realitzarà a

partir de l'observació del creixement vegetatiu i de l'anàlisi de fulles fet a finals de maig. Segons els resultats de l'anàlisi de fulles i l'avaluació de camp, es decideix si cal finalitzar l'aplicació o reservar part en postcollita.

Taula 3.2.2
Exemple de càlcul de les unitats fertilitzants màximes de nitrogen segons cultius i objectiu productiu en sistemes de reg localitzat i per a diferents valors de nitrogen nítric al sòl tenint en compte la mineralització de la matèria orgànica

Cultiu	Producció (t/ha)	Extraccions (kg/ha)	Nivell de nitrogen nítric al sòl (ppm)						
			5	10	15	20	25	30	35
			Unitats fertilitzants teòriques a aportar						
Pomera	45	100	65	55	45	35	25	15	5
Perera	40	109	75	65	55	45	35	25	15
Presseguer	45	123	90	80	70	60	50	40	40
Nectarina	60	169	135	125	115	105	95	85	75
Cirerer	20	77	40	30	20	10	0	0	0
Albercoquer	20	74	40	30	20	10	0	0	0
Prunera	22	67	30	20	10	0	0	0	0
Codonyer	30	88	55	45	45	25	15	5	0
Vinya	18	70	35	25	15	5	0	0	0
Cítrics	50	220	185	175	165	155	145	135	125
Ametller	5	95	60	50	40	30	20	10	0
Avellaner	6	124	90	80	70	60	50	40	30
Noguer	7	129	95	85	75	65	55	45	35
Olivera	8	92	60	50	40	30	20	10	0

Les aportacions de nitrogen mineral a partir de productes d'origen orgànic al sòl es poden estimar a partir de la taula 3.2.3.

Taula 3.2.3
Aproximació al percentatge (%) de nitrogen mineralitzat en anys successius a l'aplicació durant l'any 1

Tipus	Any 1	Any 2	Any 3
Líquids (purins)	30	12	6
Sòlids (fems, gallinassa...)	25	12	6
Compost	20	6	3

Font: Villar i Villar, 2010.

3.3. Fòsfor i potassi

El fòsfor i el potassi constitueixen els elements més emprats en l'adobat de fons. Amb la introducció dels sistemes de fertirrigació en cultius fruiters i hortícoles, l'aportació de fòsfor i potassi comença a formar part de la fertilització de cobertura. Aquesta nova perspectiva d'aplicació de nutrients altera la dinàmica dels nutrients en el sòl, modificant els mecanismes de difusió i intercepció. L'augment en l'eficiència d'absorció de fòsfor i potassi comporta millores, però també antagonismes amb altres nutrients. L'augment en l'eficiència dels fertilitzants comporta una major tecnificació de l'usuari per evitar el risc de la sobreaportació de nutrients, que poden arribar a ser perjudicials pel cultiu.

Utilitzar adobs més solubles, aplicats de forma fraccionada, permet augmentar l'eficiència d'aquests fertilitzants. En ocasions, un nutrient pot ser decisiu a l'hora d'obtenir rendiments alts, i per aquest motiu és necessari ajustar el moment d'aplicació i el tipus de fertilitzant per obtenir millor resposta.

El concepte de fòsfor i potassi "extraïble" fa referència als nutrients extrets d'una mostra de sòl mitjançant una solució d'extracció, habitualment amb bicarbonat sòdic i acetat amònic, respectivament. Es tracta d'una metodologia d'extracció àmpliament utilitzada i amb resultats que presenten un fort grau de correlació amb els nivells de resposta a la fertilització per part de les plantes cultivades.



Imatge 34. Carència de potassi en vinya durant el verolat. La carència es manifesta en fulles velles que alimenten el fruit.

L'experimentació realitzada amb aquest mètode d'extracció permet donar les interpretacions qualitatives i estimar el nivell de resposta a l'aplicació de fertilitzants.

La necessitat de fòsfor en determinats moments del desenvolupament és força reconeguda, per exemple, la necessitat de fòsfor en el moment de la floració o la localització en petites quantitats pròximes a les arrels en les primeres fases de desenvolupament.

Criteris generals d'ús i aplicació del fòsfor:

- El fòsfor és un element que s'aplica preferentment al sòl. En cas de carència contrastada o desequilibri respecte al nitrogen segons l'anàlisi foliar, es poden realitzar les correccions foliars necessàries.
- En cas de detectar carències de fòsfor a partir d'una anàlisi foliar, cal contrastar-ho amb el nivell al sòl i buscar la possible causa del problema (asfíxia radicular, fisiopaties, antagonismes, etc.).
- L'excés de fòsfor al sòl pot ocasionar antagonismes amb altres nutrients, com per exemple el zinc o el bor. No afavoreix la micorrizació de les arrels.
- L'excés de fòsfor al sòl no millora el seu consum per la planta i no és compatible amb pràctiques d'agricultura sostenible, com tampoc no és mediambientalment correcte. L'excés de fòsfor afavoreix l'eutrofització d'aigües i suposa un mal ús dels recursos no renovables.

El programa de fertilització s'ajusta a la disponibilitat d'aquest nutrient segons els criteris d'interpretació de l'anàlisi de sòls. Cal comptabilitzar les unitats fertilitzants aportades amb les esmenes orgàniques i amb les aigües de reg per evitar l'acumulació d'aquests nutrients en el sòl.

Taula 3.3.1

Dosificació del fòsfor i potassi segons el nivell de nutrients al sòl (P mètode Olsen i potassi extret amb acetat amònic)

Nivells de P (ppm)	Nivells de K (ppm)	Interpretació	Criteris d'aplicació	Recomanació de fertilitzants
< 12	< 125	Baix	Criteri d'acumulació	Extraccions
12-24	125-175	Mitjà	Criteri d'acumulació	1,25 × exportacions
24-36	175-250	Òptim	Criteri de Manteniment	Exportacions
36-80	250-350	Alt	Criteri de suficiència	0,5 × exportacions
> 80	> 350	P supera el límit ambiental K molt alt	Suspensió temporal de l'aplicació de fertilitzants fosfatats i potàssics	Suspensió temporal de l'aplicació de fertilitzants fosfatats i potàssics

Font: Elaboració pròpia.

Per a nivells baixos o molt baixos, la fertilització té un doble objectiu: el primer, subministrar al cultiu la quantitat necessària d'aquest nutrient, i el segon, equilibrar els nivells del sòl. Els sistemes de fertirrigació faciliten molt l'aplicació en els moments en què el cultiu té una major necessitat.

Per a nivells mitjans o òptims s'aconsella aportar les exportacions de fruit pel manteniment de la fertilitat del sòl.

En el cas de disposar de nivells alts de fertilitat s'aconsella disminuir les aportacions del cultiu o suspendre temporalment les aplicacions de fertilitzants, segons el cas.

Per calcular les unitats fertilitzants d'aquests nutrients és necessari aplicar un factor de correcció de 2,29 per passar de fòsfor P a P_2O_5 i el factor de correcció d'1,2 per passar de potassi K a K_2O . Els fertilitzants s'expressen també en P_2O_5 i K_2O .

Taula 3.3.2
Exemple de dosificació de P_2O_5 i K_2O (kg/ha) per a cultius en produccions tipus i per nivells de fertilitat dels nutrients al sòl

Cultiu	Producció (t/ha)	Nivell d'interpretació							
		Baix		Mitjà		Òptim		Alt	
		P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)
Pomera	45	20	90	15	65	10	40	5	25
Perera	40	20	105	15	75	10	50	10	35
Presseguer	35	25	110	20	80	15	55	10	35
Nectarina	50	35	170	30	135	25	95	15	65
Cirerer	20	15	90	15	70	10	55	5	35
Albercoquer	18	10	85	5	65	5	45	5	30
Prunera	20	10	85	10	60	10	35	5	20
Codonyer	30	15	120	10	80	10	45	5	30
Vinya	18	15	60	10	45	10	30	5	20
Cítrics	45	35	175	30	140	25	110	15	75
Ametller	10	50	230	40	180	35	130	25	85
Avellaner	4	15	40	10	30	10	15	5	10
Noguer	5	25	105	20	80	15	55	10	35
Olivera	10	15	110	10	90	5	70	5	45

Perquè la plantació pugui respondre d'una forma correcta davant d'un nivell adequat de nutrient al sòl cal que el sistema radicular no tingui limitacions importants, com la compactació de sòls o la falta de reg.

Punts importants a considerar en la fertilització fosfatada i potàssica:

- Ambdós són nutrients essencials en la producció de fruits de qualitat. Les carències i els excessos són molt perjudicials per a la producció i la qualitat del fruit, respectivament.
- La dosi òptima de fertilització s'ha de calcular a partir de les extraccions i exportacions del fruit i del nivell al sòl.
- El moment òptim d'aplicació dels fertilitzants no ha de coincidir en la seva totalitat amb el moment de consum del cultiu, per evitar induir consums de luxe.
- El potassi consumit en excés indueix carències de calci i magnesi. El potassi és un element antagonista del calci i del magnesi en el procés de translocació dintre de la planta.

3.4. Fertilització amb calci

En sòls amb dèficit de calci es poden fer aportacions d'esmenes calcàries, com el carbonat càlcic. En sòls salins afectats per sodicitat es pot aportar guix per intentar neutralitzar l'acció dispersant del sodi. No obstant això, també es poden realitzar aportacions de calci en alguns cultius quan la deficiència es pot demostrar analíticament.

Taula 3.4.1

Interpretació i recomanació d'aplicació de calci a partir dels nivells al sòl (extret amb acetat amònic pH7)

Nivells de Ca (NH ₄ OAc) al sòl, en ppm (mg/kg)	Interpretació	Dosi de carbonat càlcic (kg/ha)
< 700	Molt baix	3.000
700-2.000	Baix	1.500
2.000-4.000	Adequat	0
> 4.000	Alt	0

Font: Elaboració pròpia.

Taula 3.4.2

Recomanacions d'aplicació de guix en funció del nivell de sodi al sòl

Nivells de Na (NH ₄ OAc) al sòl, en ppm (mg/kg)	Interpretació	Dosi de guix (kg/ha)
< 100	No salí	0
100-300	Lleugerament salí	750
300-1.000	Salins	1.500
> 1000	Salins-sòdics	3.500

Font: Elaboració pròpia.

En relació amb aquest catió s'observa que la falta de calci en el fruit és un problema freqüent. Inclús en les anàlisis de fulles, el rati potassi/calci mostra sovint deficiències de calci. La falta de calci és conseqüència de varis factors relacionats amb la nutrició, el drenatge, el sistema radicular del cultiu i la disponibilitat hídrica.

Tot i l'alta presència de Ca en sòls calcaris i en l'aigua de reg, sovint cal recórrer a l'aplicació de calci mitjançant productes fertilitzants per millorar l'equilibri nutricional en planta. La millor forma d'avaluar la necessitat d'aquest nutrient és mitjançant les anàlisis de fulla i fruita.

Sembla una contradicció que en sòls amb nivells elevats de calci, com són els sòls del Delta del Llobregat, on a més s'utilitzen aigües de reg amb nivells alts de calci, es puguin trobar carències de calci. L'explicació d'aquest fenomen és la baixa solubilitat de les sals de calci i l'antagonisme produït amb el potassi i el sodi.

Quan el sòl presenta nivells alts de potassi, o bé s'han realitzat aportacions excessives de potassi durant el període de creixement vegetatiu, el cultiu pot disposar de nivells molt alts de potassi a la solució del sòl. L'absorció d'aigua pel cultiu produirà un consum de luxe del potassi disponible. La quantitat de potassi absorbit pel cultiu serà superior a les extraccions considerades adequades i, per contra, l'absorció de calci serà penalitzada. Part de l'excés de potassi absorbit és translocat a l'interior de les cèl·lules del fruit, augmentant la capacitat d'hidratació de les mateixes.

La fertilització amb calci resulta força complexa. La millora de les condicions físiques del sòl, com l'estructura, afavoreixen l'absorció d'aquest nutrient. També l'aplicació de calci en diferents formulats on la principal base no és el calci sinó els compostos químics que l'acompanyen. Els formulats a base de matèries orgàniques, agents quelatants i acidificants pretenen facilitar al cultiu unes unitats de calci fàcilment disponibles.

3.5. El magnesi

La fertilització magnèsica depèn en part del seu contingut en el sòl, de la relació respecte al nivell de potassi i de factors relacionats amb el cultiu.

No obstant els alts nivells de magnesi en els sòls, es poden observar carències de magnesi contrastades visualment i analíticament. L'explicació d'aquest fet és principalment l'antagonisme produït amb el potassi. El desequilibri amb el potassi prové principalment de les aigües de reg, i de les aplicacions amb fertilitzants potàssics aplicats per fertirrigació.

La relació K/Mg extraïble i de canvi en un sòl és convenient que no superi el llindar de 2, per evitar antagonismes o carències induïdes de magnesi. Aquests antagonismes es poden accentuar en el cas d'aplicacions elevades de fertilitzants potàssics durant el desenvolupament vegetatiu del cultiu o bé per l'ús d'aigües de reg on aquests desequilibris es mantinguin.

Taula 3.5.1
 Interpretació dels nivells de magnesi extret amb acetat amònic

Nivells de Mg al sòl, en ppm	Interpretació	Criteris d'aplicació
< 100	Baix	Recuperació del nivell
100-175	Mitjà	Recuperació/manteniment
175-250	Òptim	Manteniment
250-600	Alt	Manteniment/disminució
> 600	Molt alt	Disminució del nivell

Font: Elaboració pròpia adaptada de Villar i Arán, 2008.

Taula 3.5.2
 Exemple de dosificació del magnesi segons el nivell de nutrients al sòl per diferents tipus de cultiu

Cultiu	Producció (t/ha)	Nivell d'interpretació dels nutrients			
		Baix	Mitjà	Òptim	Alt o molt alt
		MgO (kg/ha)	MgO (kg/ha)	MgO (kg/ha)	MgO (kg/ha)
Pomera	45	25	15	5	0
Perera	40	25	15	5	0
Presseguer	35	25	15	5	0
Nectarina	50	35	20	10	0
Cirerer	20	20	10	5	0
Albercoquer	18	15	10	5	0
Prunera	20	15	10	5	0
Codonyer	30	25	15	5	0
Vinya	18	20	15	5	0
Cítrics	45	45	30	10	0
Ametller	10	50	30	10	0
Avellaner	4	15	10	5	0
Noguer	5	25	15	5	0
Olivera	10	25	15	5	0

La fertilització amb magnesi es realitza aplicant fertilitzants magnèsics tipus nitrat magnèsic o sulfat magnèsic. Alguns fertilitzants comercialitzats es poden utilitzar en agricultura ecològica. També molts formulats solubles porten una part de magnesi que pot ajudar a evitar aquests desequilibris.

3.6. Fertilització amb micronutrients

Quan la diagnosi sobre la carència o la baixa disponibilitat de micronutrients en els cultius és clara, és aconsellable aportar aquells elements deficitaris. La diagnosi es realitza de forma fàcil a partir de l'anàlisi foliar (vegeu taula 2.3.1.4).

La baixa disponibilitat de micronutrients pot estar associada a diferents causes:

- Sòls empobrits per efecte del rentat. Per exemple, en sòls arenosos.
- Sòls amb baixa càrrega mineral disponible, per efecte de baixa activitat microbiològica, poca matèria orgànica...
- Baixa activitat radicular per efecte del sistema de reg localitzat en forma de bulbs petits.
- Presència de salinitat, que controla el desenvolupament radicular i actua en contra de l'activitat microbiològica.
- Per compactació de sòls, que limita el desenvolupament d'arrels.
- Portaempelts debilitants, que generen poca activitat radicular.
- Falta d'aigua, regs deficitaris per falta de disponibilitat d'aigua o per dimensionaments erronis en finques amb reg a pressió.
- Mala assimilació per l'efecte dels carbonats del sòl.

Els micronutrients habitualment més deficitaris són el ferro, el zinc, el manganès, el bor i el molibdè. La seva reposició es pot realitzar mitjançant aplicacions foliars o pel reg en forma de sulfats o quelatats amb àcids orgànics. L'efectivitat de l'aplicació depèn del tipus de problema existent en els sòls o en el cultiu. En sòls àcids s'accentua la carència de molibdè (Mo) i sovint desapareix amb l'aplicació d'esmenes calcàries.

83

3.7. La fertilització de l'alfals

El maneig de la fertilització de l'alfals presenta unes consideracions diferents de la majoria de cultius en el marc de la producció integrada a Catalunya.

En primer lloc, es remarca l'elevat ritme d'extraccions del cultiu. En segon terme, la facilitat del cultiu per aprofitar els recursos del sòl i en tercer lloc, la falta de resposta a partir de determinades dosis de nutrients aplicades.

La disponibilitat de nitrogen al sòl facilita el desenvolupament vegetatiu, però limita la formació de nòduls de fixació del nitrogen atmosfèric. Les aportacions de nitrogen en cobertura del cultiu produeixen un augment de producció després de l'aplicació, però aquest augment es compensa amb el retard que pateix el cultiu durant la posterior formació de nòduls.

L'alfals respon a les aplicacions de fertilitzants fosfatats quan els nivells del sòl són baixos i en ocasions mitjans. Abans de la sembra d'un alfals la fertilització ha de ser més important, amb la finalitat de distribuir el nutrient en l'horitzó arable per incorporació mecànica. D'aquesta manera, s'afavoreix l'arrelament a les primeres fases de desenvolupament del cultiu alhora que es millora la disponibilitat per als següents anys de manteniment del cultiu.

En cas de detectar mancances de fòsfor a partir d'una anàlisi foliar, cal contrastar amb el nivell del sòl i buscar el problema en el sistema radicular (asfíxia radicular, fisiopaties, etc.).

3.7.1. L'anàlisi de nitrats i la fertilització nitrogenada

El nitrogen no és un element essencial en els programes d'abonat de l'alfals. La capacitat de les lleguminoses com l'alfals d'extreure del nitrogen atmosfèric les necessitats bàsiques del nutrient deixa com a secundària la necessitat d'aquest element. Ja s'ha comentat anteriorment l'efecte de la fertilització nitrogenada sobre el cultiu. Si bé és cert que abans de la sembra pot causar un efecte beneficiós sobre el cultiu, només es justifica la seva aplicació quan les reserves del sòl són molt baixes. En el cas de coberteres amb nitrogen, els beneficis no duren, arribant a igualar la producció al final. Un dels possibles desavantatges de l'aportació de nitrogen resideix en l'establiment i l'augment de males herbes. L'aportació de nitrogen mineral al sòl fomenta el creixement d'altres espècies vegetals afavorint la diversitat d'espècies, factor moltes vegades no desitjat.

L'aportació de matèries orgàniques i residus ramaders com a substitutiu de la fertilització, abans de la sembra, permet aportar nutrients necessaris per al cultiu, com fòsfor i potassi, a més d'altres elements. També són una font important de nitrogen que el cultiu pot aprofitar.

84

Taula 3.7.1

Recomanació d'abonat nitrogenat abans de la sembra

Nivell de nitrogen nítric (ppm) al sòl	Recomanació d'abonat (kg N/ha)
0-3	60
3-6	30
> 6	0

Font: Elaboració pròpia.

3.7.2. L'anàlisi del fòsfor i la fertilització fosfatada

Quan els nivells de fòsfor en el sòl són baixos o molt baixos, la fertilització fosfatada té un doble objectiu: el primer és subministrar al cultiu part del fòsfor necessari, i el segon reequilibrar els nivells del sòl. En aquests casos s'aconsellen les aplicacions de forma localitzada per augmentar l'eficiència del fertilitzant.

L'alfals respon a les aplicacions de fertilitzants fosfòrics quan els nivells del sòl són baixos i, en ocasions, mitjans. L'aplicació dels fertilitzants es realitza generalment per distribució en superfície. Abans de la sembra de l'alfals la fertilització ha de ser més important, amb la finalitat de distribuir el nutrient en l'horitzó arable per incorporació mecànica. D'aquesta manera, s'afavoreix l'arrelament a les primeres fases de desenvolupament del cultiu alhora que es millora el nivell de fòsfor disponible a terra per als

següents anys de manteniment del farratge. En cultius d'alfalsos establerts, les aportacions en cobertura del cultiu són significativament inferiors i tenen per objecte restituir part del fòsfor extret anualment pel cultiu. Les cobertores del cultiu es poden realitzar durant la parada hivernal.

Taula 3.7.2

Recomanacions d'abonat fòsfòric a partir del nivell de fòsfor extraïble del sòl pel mètode Olsen

Nivell de fòsfor (ppm)	Interpretació	Abans de sembrar	Anual
0-6	Molt baix	200	100
7-14	Baix	150	75
15-22	Òptim	100	50
23-29	Alt	50	0
> 29	Molt alt	0	

Font: Elaboració pròpia.

Les unitats de fòsfor recomanades s'expressen en forma de P_2O_5 en quilograms per hectàrea.

3.7.3. L'anàlisi del potassi i la fertilització potàssica

L'objectiu seria situar el nivell del sòl entre 120 i 175 ppm. Donada la possible variabilitat en la parcel·la, és preferible situar-se dins dels nivells proposats.

Perquè el cultiu pugui respondre d'una forma correcta davant d'un nivell adequat de potassi al sòl és necessari que el sistema radicular no tingui limitacions importants, com la compactació de sòls o la sequera.

Les aplicacions es poden realitzar abans de l'inici del creixement (tardor, hivern). D'aquesta forma, el potassi aplicat no interfereix amb els mecanismes d'absorció, evitant el consum de luxe. Les aportacions en cobertura són molt eficients i cal valorar l'efecte d'aquestes aportacions mitjançant les anàlisis de farratge.

Les extraccions de potassi en farratges com l'alfals són molt elevades. La fertilització potàssica s'ha de fer durant l'aturada hivernal del cultiu o abans de la sembra per evitar el consum de luxe d'aquest nutrient. Les orientacions d'abonat són aproximatives i poden variar segons la textura del sòl. Per textures gruixudes, arenoses i arenosa franca, les aportacions de potassi es limiten a nivells inferiors a 120 ppm.

Taula 3.7.3

Recomanacions d'abonat potàssic a partir del nivell de potassi extraïble del sòl amb acetat amònic

Nivell de potassi (ppm)	Interpretació	Recomanació (kg K ₂ O/ha)
0-60	Molt baix	200
61-120	Baix	150
121-175	Òptim	100
> 175	Alt	0

Font: Elaboració pròpia.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- ADDISCOTT, T. M., WHITMORE, A. P., POWLSON, D. S. 1991. *Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem*. C.A.B. International. 170 pp.
- ALLEN, E. R., JOHNSON, G. V., UNRUH, L. G. 1994. "Current Approaches to Soil Testing Methods: Problems and Solutions". Dins HAVLIN, J. L., JACOBSEN, J. S. (ed.). *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations*. SSSA Special Publication, 40. Madison.
- CÉDRA C. (coord.). 1997. *Les Matériels de fertilisation et de traitement des cultures*. Formagri, volum 4/5. Cemagref. Paris. 343 pp.
- COOKE, G. W. 1986. "The interactions between the supplies of water and of nutrients available to crops: implications for practical progress and for scientific work". *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 316, 331-346.
- HAGIN, J., TUCKER, B. 1982. *Fertilization of Dryland and Irrigated Soils*. Springer-Verlag. 188 pp.
- HAVLIN, J. L., BEATON, J. D., TISDALE, S. L., NELSON, W. L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 7a edició. Prentice Hall.
- HIGGS, B., JOHNSTON, A. E., SALTER, J. L., DAWSON C. J. 2000. "Some aspects of achieving sustainable phosphorus use in agriculture". *J. Environ. Qual.* 29, 80-87.
- LLOVERAS, J., FERRAN, J., BOIXADERA, J., BONET, J. 2001. "Potassium Fertilization Effects on Alfalfa in a Mediterranean Climate". *Agron. J.* 93, 139-143.
- LLOVERAS, J., CHOCARRO, C., TORRES, L., VILADRICH, D., COSTAFREDA, R., SANTIVERI, F. 2012. "Alfalfa Yield Components and Soil Potassium Depletion as Affected by Potassium Fertilization". *Agron J.* 104 (3), 729-734.
- VILLAR, J. M., VILLAR, P. 2010. *Fertilidad de suelos y nutrición de plantas*. Versión 3.27. Quaderns DMACS 30. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. 186 pp.
- VILLAR, P., ARAN, M. 2006. *Los suelos y el manejo de la fertilización en el cultivo de la alfalfa en España*. AIFE (Asociación Interprofesional del Forraje Español). 73 pp.
- VILLAR, P., ARÁN, M. 2008. *Guia d'interpretació d'anàlisis de sòls i plantes*. Consell regulador de la Producció Integrada. Generalitat de Catalunya.
- VILLAR, P., VILLAR, J. M. 2012. *Diagnòstic de la fertilitat dels sòls i l'estat nutritiu de les plantes*, V.1.1. Document intern DMACS. MM 36 pp. Copisteria Universitària Armengol. DL L 1.281-2012.

EXEMPLES PRÀCTICS D'ÚS DELS CRITERIS DE MANEIG DE LA FERTILITZACIÓ

Exemple número 1. Determinació de les unitats fertilitzants a aplicar a partir de les taules del manual

Es demana determinar les necessitats de N-P-K, d'una plantació de presseguers (*Prunus persica* L. (Batsch)) de 5 anys, varietat baby gold 6, amb sistema de reg localitzat, sense cap factor limitant.

87

El rendiment objectiu és de 38 t/ha. Es disposa d'una anàlisi de sòls amb un nivell de nitrogen de 18 ppm, un nivell de fòsfor Olsen de 22 ppm i un nivell de potassi extret amb acetat amònic de 215 ppm.

Solució

En primer lloc, es fa una estimació de les exportacions i de les extraccions de la plantació. Es recorda que les unitats fertilitzants estan referides a $N-P_2O_5-K_2O$, respectivament.

De la taula 3.1.3.2 s'extreuen les extraccions. Les unitats fertilitzants ($N-P_2O_5-K_2O$) per cada 1.000 kg de producció són respectivament de 2,74-0,67-3,08.

D'aquesta manera tenim unes **extraccions** de:

$$N: 2,74 \text{ kgN/t} \times 38 \text{ t/ha} = 104 \text{ kg N/ha}$$

$$P_2O_5: 0,67 \text{ kg } P_2O_5/t \times 38 \text{ t/ha} = 25 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$$

$$K_2O: 3,08 \text{ kg } K_2O/t \times 38 \text{ t/ha} = 117 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$$

De la taula 3.1.3.1 s'extreuen les exportacions. Les unitats fertilitzants per cada 1.000 kg de producció són, respectivament, de 0,74-0,47-1,6.

D'aquesta manera tenim unes **exportacions** de:

$$\text{N: } 0,74 \text{ kg N/t} \times 38 \text{ t/ha} = 28 \text{ kg N/ha}$$

$$\text{P}_2\text{O}_5: 0,47 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} \times 38 \text{ t/ha} = 18 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

$$\text{K}_2\text{O: } 1,6 \text{ kg K}_2\text{O/t} \times 38 \text{ t/ha} = 60 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$$

Les exportacions fan referència a les quantitats de nutrients que surten de la parcel·la amb la fruita, mentre que les extraccions fan referència a les quantitats de nutrients que absorbeix la planta, i que inclouen les exportacions.

A l'hora de determinar les necessitats de fertilitzants cal ajustar les extraccions en funció dels criteris d'interpretació de l'anàlisi de sòls.

A l'apartat 3.2 de gestió del nitrogen s'explica com determinar el nitrogen disponible pel cultiu. A nivell de càlcul, per una plantació amb reg per degoteig es multiplica per dos el nivell de nitrogen nítric en ppm i s'afegeixen 25 unitats en concepte de mineralització de la matèria orgànica del sòl.

$$\text{N disponible: } 18 \text{ ppm} \times 2 + 25 = 43 \text{ kg N/ha}$$

Per determinar el nitrogen necessari es fa un balanç entre les extraccions del cultiu i el nitrogen disponible.

$$\text{N: N absorbit pel cultiu} - \text{N disponible} = 104 \text{ kgN/ha} - 43 \text{ kgN/ha} = 62 \text{ kgN/ha}$$

88

Pel que fa a les necessitats de fòsfor i potassi per part de la plantació s'utilitza la taula 3.3.1 d'interpretació dels nivells de P-K al sòl.

Un P (Olsen) de 22 ppm s'interpreta com un nivell mitjà. El criteri de recomanació se situa entre intentar mantenir aquest contingut de P al sòl i intentar anar a uns valors lleugerament superiors i, en conseqüència, la dosi a aplicar estaria entre les exportacions i les extraccions del cultiu. Segons la taula 3.3.1 s'aplica un 25 % per damunt de les exportacions. És a dir, no s'apliquen totes les extraccions, però sí que s'aplica més que les exportacions. D'aquesta manera, la tendència serà acumular fòsfor paulatinament fins arribar al nivell òptim.

Exportacions calculades:

$$\text{P}_2\text{O}_5: 0,47 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} \times 38 \text{ t/ha} = 18 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

Unitats fertilitzants de P_2O_5 a aplicar:

$$\text{P}_2\text{O}_5: 18 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} \times 1,25 = 22,5 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

El K extret amb acetat amònic és de 215 ppm, que s'interpreta com un nivell òptim. El criteri és el de manteniment, i la dosi a aplicar són les exportacions de la fruita.

$$\text{K}_2\text{O: } 1,6 \text{ kg K}_2\text{O/t} \times 38 \text{ t/ha} = 60 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$$

Les anàlisis de fulles serveixen per controlar l'estat del cultiu durant el desenvolupament, i l'anàlisi de fruita servirà per avaluar una absorció i translocació adequada

dels nutrients. L'anàlisi de nitrats es realitza anualment abans de començar la fertilització per tornar a fer els càlculs i les anàlisis de P i K al sòl per comprovar que la seva evolució se situa en l'interval òptim de l'escala s'haurien de fer cada 3-4 anys.

Exemple número 2. Determinació de les unitats fertilitzants a aplicar a partir de les taules del manual en cultius hortícoles

Es demana determinar les necessitats de N-P-K d'una plantada de tomateres a la primavera, en un hivernacle amb sistema de reg localitzat, sense cap factor limitant.

Cal tenir en compte que les restes del cultiu s'extreuen de l'hivernacle, de forma que no queden restes de collita i no és necessari distingir entre extraccions i exportacions.



Imatge 35. Vista del camp de tomateres.

El rendiment objectiu és de 120 t/ha. Es disposa d'una anàlisi de sòls amb un nivell de nitrogen de 25 ppm, un nivell de fòsfor Olsen de 32 ppm i un nivell de potassi extret amb acetat amònic de 260 ppm.

Solució

En primer lloc, es determinen les exportacions i extraccions de la plantació. Es recorda que les unitats fertilitzants estan referides a N-P₂O₅-K₂O respectivament.

De la taula 3.1.4. s'extreuen les extraccions. Les unitats fertilitzants per cada 1.000 kg de producció són, respectivament, de 2,1-0,93-3,2.

D'aquesta manera tenim unes **extraccions** de:

$$\text{N: } 2,1 \text{ kgN/t} \times 120 \text{ t/ha} = 252 \text{ kg N/ha}$$

$$\text{P}_2\text{O}_5: 0,93 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} \times 120 \text{ t/ha} = 111 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

$$\text{K}_2\text{O: } 3,2 \text{ kg K}_2\text{O/t} \times 120 \text{ t/ha} = 384 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$$

En cas de voler determinar les exportacions del fruit, es poden utilitzar les taules d'interpretació d'anàlisi de fruita (taula 2.3.3).

A l'hora de determinar les necessitats, cal ajustar les extraccions en funció dels criteris d'interpretació de l'anàlisi de sòls.

90

En l'apartat 3.2 de gestió del nitrogen s'explica com determinar el nitrogen disponible pel cultiu. A nivell de càlcul per una plantació amb reg per degoteig es multiplica per dos el nivell de nitrogen nítric en ppm i s'afegeixen 25 unitats extrets en concepte de mineralització.

$$\text{N disponible: } 25 \text{ ppm} \times 2 + 25 = 75 \text{ kg N/ha}$$

Per determinar el nitrogen necessari es fa un balanç entre les extraccions del cultiu i el nitrogen disponible.

$$\text{N: N extret pel cultiu} - \text{N disponible} = 252 \text{ kgN/ha} - 75 \text{ kgN/ha} = 177 \text{ kgN/ha}$$

Pel que fa a les necessitats de fòsfor i potassi per part de la plantació, s'utilitza la taula 3.3.1 d'interpretació dels nivells de P-K al sòl.

P (Olsen) 32 ppm és un nivell òptim. El criteri és el de manteniment i les dosis a aplicar són les exportacions, que en aquest cas coincideixen amb les extraccions.

$$\text{P}_2\text{O}_5: 0,93 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} \times 120 \text{ t/ha} = 111 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

K extret amb acetat amònic és de 260 ppm, nivell alt. El criteri és entre manteniment i disminució de la dosi a aplicar, que és la meitat de les exportacions.

$$\text{K}_2\text{O: } 384 \text{ kg K}_2\text{O/ha} \times 0,5 = 192 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$$

Les anàlisis de fulla serveixen per controlar l'estat del cultiu durant el desenvolupament, i l'anàlisi del fruit servirà per avaluar la correcta absorció dels nutrients. L'anàlisi

de nitrats anual es realitza abans de començar la fertilització per tornar a fer els càlculs i les anàlisis de sòl per comprovar que l'evolució dels nivells de P i K ens situaran el sòl en l'estrat òptim de l'escala.

Exemple número 3. Maneig de pomeres en àrees de planes al·luvials

Situació i descripció

Una plantació de pomeres Golden delicious de sis anys formada en palmeta s'ubica en una posició de plana al·luvial en la comarca del Pla d'Urgell. El pendent general és inferior al 2 %. Els sòls, d'origen al·luvial, són molt profunds, de textura franco-llimosa, amb molt pocs elements grossos. Són sòls ben drenats, sense presència de capa freàtica superficial. La plantació manté una coberta vegetal amb vegetació espontània. El sistema de reg és per degoteig, amb una dotació d'aigua mitjana anual de 5.000 m³/ha. La producció objectiu és de 60 t/ha.



Imatge 36. Detall de plantació de pomeres en un sòl al·luvial.

91

Dades analítiques de l'horitzó superficial

El pH del sòl és bàsic (8,4). La conductivitat elèctrica de la prova prèvia de salinitat dona 0,33 dS/m. El contingut de carbonat càlcic equivalent és del 20 %. El nivell de matèria orgànica de l'horitzó superficial és del 2,3 %.

L'anàlisi de sòls realitzada a finals de febrer mostra uns nivells de nutrients de: nitrats expressats com nitrogen 18 ppm, fòsfor 52 ppm, potassi 286 ppm i magnesi 412 ppm.

Anàlisi de fulles realitzat el més de juny de la campanya anterior

Nitrogen (N) (s.m.s.)	2,93 %
Fòsfor (P) (s.m.s.)	0,16 %
Potassi (K) (s.m.s.)	2 %
Calci (Ca) (s.m.s.)	1,15 %
Magnesi (Mg) (s.m.s.)	0,34 %
Sodi (Na) (s.m.s.)	120 ppm
Zinc (Zn) (s.m.s.)	36 ppm
Coure (Cu) (s.m.s.)	14 ppm
Ferro (Fe) (s.m.s.)	117 ppm
Manganès (Mn) (s.m.s.)	45 ppm
Bor (B) (s.m.s.)	46 ppm

(s.m.s. indica sobre matèria seca)

Maneig de la fertilització

92

Els fertilitzants s'apliquen per fertirrigació, amb aportacions setmanals des de floració fins a 45 dies abans de la collita. Les dosis de nutrients totals aplicades anualment són: nitrogen 80 kg/ha, fòsfor 45 kg/ha, potassi 140 kg/ha i magnesi 18 kg/ha.

A principi de campanya s'apliquen 12 kg/ha de quelats de ferro; durant la floració, una aplicació foliar amb fòsfor i bor, i durant la primavera, es realitzen dos tractaments amb un corrector foliar amb micronutrients.

Objectiu de la consulta

Cada any es descompta de la liquidació de la fruita i en concepte de minves de conservació un percentatge de la collita que varia entre el 10 i el 15 %. Es demana discutir la gestió de la fertilització en relació amb una possible millora de l'explotació.

Proposta de solució

- En primer terme, s'han d'observar les dades de la parcel·la. El sòl, d'origen al·luvial, tot i no tenir un drenatge ràpid, està ben drenat, la textura és adequada i segurament l'estructura és forta i es manté el drenatge actiu.

És tracta d'un sòl no salí, calcari, encara que segurament molt poc clorosant (risc de clorosi fèrrica baix). La seva fertilitat natural és alta, és a dir, amb una elevada capacitat d'exploració radicular. La matèria orgànica, en aquest cas, és d'origen al·luvial, distribuïda en tot el perfil del sòl, fet que garanteix l'aportació de nutrients com el manganès, el bor, el zinc, el ferro, etc.

El sòl té una alta capacitat d'emmagatzematge d'aigua que permet aprofitar l'aigua de pluja i l'aigua procedent de la xarxa de drenatge, factors a tenir en compte a l'hora de planificar el reg. Realitzar mesures d'humitat al sòl en diferents períodes fenològics permetria determinar amb més precisió les necessitats hídriques de la plantació.

- En segon terme, disposem de l'anàlisi de sòls, on s'ha determinat un nivell de nitrats de 18 ppm. La recomanació per unes extraccions teòriques de 130 kg/ha (2,21 kg/t), segons les consideracions fetes en l'apartat de gestió del nitrogen, seria les extraccions menys el nitrogen disponible en la zona del bulb menys la mineralització estimada: $132 - (18 \times 2) - 25 = 70$ kg/ha.
- Els nivells de fòsfor i potassi són molt elevats. Aquests dos nutrients es relacionen amb les pràctiques de maneig dels fertilitzants, on les aplicacions han estat superiors a les extraccions durant les campanyes de fertilització d'anys anteriors. Amb unes extraccions teòriques de 25 i 120 UF/ha respectivament, s'aconsella restituir el 50 % de les exportacions, que serien de 6 i 27 UF/ha respectivament. La diferència en l'adobat potàssic entre les 140 i les 27 UF és clau per començar a disminuir la incidència de problemes en els fruits.

El nivell de magnesi també és molt elevat. Aquest nutrient és alt en aquests tipus de sòls on a la zona es troben materials geològics d'origen sedimentari rics en magnesi. El magnesi es solubilitza i es mou juntament amb l'aigua, dipositant-se en els sòls que recullen les aigües de la xarxa de drenatge. Aquest nutrient es pot utilitzar com a indicador d'unes condicions de disponibilitat d'aigua procedent de la conca local. Si l'aplicació de potassi és més ajustada a les necessitats, difícilment trobarem carències o desequilibris de magnesi en la plantació (aquests desequilibris es detecten amb l'anàlisi foliar).

- Un cop situats en les qüestions relatives a les condicions de la parcel·la, podem comentar la gestió feta de forma rutinària en el maneig de la plantació. Respecte al reg, una dosi d'aigua que en altres circumstàncies podria ser encertada, en aquest cas pot resultar una dosi massa alta. Les dosis de reg superior a les necessitats de la plantació originen condicions d'asfíxia, que encara que temporal, poden produir clorosis i afavorir la presència de fongs. El vigor origina desequilibris vegetatius, afavorint el desenvolupament de fusta i fulles. El desequilibri vegetatiu afavoreix alhora un major consum d'aigua i nutrients, per sobre de les necessitats productives de la plantació.

L'aportació de fertilitzants nitrogenats (80 UF), encara que inferior a les extraccions totals, és superior a les seves necessitats si tenim en compte que l'aportació natural que realitza el sòl podria abastir les extraccions totals de la plantació. El nivell en l'anàlisi de fulles manifesta una alta absorció de nitrogen i presenta, alhora, un desequilibri envers el fòsfor.

Les aportacions de fòsfor són gairebé el doble que les extraccions. L'anàlisi de sòls ja indica l'ús d'aquestes pràctiques d'aplicació per sobre de les extraccions. A més, amb la reserva disponible les necessitats són molt baixes durant un període de temps llarg. La discordança entre el fòsfor al sòl i el fòsfor en fulla pot estar associat a la falta de desenvolupament radicular o a problemes de compactació. Es recomana, en aquest sentit, avaluar la qualitat del sòl.

Pel que fa al potassi, l'anàlisi mostra que el contingut del sòl és alt i amb unes condicions de bona exploració radicular i per un objectiu de producció de 60 t/ha hi ha baixa capacitat de resposta a l'aplicació de fertilitzants. A més l'aplicació en sistemes de fertirrigació, on l'eficiència dels fertilitzants és més alta, només cal aplicar la dosi que el sòl no pot arribar a facilitar, en cap cas les extraccions.

Les aplicacions de magnesi i bor són difícilment justificables, així com els tractaments foliars, donat que els nivells de zinc i manganès són correctes. Pel que fa al ferro és millor realitzar algunes proves abans d'utilitzar una dosi fixa anual. Les pomeres absorbeixen el ferro millor que altres espècies de fruiters. A més els sòls d'origen al·luvial solen tenir nivells de ferro disponible elevats. Es tracta doncs de sòls naturalment fèrtils, amb alta disponibilitat de nutrients. Les aplicacions foliars durant la floració amb fòsfor poden ser més aviat contraproductes a part d'innecessàries, és millor realitzar aportacions més endavant si l'anàlisi de fulles determina un nivell baix en relació al nitrogen.

Del diagnòstic d'un maneig inadequat davant les necessitats reals de l'explotació se'n deriven les principals millores. L'ús de l'anàlisi de fulles anualment permetrà establir si hi ha necessitat d'aplicació d'algun nutrient via foliar. El cost dels tractaments no justificats permet millorar el marge econòmic de l'explotació. Finalment, les minves produïdes durant el període de conservació estan sovint associades a l'alta concentració dels nutrients, o a la relació entre ells, que afavoreixen l'acceleració de la descomposició cel·lular, a banda de possibles fitotoxicitats d'elements com el bor en altes concentracions.

Les receptes en matèria de fertilitzants no s'adapten de forma genèrica als diferents sistemes de sòls. L'ajust específic per unitats de sòls i en el cas particular de les reserves de nutrients de cada parcel·la permet una millora substancial dels marges econòmics, per la millora en l'ús de recursos i per la millora de variables qualitatives de la fruita que permeten disminuir les minves, augmentar el temps de conservació i facilitar els canals de comercialització i distribució als mercats.

Exemple número 4. Plantació d'oliveres

Una plantació d'oliveres (*Olea europaea* L.) intensives en reg per degoteig es desenvolupa als peus d'una petita serra a la zona sud del Segrià. La parcel·la de cinc hectàrees de superfície prové d'una anivellació realitzada en una zona d'antics abançaments de mitja vessant, de pendent moderat, i els bancals amples de final de vessant, de pendent suau, que enllacen amb el fons de la xarxa de drenatge.

La producció mitjana d'oli d'oliva dels últims anys és de 1.900 kg/ha (9.500 kg olives/ha).

El sistema de reg i aplicació de fertilitzants es realitza de forma localitzada amb sistemes per degoteig. El procés d'anivellació ha consistit a desmuntar els marges per uniformitzar les tasques de treball del sòl. El sòl està ben drenat, de textura franca, amb pocs elements grossos (fragments de lutita i gresos). El pH és de 8,5 amb un nivell de carbonat càlcic equivalent al 44 % i la conductivitat elèctrica de 0,38 dS/m. El nivell de nitrogen nítric és de 4 ppm, el de fòsfor Olsen de 7 ppm, i els nivells de potassi, magnesi i calci de 112, 354 i 4.700 ppm respectivament.



Imatge 37. Vista d'una plantació intensiva d'oliveres. El sistema de reg per degoteig està soterrat.

95

L'anàlisi de fulles fet la temporada anterior (mes de juliol) presenta els següents nivells:

Nitrogen (N) (s.m.s.)	2,93 %	Normal-alt
Fòsfor (P) (s.m.s.)	0,20 %	Òptim
Potassi (K) (s.m.s.)	1,0 %	Òptim
Calci (Ca) (s.m.s.)	1,5 %	Mitjà
Magnesi (Mg) (s.m.s.)	0,3 %	Mitjà
Sodi (Na) (s.m.s.)	120 ppm	No limitant
Zinc (Zn) (s.m.s.)	22 ppm	Normal
Coure (Cu) (s.m.s.)	41 ppm	Normal
Ferro (Fe) (s.m.s.)	147 ppm	Òptim
Manganès (Mn) (s.m.s.)	65 ppm	Òptim
Bor (B) (s.m.s.)	16 ppm	Normal-baix

Objecte de la consulta

Realitzar un pla de fertilització i la diagnosi de situació del cultiu.

Proposta de solució

Els sòls on es desenvolupen les oliveres pertanyen a dos unitats de paisatge diferents. La part més alta de la finca són sòls de vessant amb poca profunditat de sòl, on el material subjacent és una marga calcilutita. La part baixa de la parcel·la és una vessant de pendent suau, amb sòls profunds.

Els sòls de la finca, en el seu origen, no presentaven limitacions remarcables. Eren sòls ben drenats, sense risc de salinització i, tot i ser molt calcaris, no presentaven risc de clorosi fèrrica.

Amb els moviments de terra per anivellar la finca podem tenir canvis en les propietats del sòl, que afecten més a la zona alta de la parcel·la on les anivellacions han estat més intenses. L'adequació de la plantació amb un sistema de fertirrigació homogeni no s'adapta a les necessitats de maneig de dos tipus de sòls diferents.

A més, hi ha risc de formació de xaragalls, ara agreujats per l'augment de pendent general. L'antic sistema d'abancament servia per controlar l'erosió (retenir el sòl) i facilitar la infiltració de l'aigua de pluja. A la part baixa de la finca els abancaments, encara que lleus, servien per frenar l'escorrentia superficial evitant la formació de xaragalls en èpoques de pluges més intenses.

Es recomana analitzar el sòl de forma diferenciada entre la part alta i baixa de la finca, ja que els nivells dels nutrients poden ser molt diferents. També comporta realitzar tractaments diferenciats fins que aconseguim igualar les dues zones.

96

Es proposa realitzar un pla de millora de les condicions del sòl a la part més alta i anivellada de la finca mitjançant aportació de fens i/o compost de forma anual. També s'aconsella forçar el desenvolupament d'adventícies i, si és necessari, sembrar gramínies rústiques i trèvol per frenar l'escolament i afavorir la infiltració.

De l'anàlisi de fulles s'observa un nivell baix en bor, fet que aconsella l'aplicació foliar d'aquest element durant la primavera.

Les extraccions i exportacions es calculen a partir de les taules 3.1.3.1 i 3.1.3.2 i de la producció mitjana o esperada:

Extraccions

$$\text{Nitrogen: } 11,44 \text{ kg/t} \times 9,5 \text{ t/ha} = 110 \text{ N/ha}$$

$$\text{P}_2\text{O}_5: 1,63 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} \times 9,5 \text{ t/ha} = 15 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

$$\text{K}_2\text{O: } 10,75 \text{ kg K}_2\text{O/t} \times 9,5 \text{ t/ha} = 100 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$$

Exportacions

$$\text{N: } 3 \text{ kgN/t} \times 9,5\text{t/ha} = 30 \text{ kg N/ha}$$

$$\text{P}_2\text{O}_5: 0,5 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{t} \times 9,5 \text{ t/ha} = 5 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

$$\text{K}_2\text{O: } 7 \text{ kg K}_2\text{O/t} \times 9,5 \text{ t/ha} = 70 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$$

Fertilització nitrogenada: $N \text{ extret pel cultiu} - N \text{ disponible} = 110 \text{ kg N/ha} - 4 \text{ ppm}$
 $\times 2 \text{ kg N/ppm} = 102 \text{ kg N/ha}$

Pel que fa a les necessitats de fòsfor i potassi per part de la plantació, s'utilitza la taula 3.3.1 d'interpretació dels nivells de P-K al sòl. Com que els nivells són baixos, s'apliquen les extraccions amb l'objectiu d'anar recuperant els nivells del sòl: $15 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ i $100 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$.

Exemple número 5. Maneig de presseguers en sòls amb petrocàlcic

Una plantació de presseguers de 2,5 hectàrees de superfície està ubicada en una antiga terrassa alta del riu Segre. Els sòls són poc profunds (40-50 cm) limitats per la presència d'un horitzó petrocàlcic. La granulometria és francoarenosa amb graves de freqüents a abundants de fragments de calcària. La finca manté una coberta vegetal del sòl amb vegetació espontània.



Imatge 38. Presseguers en un sòl de terrassa alta amb petrocàlcic.

Es disposa d'una analítica de sòl amb els següents resultats:

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	8,3	Bàsic
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	0,22 dS/m	No limitant
Matèria orgànica	3,4 %	Alt
Carbonat càlcic equivalent	28 %	Calcari
Nitrogen nítric	4 ppm	Dèficit
Fòsfor mètode Olsen	11 ppm	Baix
Potassi extret amb acetat amònic	85 ppm	Baix
Magnesi extret amb acetat amònic	122 ppm	Mitjà
Calci extret amb acetat amònic	6.523 ppm	Alt
Sodi extret amb acetat amònic	63 ppm	No limitant

La producció mitjana és de 45 t/ha (més del 90 % de calibre comercial, > 70 mm). Sistema de reg per degoteig.

Es demana comentar la situació de la plantació segons els condicionants físics i químics, i realitzar una proposta de fertilització segons les dades de situació i analítica disponible.

98

Proposta de solució

Les terrasses d'aquestes característiques presenten una sèrie de condicionants positius com són:

- Disponibilitat d'un sòl bastant homogeni quant a textura i profunditat del sòl
- Superfície plana, de pendent molt suau
- Drenatge ràpid per evitar les condicions d'asfíxia

Un sòl homogeni permet una simplificació de la distribució de l'aigua de reg i fertilitzants. Sempre cal buscar, abans de plantar, petits relleus procedents de la xarxa de drenatge local per evitar zones d'entollament puntuals.

Per a la realització del programa de regs cal tenir en compte que la profunditat del front d'humectació no ha de depassar els 50 cm de profunditat, motiu pel qual es requereix un fraccionament del reg. S'aconsella també la instal·lació de sondes d'humitat per avaluar la pràctica del reg i registrar la pluja a nivell de finca per ajustar millor les dotacions d'aigua.

Fertilització nitrogenada

És molt comú, en aquests sòls de plataformes al·luvials, disposar d'alts nivells de matèria orgànica heretats d'un passat en què la vegetació autòctona era abundant

i els sòls s'han mantingut estables (sense processos erosius). La pèrdua de nitrats fora de l'abast de les arrels és molt baixa. L'eficiència del reg i la baixa pluviometria permeten un aprofitament dels nitrats generats.

Les necessitats de nitrogen de la plantació es determinen a partir de les extraccions, la disponibilitat de nitrogen al sòl i una estimació de la mineralització de la matèria orgànica.

Les extraccions són (taula 3.1.3.2):

$$2,74 \text{ kgN/t} \times 45 \text{ t/ha} = 125 \text{ kgN/ha}$$

El nitrogen disponible és molt baix, s'estima en unes 8 UF ($4 \text{ ppm} \times 2$). La taxa de mineralització de la matèria orgànica en condicions de molt bon drenatge, temperatures altes i humitat (reg) es mineralitza a un bon ritme, alliberant una quantitat de nitrats que s'estima en uns 50-75 kg/ha (taula 3.2.1 per una taxa de mineralització 1-1,5 %) durant el període de creixement del cultiu.

La fertilització nitrogenada durant la fase I del cultiu s'estima en unes 75 UF ($125 \text{ kg N/ha} - \text{Nitrogen disponible} - \text{Nitrogen de la taxa de mineralització} = 75 \text{ kg/ha}$), suposant que durant aquest període la mineralització de nitrogen encara és parcial.

Una part de la fertilització es deixa subjecta a posteriors avaluacions a partir de l'anàlisi de fulles o l'estat de la plantació després de la collita.

Fertilització fosfatada

El nivell del sòl és lleugerament baix, segurament no limitant per aquest ordre de produccions. L'aplicació localitzada permetrà augmentar l'eficiència dels fertilitzants fosfatats (freqüentment baixa). Les aplicacions es poden realitzar durant la primavera. No cal seguir unes pautes determinades. La restitució de les extraccions pot ser una bona forma de millorar a llarg termini la pròpia fertilitat del sòl. La dosi aniria al voltant de les 30 UF (taula 3.1.3.2). A partir de les anàlisis de fulla i de la producció final s'ha de valorar la possibilitat de realitzar una aplicació extra per fertirrigació o amb aplicacions foliars.

Fertilització potàssica

El nivell del sòl és baix. Tot i pensar que disposem d'una reserva de potassi no molt elevada, sí que cal saber que l'absorció d'aquest nutrient es veurà afavorida per la baixa capacitat de retenció del mateix. D'igual manera que en el cas del fòsfor cal valorar la representativitat de l'anàlisi, efectuant alguns controls distribuïts per la plantació per determinar la variabilitat del potassi en superfície.

L'aplicació de les extraccions de la plantació pot ser una mesura adequada si pensem amb la nutrició tant del sòl com del cultiu ($3,08 \text{ kg/t} \times 45 \text{ t/ha} = 135 \text{ UF}$). En aquest sentit cal avaluar el moment d'aplicació dels fertilitzants per evitar un consum de luxe (l'eficiència dels fertilitzants en sistemes de fertirrigació és molt bona, afavorint el consum de luxe). Serà necessari controlar els nivells de nutrients en fulla i fruita per ajustar millor les dosis i moments d'aplicació. L'aplicació durant la primavera s'ha de realitzar amb cautela, reservant una part de les necessitats per després de la collita

o durant l'hivern. El sistema de conducció de la fertilització a partir de les anàlisis tant de sòl com de planta (fulla i fruita) permetrà el manteniment dels objectius productius amb un estàndard de qualitat òptim per les condicions fisicoquímiques de la finca. També proporcionarà informació per conèixer millor la interacció entre el cultiu i la fertilitat del sòl, que permetrà als gestors de l'explotació millorar l'aplicació de recursos en el cas específic de cada varietat envers el tipus de sòl disponible.

Exemple número 6. Fertilització de cultius extensius

En una finca de La Noguera s'estudia la possibilitat d'adaptar la fertilització segons les necessitats del cultiu i del sòl. La parcel·la escollida té una dimensió aproximada de 9 ha i es rega amb un sistema per aspersió. Aquest any se sembrarà ordi (*Hordeum vulgare* L.). La producció mitjana de la finca dels darrers anys és de 6,2 t/ha. L'estudi de sòls es realitza per sectors (unitats de gestió) atenent a factors fisiogràfics. El nombre de sectors ha estat de cinc.



Imatge 39. Vista d'un camp de blat.

Resultats analítics dels sectors

Paràmetre	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5
PH 1:2.5 (V/V):	7,7	8,3	9,0	8,2	8,3
C.E. 1:5 (dS/m)	2,22	0,30	0,78	0,31	0,33
Matèria orgànica (%)	0,9	1,6	0,7	1,5	1,9
Fòsfor (P) mèt. Olsen (ppm)	9	45	3	15	22
Potassi (K) Ext. Act. Am. ppm	81	325	102	210	250
Magnesi (Mg) Ext. Act. Am. ppm	73	410	960	270	253
Calci (Ca) Ext. Act. Am. ppm	12.540	4.560	4.300	4.961	5.120
Nitrats mg/kg	3	18	40	9	11

Es demana

1. Realitzar una descripció de cadascun dels sectors.
2. Fer un pla de fertilització de la parcel·la. Tipus de fertilitzant, dosi (kg/ha), moment d'aplicació (mes-estadi cultiu). Justificar les decisions.
3. Quines repercussions agrònòmiques pot tenir el pla de fertilització proposat, i quins avantatges o inconvenients pot representar el disposar d'informació per sectors.

101

Solució

1. Els resultats de les cinc analítiques de sòls denoten situacions geomorfològiques diferents en el conjunt de la parcel·la. El primer sector presenta nivells de pH lleugerament inferiors, conductivitat elèctrica alta i nivells de nutrients baixos, inclòs el magnesi. A la Vall de l'Ebre resulta relativament freqüent trobar aquestes particularitats associades a sòls desenvolupats sobre guixos. Les principals particularitats són una conductivitat elèctrica situada al voltant de 2 dS/m, coincidint amb una solució saturada de sulfats. Alhora, aquests sulfats rebaixen el valor de pH de la prova 1:2,5. Generalment, es tracta de sòls calcaris o poc calcaris amb abundància de guixos. L'anàlisi de calci és molt més elevat que en sòls calcaris; en aquest cas supera els 12.000 ppm, atesa l'alta solubilitat del guix. El nivell de magnesi és baix, també típic en molts dels sòls rics en guix. La baixa concentració de nutrients i matèria orgànica pot estar relacionada amb processos d'erosió, pel que fàcilment ens podem trobar en una zona sumital del paisatge (divisòria). El sector 2 presenta valors de pH i CE típics de sòls calcaris. Els nivells de nutrients són alts, inclús el

magnesi. La matèria orgànica baixa, però en concordança amb els valors més alts de la finca. Es pot tractar d'una zona d'acumulació de terra, segurament de final de vessant. El sector 3 presenta valors de pH i CE elevats, sòl salino-sòdic. També hi ha un alt nivell de magnesi, mentre que els nivells dels nutrients P i K són baixos. Segurament es tracta d'una zona amb problemes de sodicitat i d'erosió. L'alt nivell de magnesi fa pensar que es tracti d'una lutita salinosòdica. Els sectors 3 i 4 presenten nivells de pH bàsic, no salins, i amb nivells de P i K mitjans. Juntament amb el sector 2, es tracta de les zones amb major productivitat de la finca.

2. Per calcular les necessitats de fertilització cal realitzar una estimació de la producció en funció de la caracterització dels sectors. Per facilitat de càlculs s'estableixen dos zones amb diferent ritme productiu. Els sectors 1 i 3, amb problemes d'aridesa associada a la falta de profunditat de sòl, problemes erosius i falta de profunditat efectiva amb una producció estimada màxima de 3 t/ha. L'altra zona comprèn els sectors 2, 4 i 5. Sense limitacions específiques. S'estableix un rendiment potencial de 7,5 t/ha.

Les extraccions màximes segons la taula 3.1.1 són 22-9-23 kg/t de N-P-K respectivament. Per les zones més problemàtiques, les extraccions són 70-35-75 UF i per les zones més productives, de 170-80-190 UF. Ara cal adaptar les extraccions a les necessitats segons l'anàlisi de sòls.

- a. Sector 1. Nivell baix N-P-K, per tant aportarem les extraccions. En fons 30-35-75 UF en forma d'adob ternari i en cobertura 40 UF de nitrogen, aprofitant el sistema de reg per aspersió.

- b. Sector 2.

Nitrogen disponible: $18 \text{ ppm} \times 4 = 72 \text{ kgN/ha}$.

Necessitats: $170 \text{ kgN/ha} - 72 \text{ kgN/ha} = 100 \text{ kgN/ha}$

Aplicar el nitrogen 30 % en fons i 70 % en cobertura.

Fòsfor 50 % extraccions i potassi 25 % extraccions (taula 3.3.1). Adobat de fons 30-40-48 UF, en cobertura les 70 UF de nitrogen restants.

- c. Sector 3.

Nitrogen disponible: $40 \text{ ppm} \times 4 = 160 \text{ kgN/ha}$.

El nitrogen disponible és superior a les extraccions, per tant, no cal fertilitzar aquest sector durant la campanya de cultiu. En l'adobat de fons, com els nivells de P i K són baixos, es recomana aportar les extraccions 0-35-75 UF.

- d. Sectors 4 i 5. Amb nivells en el sòl i potencial productiu previst molt similars es fertilitzen de la mateixa manera.

Nitrogen disponible: $10 \text{ ppm} \times 4 = 40 \text{ kgN/ha}$.

Necessitats: $170 \text{ kgN/ha} - 40 \text{ kgN/ha} = 130 \text{ kgN/ha}$.

Aplicar el nitrogen 30 % en fons i 70 % en cobertura.

Els nivells de fòsfor són mitjans; segons la taula 3.3.1, es proposa un increment d'un 25 % de les extraccions i pel que fa al potassi, com que se situa en l'inter-

val òptim es proposa aplicar les extraccions. S'aplica en fons 40-100-190 UF respectivament. En el cas de preveure restitució de la palla caldria aportar tan sols les exportacions de P i K. La cobertora es realitza amb 90 UF de nitrogen.

3. L'aplicació dels fertilitzants es realitza atenent a les diferents zones geomorfològiques de la finca. Cal realitzar zonificacions in situ identificant quines són les diferents zones abans de la presa de mostres. En base a les limitacions, cal iniciar un procés de millora adaptat a cada sector. Resulta molt convenient realitzar estudis de sòl abans d'iniciar les obres de reg i drenatge. Les necessitats hídriques i de nutrició poden arribar a ser molt diferents segons el tipus de sòl. Per evitar l'erosió, s'aconsella intensificar la rotació de cultius, evitant de deixar el sòl nu i llaurat. Els avantatges de sectoritzar les finques en funció de les seves necessitats permeten minimitzar despeses de funcionament i maximitzar la productivitat. La fertilització adaptada als diferents sectors de la finca s'ajusta molt més a les expectatives productives. Millorant la disponibilitat de nutrients en determinades àrees i estalviant recursos en zones en què les necessitats del cultiu són menors.

Exemple número 7. Plantació de pereres en sòls amb graves

Una plantació de pereres (*Pyrus communis* L.) de la varietat Devoe s'ubica en el ventall al·luvial del riu Corb, entre Belianes i Bellpuig. Els sòls són molt profunds, de textura francoarenosa i amb un percentatge de graves entre el 35 i 70 %.

103



Imatge 40. Vista del camp de pereres.

La finca es rega per inundació en un sistema per torns distribuït en vuit regs amb una dotació d'aigua anual de 9.600 m³/ha. Es demana fer un diagnòstic de la situació i fer el pla d'adobat del cultiu.

Es realitza una anàlisi de sòls de l'horitzó superficial amb els següents resultats:

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	8,2	Moderadament bàsic
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	0,21 dS/m	No limitant
Matèria orgànica	2,4 %	Mitjà
Carbonat càlcic equivalent	28 %	Molt calcari
Nitrogen nítric	18 ppm	Mitjà-alt
Fòsfor mètode Olsen	14 ppm	Mitjà
Potassi extret amb acetat amònic	110 ppm	Baix
Magnesi extret amb acetat amònic	180 ppm	Normal
Calci extret amb acetat amònic	7407 ppm	Alt
Sodi extret amb acetat amònic	63 ppm	No limitant
Ferro extraïble DTPA	15 ppm	Mitjà
Arenes	55 %	
Llims	35 %	
Argiles	10 %	
Classificació textural (USDA)		Francoarenosa
CRAD	12 %	Mitjà

Proposta de solució

El sòl de la parcel·la presenta una bona aptitud pels cultius fruiters. Pertany al grup de sòls ben drenats, sense cap risc de salinitat. Cal avaluar l'adaptació del sistema de reg en un sòl de graves. L'avaluació a partir de les dades facilitades en format informe comporta els desajustaments produïts per la falta d'informació de base, que s'hauria de realitzar de forma empírica. La solució al cas comporta la necessitat de realitzar estimacions per poder abordar el problema i treure'n unes conclusions que caldria validar en el món real. L'objectiu de l'exercici és l'aprenentatge en l'ús de càlculs senzills útils en l'avaluació de les dades de partida.

En primer terme, s'aborda la CRAD, paràmetre que s'ha determinat en laboratori sobre la fracció fina (< 2 mm) del sòl i s'expressa en percentatge de pes. Aquest valor de laboratori s'ha de convertir en un valor de més utilitat, tenint en compte el percentatge de graves del sòl. Les graves es determinen usualment per valoració qualitativa, i per aquest motiu el ventall de graves del perfil es dona sempre en intervals orientatius.

Es procedeix a fer una estimació de la reserva d'aigua útil en un metre de profunditat de sòl a partir de considerar una densitat aparent de la fracció fina d'1,5 t/m³ i per un volum d'elements grossos del 50 %.

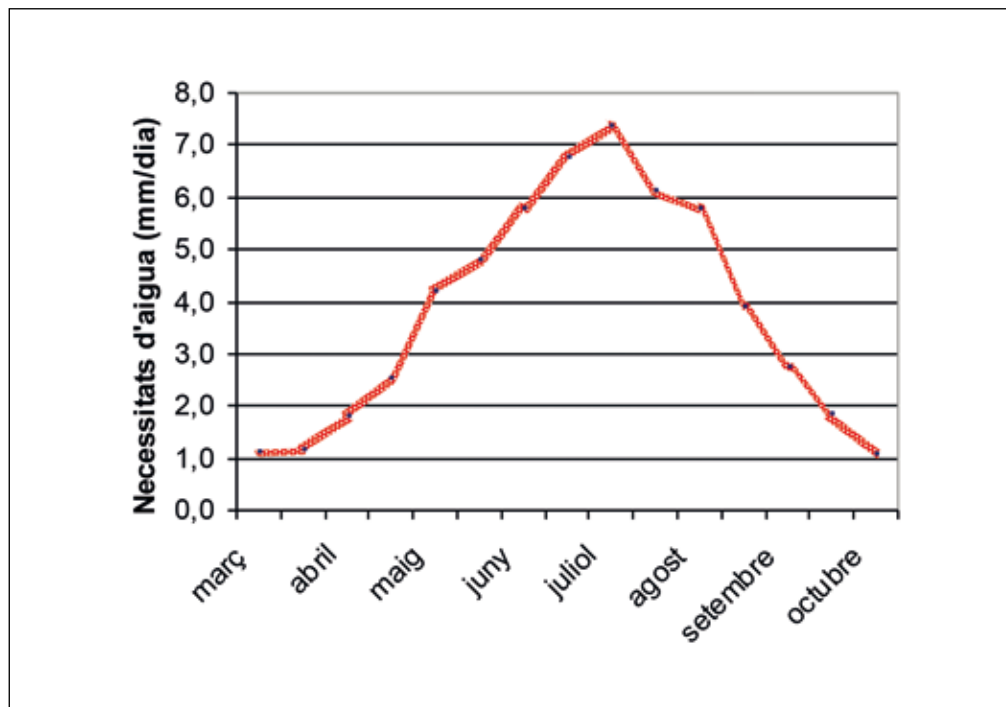
$$\begin{aligned}\text{CRAD} &= 12 \text{ L/100 kg sòl} \times 1.500 \text{ kg sòl/m}^3 \text{ sòl} \times 1 \text{ m}^3 \text{ sòl/m}^2 \text{ superfície} \times 50 \% \\ &= 90 \text{ L/m}^2\end{aligned}$$

La dotació d'aigua de 9.600 m³/ha distribuïda en vuit regs dona un resultat d'un volum d'aigua aplicat de 120 L/m² i reg. Amb el resultat de la CRAD resultant tenim unes pèrdues d'aigua estimables de 30 L/m² i reg. El reg potencial màxim és de vuit regs de 90 L/m² que suma un total de 7.200 m³/ha d'aigua aprofitable.

Les estimacions de les necessitats hídriques de la plantació es calculen a partir de les dades d'evapotranspiració de referència i d'uns coeficients de cultiu segons es mostra en el gràfic adjunt. La quantitat de necessitats hídriques acumulades durant el període de cultiu dona un total anual de 850 mm, dels quals s'ha de descomptar l'aigua procedent de la pluja durant el període considerat. La precipitació mitjana de la zona és d'uns 350 mm anuals. A priori, les xifres de disponibilitat d'aigua semblen suficients.

En vista de les grans xifres, no hi ha restriccions en la globalitat d'aigua disponible. No obstant això, durant el mes de juliol les necessitats hídriques són de 212 mm. Amb una cadència de reg quinzenal la disponibilitat és de 180 mm. La diferència de 32 mm equival a un període sec de cinc dies durant el mes de juliol. Aquests dies de falta d'aigua estaran subjectes a la distribució de pluges d'estiu de cada anualitat.

105



Imatge 41. Distribució de les necessitats hídriques diàries.

A l'hora d'avaluar la disponibilitat de nitrogen pel cultiu a partir de l'anàlisi de sòls podem fer la mateixa consideració que en el cas de l'estimació de la CRAD real. L'anàlisi s'ha realitzat sobre la fracció fina i, en el moment d'ajustar factors de conversió per traduir el resultat a nitrogen disponible pel cultiu, tenim un volum d'elements grossos que s'estima en un 50 %. Per aquest motiu, podem considerar que la quantitat de nitrogen disponible en l'horitzó superficial és la meitat del que tindriem en un sòl sense elements grossos.

Es contempla una disponibilitat de 9 ppm de nitrogen, així que la partida més gran de nitrogen serà la procedent de la mineralització de la matèria orgànica, que es descomptarà del pla de fertilització. Les extraccions totals se situen de l'ordre de 100 kgN/ha i les necessitats finals de la plantació de 65 kgN/ha. L'aplicació es realitzarà en dos moments durant la primavera. La dosi recomanada s'ajustarà a les expectatives de desenvolupament del cultiu. L'ajust exacte d'una dosi de nitrogen no existeix. La valoració es realitza a partir de la interpretació de l'anàlisi de sòls en el context d'un determinat perfil tipus de sòl. La no aplicació de fertilitzants nitrogenats no es considera viable a llarg termini, però tot i així, podria no haver resultats negatius durant el primer any. Aplicacions de l'ordre de les extraccions comportaria una disponibilitat real molt superior, amb els conseqüents problemes de vigor i la necessitat d'aplicació de reguladors del creixement. S'opta per una solució a mig camí, que caldrà avaluar amb el seguiment de l'estat de la plantació i les analítiques rutinàries de control.

Pel que fa als nivells de fòsfor i potassi, no s'apliquen restriccions associades al volum d'elements grossos. Els nivells d'interpretació són mitjans-baixos. Amb un criteri de restitució de les extraccions s'haurien d'aplicar 20 kg de P_2O_5 /ha i 100 kg K_2O /ha que s'aplicarien en fons amb una abonadora de distribució de fertilitzants sòlids. Amb el sistema de reg per inundació es realitza una aplicació única amb els fertilitzants en forma sòlida. L'objectiu és el manteniment d'un sòl amb un nivell de fertilitat que sigui adient al cultiu considerat. La falta de factors limitants permet mantenir aquesta pràctica de fertilització sense cap risc d'excés nutricional. El maneig de l'explotació s'ha de realitzar en el context de manteniment d'un objectiu productiu que realment sigui assolible amb l'eficiència de l'ús de l'aigua en les condicions particulars de la finca.

El nivell de ferro extraïble és de 15 ppm, presenta un risc mitjà de clorosi fèrrica per perera. S'aconsella l'aplicació de 12 kg/ha de quelats de ferro. L'aplicació es realitza de forma localitzada, amb llança als peus de la soca i durant el mes de febrer.

Exemple número 8. Fertilització de l'alfals

Establiment d'un programa de fertilització per a una finca situada a Vallmanya (terme municipal d'Alcarràs). La finca se sembrarà d'alfals durant el mes de febrer. Es preveu mantenir el cultiu durant els propers quatre anys.

Informació addicional

La finca es dedica des de fa deu anys als cultius extensius de blat, panís, alfals i raigràs i darrerament s'està observant una disminució mitjana del rendiment d'un 30 %



Imatge 42. Vista de la finca.

107

en el conjunt dels cultius. Es decideix fer una anàlisi de sòls per avaluar les causes de la pèrdua de collita. La finca es rega amb un sistema d'aspersió amb cobertura total, i no hi ha problemes amb el subministrament d'aigua.

El cultiu

El potencial productiu anterior era de 17 tones d'alfals per hectàrea al 12 % d'humitat. La concentració mitjana de l'alfals és de 3,5 % de nitrogen, 0,35 % de fòsfor i 2,3 % de potassi sobre matèria seca (s.m.s).

La fertilització

Tradicionalment s'aporta anualment a l'alfals 350 kg/ha de 8-15-15.

Respondre les següents qüestions

Fer una valoració de la situació. Proposar una estratègia per solucionar problemes i establir un pla d'abonat per l'anàlisi efectuada.

Anàlisi de sòl (0-25 cm)

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	8,5	Alcalí
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	0,47 dS/m	No limitant
Matèria orgànica	1,8 %	Baix
Carbonat càlcic equivalent	26 %	Calcari
Nitrogen nítric	20 ppm	Mitjà-alt
Fòsfor mètode Olsen	8 ppm	Baix
Potassi extret amb acetat amònic	106 ppm	Baix
Magnesi extret amb acetat amònic	482 ppm	Alt
Arenes	2,6 %	
Llims	63,0 %	
Argiles	34,4 %	
Classificació textural (USDA)		Francoargil-lollimosa
CRAD	12 %	Mitjà

108

Solució

L'anàlisi de sòl mostra un pH de reacció alcalina, amb una conductivitat lleugerament alta i un nivell de magnesi alt. Segurament les condicions de drenatge no són molt bones i la textura argilosa tampoc ajuda. Els problemes de productivitat estan associats, en part, a un possible procés de salinització secundària i pèrdua de drenatge, però també poden estar influenciats per la disminució de fòsfor i potassi al sòl.

La producció de matèria seca és de $17 \text{ t m. f./ha} \times (100-12)/100 \text{ kg m. f./kg m. s.} = 15 \text{ t/ha}$, i les extraccions potencials del cultiu són: $15 \text{ t/ha} \times 3,5 \% \text{ de nitrogen} = 525 \text{ kg N/ha}$, $15 \text{ t/ha} \times 0,35 \% \text{ de fòsfor} \times 2,29 = 120 \text{ UF de } \text{P}_2\text{O}_5$ i $15 \text{ t/ha} \times 2,3 \% \text{ de potassi} \times 1,2 = 415 \text{ UF de } \text{K}_2\text{O}$.

Les aportacions habituals en el cultiu de l'alfals eren 350 kg/ha d'un complex 8-15-15, que equivalen a 30-52,5-52,5 UF respectivament. S'aplicava la meitat de fòsfor i la setèima part del potassi extret anualment els anys en què hi havia alfals a la finca.

Segons les taules 3.7.2 i 3.7.3, la dosi recomanable de fòsfor és de 150 UF abans de sembrar, i després 75 UF aplicades anualment. Pel que fa al potassi, la dosi recomanable és de 150 UF anuals. Encara que inferiors a les extraccions del cultiu, s'ha demostrat experimentalment que aquestes dosis són suficients per incrementar la producció.

Pel que fa als problemes de drenatge i acumulació de sals, resulta imprescindible avaluar el drenatge i si és necessari millorar-ne l'evacuació mitjançant drenatges interns o de cintura.

L'aportació de fems i/o compost abans de sembrar l'alfals també resulta interessant per totes les consideracions fetes.

Exemple número 9. El risc d'asfíxia en espècies sensibles

Una plantació de nectarines de quatre anys d'edat es desenvolupa en una terrassa baixa del riu Ebre. El sòl és molt profund, de textura francoarenosa sense elements grossos. En el moment de realitzar la plantació es va obrir un escandall per observar la presència del nivell freàtic, que es mantenia per dessota dels dos metres de profunditat. Hi ha una freqüència històrica d'inundacions cada vuit anys.

Els arbres manifesten símptomes de poc desenvolupament de brots i fulles, defoliacions i marciment amb algunes baixes. En arrencar els arbres morts s'observen necrosis en les arrels. S'han enviat mostres d'arrel d'arbres afectats per determinar la presència de fongs amb un resultat negatiu.

Es demana fer una diagnosi del problema.



Imatge 43. Detall del perfil del sòl. La granulometria resultant presenta molt pocs espais porosos a causa d'una estructura dèbil, absència d'elements grossos i textura composta principalment per arenes fines i llims.

Proposta de solució

Els sòls es desenvolupen en una terrassa baixa del riu Ebre. Aquests sòls, tot i presentar una textura aparentment bona, poca compacitat del terreny i friabilitat dels materials, presenten molt poca porositat (cosa que dificulta el moviment de l'aigua, la conductivitat hidràulica és baixa). Es tracta de sòls molt joves originats a partir de sediments al·luvials. L'estructura és feble, encara que sovint disposada en blocs molt grans. El drenatge presenta certes limitacions, motiu pel qual en èpoques de pluja intensa o en sistemes de reg per inundació el sòl pot romandre entollat uns dies. També hi ha moments en què les pujades del riu poden comportar una ascensió del nivell freàtic i ocasionalment inundacions. És molt important realitzar un estudi de l'escandall del sòl per part d'un expert que pugui observar la presència de taques d'oxidoreducció i l'avaluació de l'estructura del sòl per emetre una diagnosi més acurada.

Tots aquests factors comporten unes condicions d'anòxia temporal que afecten a la respiració aeròbica del sistema radicular. La falta d'oxigen produeix una reducció important d'energia acumulada (ATP) en els teixits del sistema radicular, debilitant l'arbre. A més, es força la respiració anaeròbica, produint formació d'àcids que disminueixen el pH cel·lular, causant una acidosi citoplasmàtica que es pot traduir en necrosis i mortalitat cel·lular. Les plantacions sensibles a l'asfíxia poden manifestar símptomes similars a fongs com *Phytophthora*, sense presentar la malaltia. Per aquest motiu, l'ús de portaempelts resistent a fongs continuen presentant inadaptacions en sòls d'aquestes característiques.

Per les condicions del tipus de sòl es presenta una baixa adaptació a determinats cultius sensibles a la poca disponibilitat d'oxigen pel sistema radicular.

Exemple número 10. Problemes en varietats de nova incorporació

Una empresa frutera introdueix una nova varietat de préssecs en algunes explotacions. Al segon any de formació apareixen els primers fruits, que presenten un clapejat de color fosc que deriva en podridures.



Imatge 44. Detall de clapejats en préssecs.

Les plantacions s'ubiquen en posicions de vessants d'enllaç, de pendent molt suau. Són bancals de mida gran, lleugerament anivellats en bancals de menys d'un metre d'altura. Els sòls són molt profunds, de textura mitjana, francollimosa amb pocs elements grossos. Són sòls ben drenats, amb una estructura forta, en blocs subangulars de mida gran.

Per ajudar a establir una diagnosi del problema observat es realitzen anàlisis de fruita i de sòls. Els resultats mitjans es presenten en els quadres adjunts.

Resultats anàlisis de sòls

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	8,2	Moderadament bàsic
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	0,31 dS/m	No limitant
Matèria orgànica	2,4 %	Mitjà
Carbonat càlcic equivalent	38 %	Calcari
Nitrogen nítric	23 ppm	Alt
Fòsfor mètode Olsen	52 ppm	Alt
Potassi extraïble amb acetat amònic	325 ppm	Alt
Magnesi extraïble amb acetat amònic	230 ppm	Normal-alt
Calci extraïble amb acetat amònic	6.403 ppm	Alt
Sodi extraïble amb acetat amònic	93 ppm	No salí

111

Resultats anàlisis de fruita

Determinació	Resultat	Interpretació
Nitrogen	150 mg/100 g	Alt
Fòsfor	25 mg/100 g	Normal
Potassi	285 mg/100 g	Alt
Calci	15 mg/100 g	Normal
Magnesi	9 mg/100 g	Alt

Es demana realitzar una diagnosi dels fets i plantejar solucions al problema.

Proposta de solució

Les plantacions es posicionen en una unitat de sòls i paisatge favorable per al desenvolupament dels cultius. No hi ha risc d'asfíxia ni salinitat. El potencial productiu de les plantacions és favorable.

Les plantacions, en el moment d'aparició del problema, estan en la fase inicial de formació dels arbres. La formació de l'esquelet de l'arbre en les primeres fases requereix la formació ràpida de fusta. En un sòl d'aquestes característiques permet avançar temps.

El desenvolupament ràpid de biomassa comporta alhora una absorció alta de nutrients. La baixa producció del segon verd es produeix en un moment de desequilibri entre els nutrients absorbits i els demandats per part del fruit. A aquest factor s'afegeix l'alt nivell de nutrients presents en el sòl. L'origen dels nutrients rau en aportacions anteriors, bé en forma de fems aplicats abans de plantar, bé en l'excés d'aplicacions dels cultius anteriors i reforçat en el moment de la fertilització de formació.

Aquest desequilibri en el balanç de nutrients a nivell de planta és determinat amb les anàlisis dels fruits. Els resultats són indicadors de la forta càrrega de nutrients rebuts per part dels fruits. Els problemes de clapejat i podridures estan produïts per les alteracions nutricionals del contingut citoplasmàtic. Si bé no es descarta una certa sensibilitat de determinades varietats a aquests processos metabòlics, les solucions passen per prevenir els desequilibris diagnosticats.

Les solucions al problema s'han de centrar bàsicament en la disminució de les dosis de fertilitzants aplicats. El control del desenvolupament vegetatiu, buscant l'equilibri entre la massa foliar i la producció de fruita. L'augment de la producció en els propers anys pal·liarà part del problema en repartir la càrrega nutricional entre un major nombre de fruits.

L'equilibri nutricional és complex; el balanç de nutrients es realitza a partir de les anàlisis de fulles i l'equilibri vegetatiu-reproductiu. L'objectiu és la producció d'un fruit amb uns nivells de nutrients determinats. La fertilització s'ha d'ajustar a aquest complex sistema de balanç de nutrients, on les dosis i el moment d'aplicació tenen finalitats concretes. Els mecanismes de càlcul es basen en les anàlisis de fulla, fruita i sòl, i amb les observacions de l'estat de la plantació.

Exemple número 11. Maneig de la vinya

Una explotació vitivinícola del Priorat té problemes de qualitat i producció en les seves collites a pesar que s'observa bastant vigor. El rendiment objectiu és de 5 t/ha i tot just arriba als 2.000 kg/ha de raïm els últims anys. Es disposa d'una anàlisi de sòls de la tardor i d'una anàlisi foliar de la campanya anterior.

Anàlisi de sòls (final de campanya)

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	7,2	Neutre
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	0,15 dS/m	No salí
Matèria orgànica	2,7 %	Mitjà
Carbonat càlcic equivalent	Lp	Inapreciable
Nitrogen nítric	32 ppm	Alt

Determinació	Resultat	Interpretació
Fòsfor mètode Olsen	56 ppm	Alt
Potassi extraïble amb acetat amònic	246 ppm	Òptim
Magnesi extraïble amb acetat amònic	215 ppm	Òptim
Calci extraïble amb acetat amònic	2.406 ppm	Adequat
Sodi extraïble amb acetat amònic	23 ppm	No salí



Imatge 45. Vista de la plantació.

113

Anàlisi foliar (realitzada en el moment del quallat)

Nitrogen (N) (s.m.s.)	2,73 %	Òptim
Fòsfor (P) (s.m.s.)	0,24 %	Òptim
Potassi (K) (s.m.s.)	1,20 %	Òptim
Calci (Ca) (s.m.s.)	1,65 %	Normal
Magnesi (Mg) (s.m.s.)	0,34 %	Normal
Sodi (Na) (s.m.s.)	48 ppm	Normal
Zinc (Zn) (s.m.s.)	46 ppm	Òptim

Coure (Cu) (s.m.s.)	41 ppm	Normal
Ferro (Fe) (s.m.s.)	127 ppm	Òptim
Manganès (Mn) (s.m.s.)	25 ppm	Normal
Bor (B) (s.m.s.)	26 ppm	Òptim

Es demana fer diagnosi de situació i pla de fertilització.

Solució

Es tracta d'un sòl de reacció neutra, sense carbonats i no salí. Desenvolupat sobre llicorelles (material geològic típic en el Priorat). El nivell de matèria orgànica és adequat. Els nivells de calci i magnesi són força alts per ser un sòl no calcari. El material geològic, de reacció neutra, i la baixa pluviometria de la zona, han permès el manteniment d'uns nivells de bases de canvi més que raonables. El sòl es manté, en aquest sentit, força equilibrat, sense risc d'acidificació o pèrdua de bases.

Els nivells de fòsfor i potassi són alts. Indicadors d'aplicacions de fertilitzants, minerals o orgànics per sobre de les necessitats del cultiu. El nivell de nitrats és també molt elevat, i més tractant-se d'una anàlisi feta a la tardor (postcollita).

Pel que fa a l'anàlisi foliar, no hi ha cap tipus de carència, tots els nivells són òptims o pròxims a l'òptim.

L'alt vigor observat cada primavera està en concordança amb l'alt nivell de fertilitat dels sòls. El problema comença quan les pluges d'estiu no són suficients per suportar el creixement vegetatiu o la biomassa generada durant la primavera. El raïm sofreix estrès hídric, afectant tant a la productivitat com a la qualitat.

Les extraccions d'una vinya de secà són molt baixes. Per a una producció òptima de 5 t/ha, són de 20-5-20 UF respectivament (vegeu taula 3.1.3.2). El desequilibri generat a partir de les aportacions efectuades amb anterioritat afecten al desenvolupament equilibrat de la planta.

El maneig del cultiu s'ha de fer mitjançant la poda en verd (despuntat) en el moment de la divisió cel·lular del raïm, evitant un creixement excessiu i adaptant-se a les disponibilitats d'aigua dels propers mesos. Si cal, s'haurà d'aclarir també el nombre de raïms per cep.

Pel que fa al tema de la nutrició, es relega als controls de nitrats al sòl i foliar per avaluar la possibilitat de necessitar algun element. En cas de disminució dels nitrats al sòl es recomana no aportar més de 20-30 kgN/ha.

Exemple número 12. Fertilització de l'ametller

S'ha de definir un programa de fertirrigació per una plantació intensiva d'ametllers. Els sòls són profunds, de textura mitjana i pendent inferior a l'1 %. El rendiment objectiu és alt, de l'ordre de 10 t/ha (entre 2.500 i 3.000 kg de gra per ha). Es disposa d'una anàlisi de sòls de la tardor i d'una anàlisi foliar de la campanya anterior.



Imatge 46. Vista de la plantació.

Anàlisi de sòls (final de campanya)

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	7,9	Bàsic
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	0,27 dS/m	No salí
Matèria orgànica	1,7 %	Baix
Carbonat càlcic equivalent	38 %	Molt calcari
Nitrogen nítric	24 ppm	Òptim
Fòsfor mètode Olsen	26 ppm	Òptim
Potassi extraïble amb acetat amònic	225 ppm	Òptim
Magnesi extraïble amb acetat amònic	185 ppm	Òptim
Calci extraïble amb acetat amònic	6.426 ppm	Adequat
Sodi extraïble amb acetat amònic	43 ppm	No salí

Anàlisi foliar (campanya anterior)

Nitrogen (N) (s.m.s.)	2,1 %	Òptim
Fòsfor (P) (s.m.s.)	0,17 %	Òptim
Potassi (K) (s.m.s.)	1,40 %	Òptim
Calci (Ca) (s.m.s.)	1,55 %	Òptim
Magnesi (Mg) (s.m.s.)	0,28 %	Òptim
Sodi (Na) (s.m.s.)	48 ppm	Normal
Zinc (Zn) (s.m.s.)	46 ppm	Òptim
Coure (Cu) (s.m.s.)	7 ppm	Òptim
Ferro (Fe) (s.m.s.)	135 ppm	Òptim
Manganès (Mn) (s.m.s.)	55 ppm	Òptim
Bor (B) (s.m.s.)	48 ppm	Òptim

Es demana fer una diagnosi de situació i el pla de fertilització.

Solució

116

Es tracta d'un sòl bàsic, calcari, no salí i sense cap factor limitant aparent. L'objectiu productiu és força elevat. A nivell de nutrients en el sòl, ens trobem davant d'una situació òptima, amb una alta disponibilitat de nitrats que podem aprofitar en el programa de fertilització d'aquesta campanya. Pel que fa a les aportacions de P i K, s'opta per restituir els nutrients exportables de la parcel·la. En aquest cas és ametlla en closca. Per incrementar el nivell de matèria orgànica s'aconsella deixar el sòl enherbat, picar les restes de poda i minimitzar l'herbicida o substituir-lo per treballs mecànics.

La fertilització nitrogenada es calcula en base a les extraccions del cultiu. En la taula 3.1.3.2 s'apunten unes extraccions orientatives de 18,9 kgN/t d'ametlla closca, el que fan un total de 190 UF.

El nitrogen disponible s'estima segons l'apartat 3.1 en $24 \text{ ppm} \times 2 = 48 \text{ kgN/ha}$. La diferència entre les extraccions i el nitrogen disponible és de 140 UF. 110 s'aplicaran durant el període març a juny i les 30 UF restants es reserven per després de la collita. L'anàlisi de fulles servirà com a eina de diagnosi d'avaluació de la fertilització de primavera.

Pel que fa al fòsfor i al potassi, es determinen les exportacions (taula 3.1.3.1) que són respectivament de 3,44 i 12,96 kg/t. Aproximadament, tenim unes exportacions de 35 i 130 UF de fòsfor i potassi, respectivament. L'aplicació es realitzarà conjuntament amb el nitrogen de primavera. L'avaluació de l'absorció es realitza amb l'anàlisi de fulles. Al tercer any de l'anàlisi de sòls es repetirà l'anàlisi amb l'objectiu d'avaluar si els nivells de P i K es mantenen dins de l'interval òptim.

Exemple número 13. Fertilització de mandarina

S'ha de definir un programa de fertilització per una plantació de mandarines a la comarca del Montsià. La finca s'ubica en una terrassa alta del riu Ebre. En el marge de la carretera d'accés a la finca es poden veure els diferents estrats dipositats pel riu, amb alternança d'horitzons petrocàlcics. Els sòls són moderadament profunds, de textura mitjana, abundants elements grossos (graves de calcària). El sistema de reg és per inundació.

El rendiment objectiu és de l'ordre de 40 t/ha.

Es disposa d'una anàlisi de sòls de la tardor i d'una anàlisi foliar de la campanya anterior.



Imatge 47. Vista del camp de mandariners.

Anàlisi de sòls (final de campanya)

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	8,2	Bàsic
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	0,29 dS/m	No salí
Matèria orgànica	3,7 %	Alt
Carbonat càlcic equivalent	48 %	Extremadament calcari
Nitrogen nítric	4 ppm	Baix
Fòsfor mètode Olsen	8 ppm	Baix
Potassi extraïble amb acetat amònic	90 ppm	Baix
Magnesi extraïble amb acetat amònic	175 ppm	Òptim
Calci extraïble amb acetat amònic	5426 ppm	Adequat
Sodi extraïble amb acetat amònic	23 ppm	No salí

Anàlisi foliar (campanya anterior)

Nitrogen (N) (s.m.s.)	2,50 %	Òptim
Fòsfor (P) (s.m.s.)	0,17 %	Normal
Potassi (K) (s.m.s.)	1,40 %	Òptim
Calci (Ca) (s.m.s.)	4,55 %	Òptim
Magnesi (Mg) (s.m.s.)	0,28 %	Normal
Sodi (Na) (s.m.s.)	38 ppm	Normal
Zinc (Zn) (s.m.s.)	46 ppm	Òptim
Coure (Cu) (s.m.s.)	67 ppm	Òptim
Ferro (Fe) (s.m.s.)	135 ppm	Òptim
Manganès (Mn) (s.m.s.)	55 ppm	Òptim
Bor (B) (s.m.s.)	18 ppm	Baix

Es demana fer diagnosi de situació i pla de fertilització.

Solució

Es tracta d'un sòl bàsic, no salí però extremadament calcari, fet que segurament obliga a aportar anualment fertilitzants amb ferro i controlar l'estat del cultiu per evitar clorosis fèrriques.

La matèria orgànica és alta i no associada a activitats ramaderes (nivell de fòsfor baix), segurament prové de la vegetació natural de la zona, anterior a la transformació agrícola.

El drenatge és ràpid i la capacitat de subministrar aigua i nutrients depèn en gran part de la capacitat de realitzar regs a la demanda. A nivell de nutrients en el sòl, ens trobem davant d'una situació de resposta a l'aplicació de fertilitzants, amb una baixa disponibilitat de nitrats. La impossibilitat d'aportar nutrients de forma fraccionada i localitzada pot limitar la resposta del cultiu a curt termini.

La fertilització nitrogenada es calcula en base a les extraccions del cultiu. En la taula 3.1.3.2 s'apunten unes extraccions orientatives de 4,4 kgN/t, que fan un total de 176 UF.

El nitrogen disponible s'estima segons l'apartat 3.1 en $4 \text{ ppm} \times 4 = 16 \text{ kgN/ha}$. La diferència entre les extraccions i el nitrogen disponible és de 160 UF. Els fertilitzants nitrogenats s'aplicaran fraccionats durant el període de març a juliol. L'anàlisi de fulles servirà com a eina de diagnòstic d'avaluació de la fertilització de finals de primavera.

Pel que fa al fòsfor i al potassi, es determinen les extraccions (taula 3.1.3.2) que són respectivament de 0,78 i 3,84 kg/t. Aproximadament les extraccions són de 30 i 150 UF de fòsfor i potassi, respectivament. L'aplicació es realitzarà conjuntament amb la primera aportació de nitrogen a la sortida d'hivern. L'aportació d'un complex tipus 10-5-25 s'adaptaria molt bé. A raó de 600 kg/ha suposa una aportació de 60 unitats de nitrogen, 30 unitats de fòsfor i 150 unitats de potassi. L'avaluació de l'absorció es realitza amb l'anàlisi de fulles.

Les dues aportacions restants de nitrogen es poden realitzar amb un adob tipus nitrat amònic (26 % N) a raó de 230 kg/ha cada cop.

Al tercer any de l'anàlisi de sòls es repetirà l'anàlisi amb l'objectiu d'avaluar si els nivells de P i K augmenten com a conseqüència de deixar les restes de collita picades en la parcel·la.

Pel que fa a l'anàlisi de fulles, es detecta un nivell baix en bor, fet que faria aconsellable la realització d'un o dos tractaments durant la primavera.

El fet de no arribar als continguts òptims de fòsfor i magnesi en fulla podria aconsellar la realització d'un tractament foliar amb fòsfor i un altre amb magnesi abans de realitzar l'anàlisi de fulles de la propera campanya.

Exemple número 14. Fertilització de l'avellaner

S'ha de definir un programa de fertilització per una plantació d'avellaners a la comarca del Baix Camp. La finca s'ubica en un vessant proper a la serra de la Mussara. Els sòls es desenvolupen sobre materials col·luvials d'origen calcari. Els sòls són profunds, de textura mitjana, amb pocs elements grossos (graves de mida petita i forma irregular de calcària). El sistema de reg és per degoteig.

El rendiment objectiu és de l'ordre de 4 t/ha d'avellana amb closca.

Es disposa d'una anàlisi de sòls recent i d'una anàlisi foliar de la campanya anterior.



Imatge 48. Vista d'un camp d'avellaners.

120

Anàlisi de sòls (final de campanya)

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	8,3	Bàsic
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	0,31dS/m	No salí
Matèria orgànica	1,6 %	Baix
Carbonat càlcic equivalent	52 %	Extremadament calcari
Nitrogen nítric	8 ppm	Baix
Fòsfor mètode Olsen	9 ppm	Baix
Potassi extraïble amb acetat amònic	115 ppm	Baix
Magnesi extraïble amb acetat amònic	215 ppm	Òptim
Calci extraïble amb acetat amònic	5.830 ppm	Adequat
Sodi extraïble amb acetat amònic	43 ppm	No salí

Anàlisi foliar (campanya anterior)

Nitrogen (N) (s.m.s.)	2,10 %	Òptim
Fòsfor (P) (s.m.s.)	0,16 %	Normal
Potassi (K) (s.m.s.)	1,10 %	Òptim
Calci (Ca) (s.m.s.)	1,55 %	Òptim
Magnesi (Mg) (s.m.s.)	0,28 %	Òptim
Sodi (Na) (s.m.s.)	39 ppm	Normal
Zinc (Zn) (s.m.s.)	36 ppm	Òptim
Coure (Cu) (s.m.s.)	8 ppm	Òptim
Ferro (Fe) (s.m.s.)	95 ppm	Òptim
Manganès (Mn) (s.m.s.)	45 ppm	Òptim
Bor (B) (s.m.s.)	38 ppm	Òptim

Es demana fer la diagnosi de situació i el pla de fertilització.

Solució

Es tracta d'un sòl bàsic, no salí però extremadament calcari, fet que segurament obliga a aportar anualment fertilitzants amb ferro i controlar l'estat del cultiu per evitar clorosis fèrriques.

La matèria orgànica és baixa. La posició en vessant i el fet de llaurar el sòl propicien l'efecte de l'erosió.

El drenatge i l'escolament superficial mantenen el sòl ben drenat, sense problemes d'entollament. El fet de disposar d'un sistema de reg localitzat evitarà períodes d'estrès hídric.

Els nivells dels nutrients majoritaris són baixos. Probablement també associat a processos erosius. El maneig del sòl depèn en gran mesura del sistema de recollida de l'avellana. Per aquest motiu, es proposa realitzar mesures preventives de l'erosió en forma de cavallons que tallin l'inèrcia de l'aigua.

La fertilització nitrogenada es calcula en base a les extraccions del cultiu. En la taula 3.1.3.2 s'apunten unes extraccions orientatives de 20,7 kgN/t, que fan un total de 83 UF.

El nitrogen disponible s'estima segons l'apartat 3.1 en $8 \text{ ppm} \times 2 = 16 \text{ kgN/ha}$. La diferència entre les extraccions i el nitrogen disponible és de 67 UF. Aquestes unitats s'aplicaran durant el període de març a juliol de forma fraccionada (fertirrigació). L'anàlisi de fulles servirà com a eina de diagnosi d'avaluació de la fertilització de finals de primavera.

Pel que fa al fòsfor i al potassi, es determinen les extraccions (taula 3.1.3.2), que són respectivament de 3,62 i 10,31 kg/t. Aproximadament tenim unes extraccions de

15 i 50 UF de fòsfor i potassi, respectivament. L'aplicació es realitzarà conjuntament amb el nitrogen. L'aportació d'un complex tipus 20-5-15 s'adaptaria força bé. A raó de 400 kg/ha i campanya amb aportacions aproximades de 40 kg/ha setmanalment fins aconseguir els objectius. L'avaluació de l'absorció es realitza amb l'anàlisi de fulles.

Al tercer any de l'anàlisi de sòls es repetirà l'anàlisi amb l'objectiu d'avaluar si els nivells de P i K milloren o es mantenen.

Exemple número 15. Fertilització del panís

S'ha de definir un pla d'adobat per un sembrat de panís a la comarca del Pla d'Urgell. La finca s'ubica en un ventall al·luvial del riu Corb. Els sòls són molt profunds,



Imatge 49. Camp de panís a la comarca del Pla d'Urgell.

de textura mitjana, amb freqüents elements grossos (fragments de grava de calcària procedents del sistema prelitoral central). El sistema de reg és per inundació.

El rendiment objectiu és de l'ordre de 16 t/ha.

Es disposa d'una anàlisi de sòls abans d'iniciar la fertilització i les tasques de preparació del sòl (febrer) i d'una anàlisi de fulles de la campanya anterior.

Anàlisi de sòls

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	8,0	Bàsic
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	0,33 dS/m	No salí
Matèria orgànica	2,7 %	Mitjà
Carbonat càlcic equivalent	24 %	Calcari
Nitrogen nítric	14 ppm	Mitjà
Fòsfor mètode Olsen	48 ppm	Alt
Potassi extraïble amb acetat amònic	240 ppm	Òptim
Magnesi extraïble amb acetat amònic	175 ppm	Òptim
Calci extraïble amb acetat amònic	5.426 ppm	Adequat
Sodi extraïble amb acetat amònic	23 ppm	No salí

123

Anàlisi foliar

Nitrogen (N) (s.m.s.)	3,10 %	Òptim
Fòsfor (P) (s.m.s.)	0,22 %	Òptim
Potassi (K) (s.m.s.)	2,40 %	Òptim
Calci (Ca) (s.m.s.)	0,80 %	Òptim
Magnesi (Mg) (s.m.s.)	0,28 %	Normal
Sodi (Na) (s.m.s.)	200 ppm	Normal
Zinc (Zn) (s.m.s.)	12 ppm	Baix
Coure (Cu) (s.m.s.)	7 ppm	Òptim
Ferro (Fe) (s.m.s.)	235 ppm	Òptim
Manganès (Mn) (s.m.s.)	58 ppm	Òptim
Bor (B) (s.m.s.)	68 ppm	Òptim

Es demana fer la diagnosi de situació i el pla de fertilització.

Solució

Es tracta d'un sòl bàsic, no salí, calcari. En cultius extensius no hi ha risc de clorosi fèrrica atesa la capacitat del sistema radicular per absorbir aquest nutrient.

Aquests sòls són molt productius i molt aptes per a la majoria de cultius, l'origen al·luvial i la granulometria permet un molt bon drenatge, amb una estructura associada a la granulometria que garanteix una bona fertilitat del sòl.

La matèria orgànica és mitjana, però es considera suficient. En aquests tipus de sòls no és absolutament necessari buscar nivells més alts, no obstant això, pot ser recomanable la incorporació de les restes de cultiu per estalviar en fertilitzants potàssics i anar millorant lentament la capacitat d'intercanvi catiònic del sòl.

La fertilització nitrogenada es calcula en base a les extraccions del cultiu. En la taula 3.1.1 s'apunten unes extraccions mitjanes de 20 kgN/t, que fan un total de 320 UF. El nitrogen disponible s'estima segons l'apartat 3.1 en $14 \text{ ppm} \times 4 = 56 \text{ kgN/ha}$. La diferència entre les extraccions i el nitrogen disponible és de 264 UF. Es poden aplicar 50 % abans de sembrar juntament amb l'adobat de fons i 50 % en cobertura del cultiu (6 fulles desenvolupades).

A nivell de nutrients en el sòl ens troben davant d'una situació de no resposta a l'aplicació de fertilitzants P-K. No obstant això, es decideix aportar les extraccions del cultiu amb l'objectiu de mantenir l'alta fertilitat del sòl. Com es decideix incorporar les restes de cultiu, les extraccions són de 5 i 6 kg/t (taula 3.1.1). Aproximadament tenim unes extraccions de 80 i 96 UF de fòsfor i potassi, respectivament.

L'aplicació de fons es pot realitzar amb un adob tipus conjuntament amb la primera aportació de nitrogen a sortida d'hivern. L'aportació d'un complex tipus 20-12-15 a raó de 650 kg/ha suposa una aportació de 130 unitats de nitrogen, 80 de fòsfor i 100 de potassi. La resta de nitrogen es pot aplicar amb un nitrat amònic (26 %) a raó de 500 kg/ha, a l'estadi V6 (6 fulles desenvolupades).

Pel que fa a l'anàlisi foliar, cal considerar l'opció de realitzar una aportació foliar de zinc. De totes maneres, és coneguda la interacció Zn/P. Un excés de P al sòl provoca una menor absorció de Zn. Un menor contingut de P al sòl afavorirà l'absorció de Zn.

Exemple número 16. Fertilització de la ceba

S'ha de definir un programa de fertilització per una plantada de ceba a Viladecans (Baix Llobregat). La finca s'ubica pròxima a la Riera de Sant Climent. Els sòls es desenvolupen sobre ventalls del Delta del Llobregat. Els sòls són molt profunds, de textura francollimosa, sense elements grossos. El sistema de reg és d'inundació per solcs.

El rendiment objectiu és de 45 t/ha.

Es disposa d'una anàlisi de sòls abans d'iniciar la fertilització i tasques de preparació del sòl (sortida d'hivern).

Anàlisi de sòls

Determinació	Resultat	Interpretació
pH (1:2,5)	7,9	Bàsic
Conductivitat elèctrica (prova prèvia)	1,2 dS/m	Lleugerament alta
Matèria orgànica	2,3 %	Mitjà
Carbonat càlcic equivalent	22 %	Calcari
Nitrogen nítric	9 ppm	Mitjà
Fòsfor mètode Olsen	42 ppm	Alt
Potassi extraïble amb acetat amònic	320 ppm	Alt
Magnesi extraïble amb acetat amònic	455 ppm	Alt
Calci extraïble amb acetat amònic	4.435 ppm	Alt
Sodi extraïble amb acetat amònic	145 ppm	Lleugerament salí

Es demana fer la diagnosi de situació i el pla de fertilització.



Imatge 50. Vista del camp de cebes encoixinat.

Solució

Es tracta d'un sòl bàsic, lleugerament salí i calcari. Aquests sòls són molt productius i molt aptes per l'horticultura. Tot i no tenir molt bon drenatge, els sòls són molt fàcils de treballar, presenten poca resistència mecànica i faciliten el desenvolupament radicular en espècies que no arrelen a molta profunditat.

La salinitat prové de l'aigua de reg. Tant l'aigua de pou com la procedent del riu Llobregat presenta conductivitats que van d'1,5 a 3 dS/m amb continguts alts de sals tipus clorurs i sulfats sòdics, potàssics i magnèsics (de mitjana, el contingut en sodi és d'uns 10 ppm, el de potassi d'uns 40 ppm i el de magnesi d'uns 100 ppm).

La rotació de cultius en aquest tipus d'agricultura és fonamental per mantenir un baix índex de plagues i malalties. També s'aconsella l'adobat en verd com una de les eines de millora de la fertilitat dels sòls. L'aportació de fems de forma anual o bianual també ajuda a mantenir un bon nivell de fertilitat del sòl.

A nivell de fertilització, tenim uns nivells de fòsfor i potassi força adequats, a més, l'aportació de fems cada un o dos anys garanteixen el nivell de fòsfor a llarg termini. Pel que fa al potassi, l'alt contingut és degut a les aportacions de l'aigua de reg, motiu pel qual es descarta la fertilització potàssica.

La fertilització nitrogenada es calcula en base a les extraccions del cultiu. En la taula 3.1.4 s'apunten unes extraccions mitjanes d'1,83 kgN/t, que fan un total de 80 UF. El nitrogen disponible s'estima segons l'apartat 3.1 en $9 \text{ ppm} \times 4 = 36 \text{ kgN/ha}$. La diferència entre les extraccions i el nitrogen disponible és de 45 UF. Es poden aplicar 50 % abans de sembrar juntament amb l'adobat de fons i 50 % en cobertura del cultiu. Per regla general, es recomana utilitzar el sulfat amònic com a font de sofre, encara que en aquest cas i donat l'alt nivell de sulfats de l'aigua de reg no és necessari.

