



**Govern
de les Illes Balears**

Institut de Recerca
i Formació Agrària i Pesquera



Universitat
de les Illes Balears

Títol: Caracterització fisicoquímica de terres agrícoles de les Illes Balears

NOM AUTOR: JOAN MARCH MASCARÓ

Memòria del Treball de Fi de Màster

Màster Universitari Biologia de les Plantes en Condicions Mediterrànies
(Especialitat/Itinerari Avanços en agronomia)
de la

UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Curs Acadèmic 2015-2016

Data: juliol 2016

Nom Tutor del Treball: Dr. Jaume Vadell Adrover

Nom Cotutor: Dr. Josep Cifre Llompart



**Govern
de les Illes Balears**

Institut de Recerca
i Formació Agrària i Pesquera



Universitat
de les Illes Balears

Títol: Caracterització fisicoquímica de terres agrícoles de les Illes Balears

NOM AUTOR: JOAN MARCH MASCARÓ

Memòria del Treball de Fi de Màster

Màster Universitari Biologia de les Plantes en Condicions Mediterrànies
(Especialitat/Itinerari Avanços en agronomia)
de la

UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Curs Acadèmic 2015-2016

Data: juliol 2016

Nom Tutor del Treball: Dr. Jaume Vadell Adrover

Nom Cotutor: Dr. Josep Cifre Llompart

ÍNDIX DE CONTINGUTS

Abreviatures.....	9
Resum	11
1. Introducció.....	13
1.1. Consideracions generals	13
1.1.1. Concepte de sòl	13
1.1.2. Els constituents del sòl	17
1.1.3. Les propietats físiques del sòl.....	18
1.1.4. Les propietats químiques del sòl	20
1.2. El mostreig del sòl.....	23
1.2.1. Metodologia del mostreig	23
1.3. Aprofitaments i usos de la terra a les Illes Balears	31
1.3.1. Aprofitament agrícola de terres	32
1.3.2. Producció agrícola de les Illes Balears	33
2. Objectius	35
3. Materials i mètodes	37
3.1. Recollida de dades	37
3.1.1. Mostres de partida	37
3.1.2. Selecció de les mostres.....	37
3.2. Metodologia per a la realització de les anàlisis.....	38
3.2.1. Tractament de les mostres	38
3.2.2. Anàlisi físicoquímica del sòl.....	38
3.3. Criteris d'interpretació dels resultats.....	52
3.3.1. Grups texturals	52
3.3.2. Interpretació resultats pH.....	52
3.3.3. Interpretació de la conductivitat elèctrica	53
3.3.4. Interpretació del continguts de CCE.....	54
3.3.5. Interpretació del contingut de calcària activa.....	55

3.3.6. Interpretació del contingut en matèria orgànica	55
3.3.7. Interpretació del contingut en nitrogen total	56
3.3.8. Interpretació del valor de la relació C/N	57
3.3.9. Interpretació del nivell del fòsfor assimilable	58
3.3.10. Interpretació del nivell de potassi intercanvable	59
3.3.11. Interpretació del nivells de capacitat d'intercanvi catiònic	59
3.4. Anàlisi estadístic	61
3.4.1. Estadística descriptiva	61
3.4.2. Estudi de distribució de poblacions	61
3.4.3. Estudi dels valors discordants: diagrames de caixa.....	62
3.4.4. Proves de significació.....	63
3.4.5. Matriu de correlació	64
3.4.6. Anàlisi factorial	64
4. Resultats i discussió	67
4.1. Nombre de mostres analitzades.....	67
4.1.1. Distribució per cultiu de les mostres de sòl analitzades	69
4.1.2. Distribució per cultiu de les mostres d'aigua analitzades	70
4.1.3. Distribució per cultiu de les mostres foliars analitzades.....	71
4.2. Selecció de mostres	72
4.2.1. Selecció de mostres de la capa llaurable superficial	73
4.2.2. Selecció de mostres de la capa profunda	73
4.3. Propietats i característiques fisicoquímiques de la capa llaurable superficial....	75
4.3.1. Característiques i propietats físiques de la capa llaurable superficial	75
4.3.2. Característiques químiques de la capa llaurable superficial	79
4.3.3. Relacions estadístiques entre les diferents propietats i caracterís tiques edàfiques de la capa llaurable superficial	101
4.3.4. Anàlisis factorial de les diferents propietats i caracterís tiques edàfiques de la capa llaurable superficial	104
4.4. Propietats i característiques fisicoquímiques de la capa profunda.....	107

4.4.1. Característiques i propietats físiques de la capa profunda	107
4.4.2. Característiques químiques de la capa profunda	111
4.4.3. Relacions estadístiques entre les diferents propietats i característiques edàfiques de la capa profunda	128
4.4.4. Anàlisi factorial de les diferents propietats i característiques edàfiques de la capa profunda	131
4.5. Estudi de les característiques edàfiques en funció de la profunditat	133
5. Conclusions	137
6. Bibliografia	141

ÍNDIX TAULES

Taula 1.1. Composició mitjana aproximada en volum i pes d'un sòl superficial franc en bones condicions per al desenvolupament vegetal.....	17
Taula 1.2. Classificació de les partícules minerals del sòl segons la seva grandària.....	17
Taula 1.3. Profunditat de mostreig segon tipus de cultiu	28
Taula 1.4. Determinacions analítiques més típiques utilitzades en l'avaluació de la fertilitat dels sòls agrícoles	30
Taula 1.5. Distribució general de terres a les Illes Balears	31
Taula 1.6. Superfície agrícola per illes.....	32
Taula 1.7. Producció agrícola per illes.....	33
Taula 1.8. Produccions agrícoles de les Illes Balears per tipus de cultiu.....	34
Taula 3.1. Valors de θ per a la determinació del diàmetre de les partícules en funció de les lectures observades en el densímetre.....	40
Taula 3.2. Valors del factor de correcció f del diàmetre de les partícules per a temperatures diferents a 30°C.	40
Taula 3.3. Grups bàsics segons les distintes classes texturals	52
Taula 3.4. Caràcter del sòl segons la mesura del pH de la solució del sòl.....	53
Taula 3.5. Intervals d'interpretació de la $CE_{e1,5}$ a partir dels resultats de la prova prèvia.	53
Taula 3.6. Relació entre la conductivitat elèctrica i el comportament del sòl.....	53
Taula 3.7. Interpretació del nivell de la CE_e	54
Taula 3.8. Interpretació del contingut en CCE segons intervals.....	54
Taula 3.9. Intervals d'interpretació del contingut en calcària activa.....	55
Taula 3.10. Interpretació dels nivells de matèria orgànica total en sòls agrícoles de l'àmbit mediterrani.....	56
Taula 3.11. Intervals d'interpretació del contingut de matèria orgànica total en funció del grup textural.....	56
Taula 3.12. Interpretació del contingut de nitrogen total.....	57
Taula 3.13. Interpretació dels valors d'alliberació de N estimada a partir de la relació C/N	58
Taula 3.14. Intervals d'interpretació de fòsfor en el sòl segons textura.....	58
Taula 3.15. Intervals d'interpretació del nivell de potassi al sòl extret amb acetat amònic, en funció de la textura	59
Taula 3.16. Nivells de capacitat d'intercanvi catiònic	60

Taula 3.17. Nivells de capacitat d'intercanvi catiònic segons classificació textural del sòl.....	60
Taula 4.1. Distribució de les anàlisis per illa de procedència.....	69
Taula 4.2. Municipis amb major nombre d'entrades per mostres de terra.	70
Taula 4.3. Nombre de mostres eliminades per motiu d'exclusió.....	72
Taula 4.4. Estadístics de les característiques físiques de la capa llaurable superficial	75
Taula 4.5. Valor Z i nivell de significació (p) del test de Kolmogorov-Smirnov, asimetria i curtosi de les característiques físiques de la capa llaurable superficial	76
Taula 4.6. Estadístics de les característiques químiques de la capa llaurable superficial.....	80
Taula 4.7. Valor Z i nivell de significació (p) del test de Kolmogorov-Smirnov, asimetria i curtosi de les característiques químiques de la capa llaurable superficial.....	81
Taula 4.8. Matriu de correlacions bivariades entre propietats i les característiques edàfiques de la capa llaurable superficial.....	103
Taula 4.9. Matriu de components rotats amb el mètode de rotació <i>varimax</i> amb normalització Kàiser per a les dades de la capa llaurable superficial.	104
Taula 4.10. Estadístics de les característiques físiques de la capa profunda.....	107
Taula 4.11. Valor de l'estadístic i nivell de significació (p) del test de Shapiro-Wilk, asimetria i curtosi de les característiques físiques de la capa profunda	108
Taula 4.12. Valor Z i nivell de significació (p) del test de Kolmogorov-Smirnov, asimetria i curtosi de les característiques químiques de la capa profunda	112
Taula 4.13. Estadístics de les característiques químiques de la capa profunda	112
Taula 4.14. Matriu de correlacions bivariades entre propietats i característiques edàfiques de la capa profunda	130
Taula 4.15. Matriu de components rotats amb el mètode de rotació <i>varimax</i> amb normalització Kàiser per a les dades de la capa profunda.....	131
Taula 4.16. Estadístics de les característiques físiques de la capa superficial i profunda.....	133
Taula 4.17. Diferències estadístiques per les característiques físiques avaluades entre les dues capes.....	134
Taula 4.18. Estadístics de les característiques químiques de la capa superficial i profunda....	134
Taula 4.19. Diferències estadístiques per les característiques químiques avaluades entre les dues capes.....	135

ÍNDEX FIGURES

Figura 1.1. Evolució del procés de formació d'un sòl.....	15
Figura 1.2. Triangle de classificació de sòl segons textura d'acord amb USDA.....	18
Figura 1.3. Tipus de porositat.....	20
Figura 1.4. Disponibilitat de nutrients en funció del pH del sòl	21
Figura 1.5. Detall d'una barrina per a la presa de mostres de sòl.	25
Figura 1.6. Detall de realització del mostreig amb una barrina.	26
Figura 1.7. Detalls de realització del mostreig amb una pala.	26
Figura 1.8. Mostreig simple a l'atzar.	27
Figura 1.9. Diferents tècniques de mostreig sistemàtic.	27
Figura 1.10. Distribució de la superfície agrícola en producció per tipus de cultiu a les Illes Balears.....	33
Figura 3.1. Model de pH-metre GLP 21.	41
Figura 3.2. Model de conductímetre Crison 524.	42
Figura 3.3. Destil·lador automàtic Gerhardt model Vapodest 45.	46
Figura 3.4. Espectrofotòmetre Milton Roy model Spectronic 1201	47
Figura 3.5. Espectrofotòmetre d'absorció atòmica	49
Figura 3.6. Identificació de tots els elements en un diagrama de caixa.....	63
Figura 4.1. Distribució percentual de les mostres analitzades per tipus d'anàlisi (2005-2015)..	67
Figura 4.2. Evolució del nombre de mostres analitzades anualment (2005-2015).	68
Figura 4.3. Distribució de les mostres analitzades per tipus de cultiu (2005-2015).....	69
Figura 4.4. Distribució de les mostres de terra analitzades per tipus de cultiu (2005-2015).	70
Figura 4.5. Distribució percentual de les mostres d'aigua analitzades per tipus de cultiu (2005-2015).....	71
Figura 4.6. Distribució de les mostres foliars analitzades per tipus de cultiu (2005-2015).....	72
Figura 4.7. Distribució de la selecció de les anàlisis de la capa llaurable superficial per tipus de cultiu (2005-2015).	73
Figura 4.8. Distribució de la selecció de les anàlisis de la capa profunda del sòl per tipus de cultiu (2005-2015).	74
Figura 4.9. Histogrames per les característiques físiques de la capa llaurable superficial.....	76
Figura 4.10. Diagrames de caixa pels continguts d'arenes, llims i argiles de la capa llaurable superficial.....	78

Figura 4.11. Distribució de les mostres de la capa superficial per tipus de textura.....	79
Figura 4.12. Histogrames per les característiques químiques de la capa llaurable superficial...	81
Figura 4.13. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons la mesura del pH de la solució del sòl	85
Figura 4.14. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons la mesura de la $CE_{ea_{1:5}}$	86
Figura 4.15. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons la relació entre la $CE_{ea_{1:5}}$ i el comportament del sòl.....	87
Figura 4.16. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons la mesura de la CE_{es} amb valor de $CE_{ea_{1:5}} > 0,25 \text{ dS m}^{-1}$	90
Figura 4.17. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el contingut en CCE.....	89
Figura 4.18. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el contingut en calcària activa.	90
Figura 4.19. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el nivells de MOT	91
Figura 4.20. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el nivells de MOT en funció de la textura.....	92
Figura 4.21. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el nivells de N total	93
Figura 4.22. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons els valors d'alliberació de N estimada a partir de la relació C/N.....	94
Figura 4.23. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons contingut P assimilable en funció de la textura.....	95
Figura 4.24. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons contingut K intercanviable en funció de la textura.....	96
Figura 4.25. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el valor de la CIC.....	97
Figura 4.26. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el valor de la CIC en funció de la textura.....	97
Figura 4.27. Diagrames de caixa per les característiques químiques de la capa llaurable superficial.....	99
Figura 4.28. Representació gràfica dels components principals identificats.....	106
Figura 4.29. Histogrames per les característiques físiques de la capa profunda	108

Figura 4.30. Diagrames de caixa pels continguts d'arenes, llims i argiles de la capa profunda.	110
Figura 4.31. Distribució de les mostres de la capa profunda per tipus de textura.....	111
Figura 4.32. Histogrames per les característiques químiques de la capa profunda.....	113
Figura 4.33. Classificació de les mostres de la capa profunda segons la mesura del pH de la solució del sòl	116
Figura 4.34. Classificació de les mostres de la capa profunda segons la relació entre la $CE_{ea_{1,5}}$ i el comportament del sòl.....	117
Figura 4.35. Classificació de les mostres de la capa profunda segons contingut en CCE	118
Figura 4.36. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut en calcària activa.....	119
Figura 4.37. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut en MOT ...	120
Figura 4.38. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut de MOT en funció de la textura	120
Figura 4.39. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el nivells de N total.....	121
Figura 4.40. Classificació de les mostres de la capa profunda segons els valors d'alliberació de N estimada a partir de la relació C/N	122
Figura 4.41. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut de P assimilable en funció de la textura.....	123
Figura 4.42. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut de K intercanviable en funció de la textura.....	124
Figura 4.43. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el valor de la CIC.....	125
Figura 4.44. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el valor de la CIC en funció de la textura.....	126
Figura 4.45. Diagrames de caixa per les característiques químiques de la capa profunda..	126
Figura 4.46. Representació gràfica dels components principals identificats per a la capa profunda.....	132

ABREVIATURES

ACP	Anàlisi de components principals
Ar	Arenes
Arg	Argiles
C	Carboni
Ca	Calci
Cal activa	Calcària activa
CAMAT	Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient i Territori
CCE	Carbonat càlcic equivalent
CE	Conductivitat elèctrica
CEea _{1:5}	Conductivitat elèctrica en l'extracte aquós 1:5
CEes	Conductivitat elèctrica en l'extracte de saturació
CIC	Capacitat d'intercanvi catiònic
Cl	Clor
CMAAP	Conselleria de Medi Ambient, Agricultura i Pesca
Cu	Coure
DER	Desviació estàndard relativa
DE	Desviació estàndard
FAO	Food and Agriculture Organizations of the United Nations; Organització de les Nacions Unides per a l'Alimentació i l'Agricultura
Fe	Ferro
IRFAP	Institut de Recerca i Formació Agrària i Pesquera
K	Potassi
Li	Llims
Mg	Magnesi
Mn	Manganès
MOT	Matèria orgànica total
N	Nitrogen
Na	Sodi
P	Fòsfor
PPCC	Països Catalans

p25	Percentil 25
p75	Percentil 75
p90	Percentil 90
p95	Percentil 95
p98	Percentil 98
SEMILLA	Serveis de Millora Agrària
SAU	Superfície agrària útil
Sup	Superfície
USDA	United States Department of Agriculture; Departament d'Agricultura d'Estats Units
MAPA	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
COO	Carbonat orgànic oxidable
MOO	Matèria orgànica oxidable
n	Grandària mostral
r	Coeficient de correlació
R ²	Coeficient de determinació
Zn	Zinc

RESUM

El coneixement de les propietats i les característiques fisicoquímiques que defineixen la fertilitat d'un sòl és una eina bàsica per assolir una activitat agrícola més eficient i respectuosa amb el medi ambient, assegurant una capacitat productiva sostenible. Amb aquesta premissa es planteja l'objectiu principal d'aquest treball, el qual és contribuir al coneixement de les terres agrícoles de les Illes Balears per a millorar la seva gestió, ajudant a generar una activitat agrícola més respectuosa amb el medi ambient. Per això es marquen quatre objectius específics; el primer d'aquests és realitzar l'estudi de les característiques físiques i químiques de les dues capes avaluades (capa llaurable superficial i capa profunda). Una vegada realitzada aquesta caracterització, es realitza una interpretació de les dades obtingudes per als diferents paràmetres estudiats. Amb aquest segon objectiu es pretén avaluar la fertilitat de les terres agrícoles analitzades. En el tercer objectiu s'estudien les relacions existents entre les diferents propietats i característiques fisicoquímiques. Per últim, en el quart objectiu es realitza un estudi de les característiques físiques i químiques en funció de la profunditat.

L'estudi s'ha realitzat a partir de les analítiques de la base de dades de servei d'anàlisis de l'Institut de Recerca i Formació Agrària i Pesquera (IRFAP), la qual inclou el conjunt d'analítiques realitzades pels pagesos durant el període 2005-2015. S'han inclòs 1076 mostres, de les quals 1028 (0-30 cm) corresponen a la capa llaurable superficial i 48 a la capa profunda (30-80 cm). De l'anàlisi de les dades es desprèn que el tipus de textura franca argilosa és la més freqüent, representant un 78% del total de mostres avaluades. Les terres avaluades presenten un marcat caràcter bàsic degut a l'elevat contingut en carbonat càlcic, tenint en compte que el 75,9% de les mostres presenten valors superiors al 16% de CCE. La concentració de sals no suposa una problemàtica, donat que 96,1% obtenen valors de $CE_{e1:5}$ inferiors a $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, i el valor màxim obtingut és de $0,97 \text{ dS m}^{-1}$. El contingut medià de matèria orgànica total és del 2,82%, obtenint valors de contingut mitjans (entre 1,8% i 2,5%) i alts (valors $>3,1\%$) el 60,6% de les mostres analitzades. La concentració de N i K obté elevats registres en el 88,6% i

el 81,7% de les mostres, respectivament. En canvi, el contingut de fòsfor assimilable és adequat en només la meitat de mostres estudiades. El valor mitjà de la CIC és de 19,1 meq 100g^{-1} , obtenint un índex de fertilitat satisfactori el 94,0% de les terres analitzades. Dins el conjunt de relacions entre les diferents característiques fisicoquímiques observades, destaca la relació de la CIC amb el contingut d'argiles i MOT, i també la que relaciona el contingut en MOT amb els tres macroelements avaluats (N, P i K).

Globalment, les terres agrícoles incloses en aquest estudi mostren un nivell de fertilitat bo o acceptable a la majoria dels casos, essent un minoria les terres amb un nivell de fertilitat defectuós.

1. INTRODUCCIÓ

1.1. CONSIDERACIONS GENERALS

1.1.1. Concepte de sòl

El sòl és la formació natural de la superfície terrestre, d'estructura esponjosa i espessor variable, que resulta de la transformació de la roca mare subjacent per la influència de diversos processos físics, químics i biològics (Demolon, 1965).

Des del punt de vista agronòmic, el sòl és la part treballada pel pagès, es a dir, la terra llaurable. Aquest és un recurs natural extremadament complex i heterogeni amb intensa activitat pròpia, on es desenvolupa el sistema radicular de les plantes (Reche, 2008). També es pot definir com la part de la superfície terrestre amb contacte amb l'atmosfera que té una sèrie de propietats físiques, químiques i biològiques que permeten que actuï com a suport físic i d'alimentació (aigua i nutrients) de les plantes conreades, a més de tenir altres funcions, com ara, el reciclatge de nutrients (Bosch *et al.*, 2009). Per Guigou (1985), el sòl agrícola és la conseqüència de la modificació dels sòls verges o naturals per l'acció de l'home en el seu afany per obtenir collites.

La funció principal d'un sòl des del punt de vista agrícola és suportar la vegetació, i en ell ha d'oferir les condicions necessàries per al desenvolupament de les plantes (Navarro, 2003).

Un bon sòl agrícola ha de reunir les següents condicions (Campos, 1981):

- Profunditat: ha de tenir suficient profunditat per un bon desenvolupament del sistema radicular, i també ha de permetre que aquest pugui explorar-lo per satisfer les seves necessitats nutritives.

- Estabilitat: és una condició per a permetre el suport i el bon desenvolupament de les plantes. L'estabilitat també es refereix al volum del sòl, donat que les variacions excessives d'aquest poden afectar a les arrels.

- Flonjor: ha de permetre la penetració de les arrels.

El desenvolupament de les plantes depèn de la capacitat del sòl per subministrar aigua, aireació i elements nutritius. Aquestes qualitats són necessàries per un correcte creixement dels cultius per a complir les següents funcions (Campos, 1981):

- Depòsit d'aliments: ha de poder subministrar tots els nutrients necessaris per al correcte desenvolupament de les plantes.

- Provisió d'aigua i aire: el sòl ha de tenir la capacitat de retenir l'aigua necessària per a la planta, i alhora ha de ser permeable i porós per permetre la respiració del sistema radicular.

- Habitat de microorganismes: aquesta microfauna és imprescindible perquè es puguin realitzar amb eficàcia les transformacions químiques que proporcionen aliment als vegetals.

1.1.2. Factors que intervenen en la formació del sòl

Els factors que intervenen en la formació del sòl són: el clima, el material originari, la posició en el paisatge, el temps, les accions d'elements naturals i accions humanes.

1.1.2.1 El clima

És un dels factors que tenen més influència en la formació dels sòls, ja que és el responsable de la intensitat dels fluxos d'aigua que circulen pel perfil i la temperatura del sòl. Condiciona el tipus i la velocitat d'alteració dels minerals, la descomposició de la matèria orgànica i les migracions de matèria en el pedions; juga també un paper indirecte sobre el desenvolupament del sòl, determinant el tipus de vegetació i fauna que viu en el sòl (Porta *et al.*, 1987).

Donat que els processos edàfics són molts lents, en cert casos, el sòl no depèn únicament del clima actual, sinó també d'etapes climàtiques anteriors, diferents de les actuals.

1.1.2.2. El material originari

És el material geològic, consolidat o no, a partir del qual es desenvolupa el sòl, mitjançant una sèrie de processos formadors (Bosch *et al.*, 2009).

La influència del material originari és gran quan el sòl és jove, i va disminuint a mesura que actuen el processos formadors.

La major part de les Illes Balears estan constituïdes per materials sedimentaris carbonatats, influint de manera notòria sobre el tipus de sòls.

1.1.2.3. La geomorfologia

Depenent de la posició geomorfològica que ocupa un sòl en el paisatge, aquest pot tenir guanyos o pèrdues de materials per erosió-deposició, aportacions de nutrients entre altres. Al mateix temps pot tenir més o menys estabilitat perquè actuïn el processos formadors i es desenvolupi el sòl.

En general, el pendent és un factor contrari al desenvolupament del sòl, donat que afavoreix el transport de material.

El sòl és un sistema dinàmic obert, el qual pot tenir entrades i sortides d'energia i materials. En aquests fluxos hi juga un paper molt important la geomorfologia, fet que provoca un control d'aquesta sobre la gènesi, el comportament i la utilització del sòl.

1.1.2.4. El temps

El sòl és fruit de diferents processos que s'originen en ell, tenint cadascun una velocitat diferent. Per aquest motiu, les propietats del sòl, són el resultat de l'actuació dels distints processos, manifestant-se també d'una forma desigual en el temps (Figura 1.1).

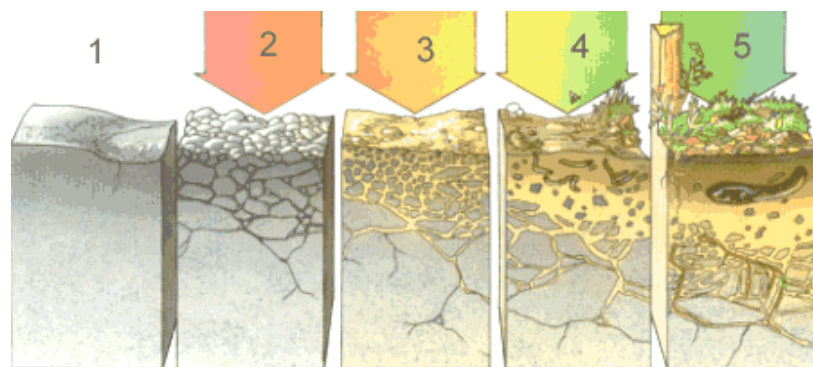


Figura 1.1. Evolució del procés de formació d'un sòl. 1- Roca mare; 2-Acció mecànica; 3- Acció química, 4-Acció dels éssers vius; 5- Acció conjunta de totes les matèries orgàniques i inorgàniques.

1.1.2.5. *L'activitat biològica*

L'activitat biològica que influeix en la formació del sòl es deu a l'acció de la vegetació, la microflora, la fauna i l'home. Els organismes intervenen aportant matèria orgànica, descomponent-la i participant en la formació d'humus. També poden tenir un paper important en la mescla dels materials, sobre les propietats físiques i en la disponibilitat de subministrament de nutrients.

- Acció de la vegetació: la matèria orgànica, composta principalment per restes vegetals, és un component constituent bàsic (és el constituent majoritari). Aquesta, amb el temps i per l'acció dels microorganismes, es transforma en humus, tenint un paper clau en la fertilitat dels sòls. Les arrels de la plantes també tenen una acció química i mecànica, contribuint en l'evolució del sòl.

- Acció de la fauna: té un paper destacat en la fertilitat del sòl i en la seva formació i estructuració. Els cucs de terra, insectes i microorganismes juguen un paper clau en la transformació i descomposició de la matèria orgànica. Pel que fa als animals en pastura, d'una banda aporten matèria orgànica i, per una altra, produeixen una compactació del terreny quan es desplacen.

- Acció humana: amb la implantació de l'agricultura es perd diversitat en el nombre d'espècies vegetals, i a més, per tal d'incrementar la productivitat s'hi afegeix aigua, nutrients (elements minerals) i fitosanitaris. Aquest inputs poden tenir un efecte negatiu sobre el manteniment correcte del sòl. A continuació es posen un quants exemples de degradació per una gestió incorrecta del sòl:

- Erosió: desplaçament del material que forma el sòl.
- Salinització: per acumulació de sals al sòl.
- Asfíxia per manca d'oxigen en l'atmosfera del sòl: manca de drenatge, regs excessius, compactació.
- Excés d'aportació de nutrients.

1.1.2. Els constituents del sòl

El sòl és un sistema complex compost per partícules minerals i orgàniques, aigua i sals dissoltes i aire (Reche, 2008). Segons el seu origen geològic i l'acció dels diferents processos sobre la roca mare, les característiques físico-químiques i orgàniques seran diferents.

La fase sòlida del sòl formada per una part mineral i una orgànica, assoleix als voltants del 50%. La resta correspon a l'aigua i a l'aire en proporcions semblants (Taula 1.1).

Taula 1.1. Composició mitjana aproximada en volum i pes d'un sòl superficial franc en bones condicions per al desenvolupament vegetal (Navarro, 2003).

Component	% Volum	% Pes
Fracció mineral	45	81
Matèria orgànica	5	2
Aigua	25	17
Aire	25	-

La fracció mineral prové directament de la fragmentació-desintegració progressiva del material originari durant el procés de formació del sòl. Aquesta fracció es pot classificar segons la composició minerals i també segons la seva grandària (Taula 1.2). La fracció mineral es divideix en terra fina, que correspon a les partícules de grandària inferior a 2 mm (arenas, llims i argiles) i elements grossos, que pertocquen a les partícules de grandària superior a 2 mm (pedres i graves).

Taula 1.2. Classificació de les partícules minerals del sòl segons la seva grandària.

	Sistema Internacional (I)	Sistema USDA (II)
Blocs	> 200 mm	> 250 mm
Pedres	200 a 20 mm	75 a 250 mm
Graves	2 a 20 mm	2 a 75 mm
Arena gruixada	0,2 a 2 mm	0,25 a 2 mm
Arena fina	0,2 a 0,02 mm	0,25 a 0,05 mm
Llim	0,02 a 0,002 mm	0,05 a 0,002 mm
Argila	< 0,002 mm	< 0,002 mm

(I). Sistema Internacional adaptat per la Societat Internacional de la Ciència del Sòl.

(II). USDA Departament d'Agricultura dels Estats Units d'Amèrica.

Encara que la fracció orgànica sols constitueix una petita part de la fracció sòlida, desenvolupa un paper clau en la millora de les propietats físiques i químiques del sòl, i conseqüentment en el desenvolupament dels cultius. Aquesta prové de residus de plantes, d'animals, microorganismes, i de vegades de l'aplicació de residus de diferents origen (fems, compost de residus vegetals, etc.).

El 50% del volum del sòl correspon als porus, els quals estan ocupats per l'aire i l'aigua amb sals dissoltes.

1.1.3. Les propietats físiques del sòl

1.1.3.1. Textura

La textura d'un sòl està determinada per la proporció en pes de les fraccions d'arena, llim i argila que es trobi en ell, expressat com a percentatge de la fracció mineral (Juárez *et al.*, 2006). Segons la distribució d'aquestes tres fraccions es determina quin tipus de textura té el sòl. Per estandarditzar les denominacions s'utilitza un diagrama de textures (Figura 1.2), essent el sistema USDA l'utilitzat en aquest treball.

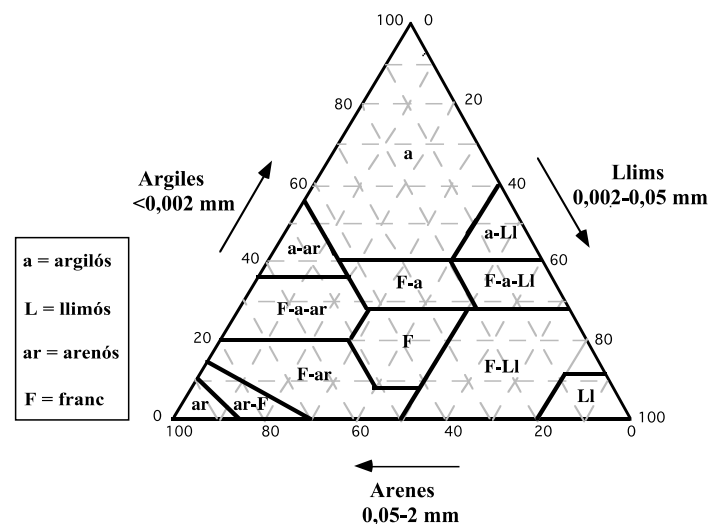


Figura 1.2. Triangle de classificació de sòl segons textura d'acord amb USDA.

La textura condiona les propietats edàfiques d'un sòl, tenint gran influència en la porositat (aireació) i en la capacitat de retenció d'aigua i de nutrients.

La textura d'un sòl és la característica més permanent (una característica poc variable en el temps), en contrast amb altres característiques físiques com per exemple l'estructura, la qual es pot modificar mitjançant el maneig del sòl (De la Horra *et al.*, 2008). Per aquest motiu, aquesta determinació no cal que es repeteixi.

1.1.3.2. L'estructura

L'estructura del sòl és el resultat de les interaccions fisicoquímiques existents entre les diferents partícules orgàniques i inorgàniques, donant lloc a unitats de major grandària anomenades agregats. Aquestes es poden agrupar formant elements estructurals més grans. Els sòls ben agregats presenten les condicions físiques òptimes per a la penetració de les arrels, drenatge lliure i una moderada retenció d'aigua. Aquestes característiques confereixen al sòl l'existència d'un règim favorable aigua-aire per al creixement de les plantes i l'activitat microbiana (Bosch *et al.*, 2009).

Els sòls arenosos i els argilosos són sòls que tenen una estructura desfavorable per al bon desenvolupament dels conreus, en el primer cas per tenir totes les partícules soltes (sense formar agregats), i en el segon per tenir totes les seves partícules fortament unides, fet que dificulta la circulació de l'aigua i de l'aire (Reche, 2008).

1.1.3.3. La porositat

La porositat d'un sòl és el percentatge de sòl, en volum, que està ocupat per aire i aigua, variable entre el 40 - 60%. La porositat està molt determinada per l'estructura i la textura del sòl, i indirectament per l'activitat biològica i les tècniques de conreu .

Aquesta presenta dos tipus (Figura 1.3):

- Macroporositat: és la que es forma entre els agregats. Els macroporus són els que faciliten l'aireació del sistema radicular, permetent la circulació de l'aigua i l'aire.

- Microporositat: és la que es forma entre les diferents partícules que formen els agregats. Aquesta és la que reté l'aigua i evita la percolació ràpida per gravetat. Quan més fines siguin les partícules del sòl, major dificultat presentarà per a la circulació de l'aire i de l'aigua.

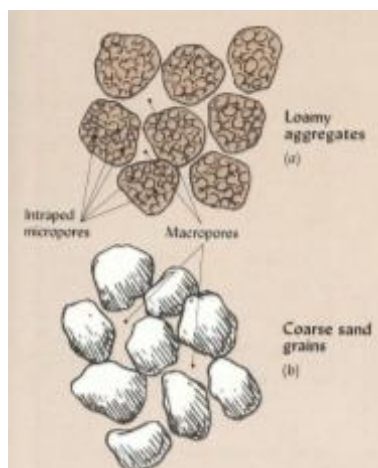


Figura 1.3. Tipus de porositat (Brady *et al.*, 1996).

La quantitat d'aigua disponible per a la planta, i que pot emmagatzemar un sòl, depèn de la porositat. Els sòls que presenten proporcions similar d'aire i d'aigua són els que ofereixen un nivell òptim per al desenvolupament de les arrels, per a l'activitat biològica, faciliten el transport de nutrients cap a les arrels i afavoreixen l'emergència de les plantes quan germinen.

Per al creixement radicular i per a un correcte subministrament d'oxigen a les plantes conreades, el percentatge de la porositat ocupada per l'aire no pot ser inferior a un 10% (Bosch *et al.*, 2009).

1.1.4. Les propietats químiques del sòl

1.1.4.1. pH

La reacció àcido-bàsica d'un sòl depèn de la concentració de cations de hidrogen (H^+) en la solució. En els sòls àcids predominen els cations H^+ , mentre que en els bàsics hi predominen els altres cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ i K^+). El pH d'un sòl ve determinat pel material d'on prové aquest. Els sòls que provenen del granit donen pH àcid, mentre que els que tenen el carbonat càlcic com material originari constituent donen pH bàsics.

El pH dels sòls pot presentar un ampli rang, entre 4 i 10, encara que normalment varia entre 5,5 i 8,5. En els sòls de les Illes Balears aquest interval es redueix entre 7,0 i 8,5.

El valor del pH aporta informació sobre altres propietats del sòl ja que aquest influeix en la solubilitat dels diferents elements minerals. L'acidesa d'un sòl influeix

directament en la disponibilitat i assimilació de nutrients per les plantes (Figura 1.4). El N i el K presenten una elevada solubilitat en tot l'interval de pH, en canvi la disponibilitat del P disminueix a pH inferior a 6,5 i superior a 7,5. Pel que fa al Ca i Mg, presenten un millor nivell d'assimilació amb valors de pH elevats. El Fe, Mn, Cu i Zn, presenten una òptima disponibilitat amb pH inferior a 5, en canvi a mesura que va augmentant el pH aquesta es redueix de forma important. Per aquest motiu és habitual en els sòls calcaris l'aparició de clorosis, majoritàriament per la baixa assimilació de Fe.

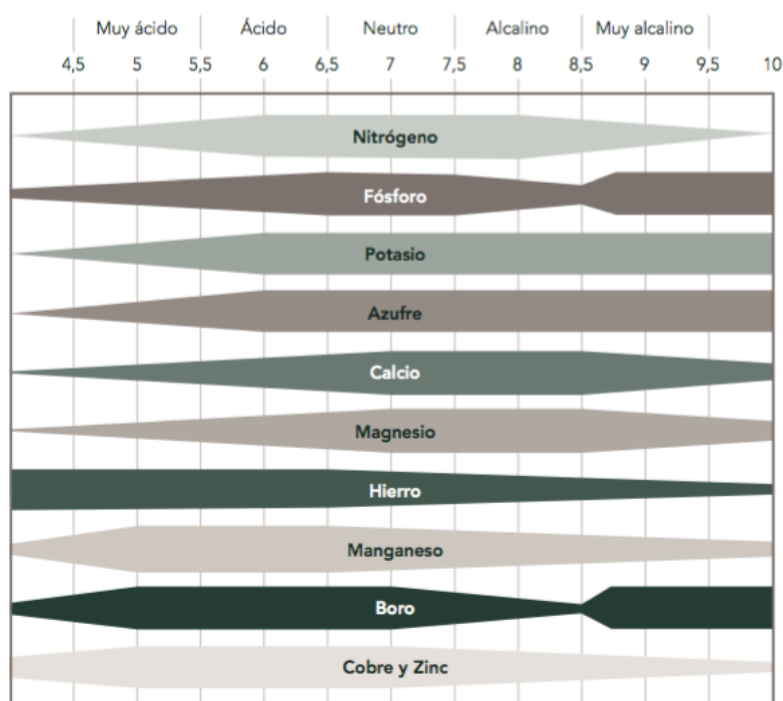


Figura 1.4. Disponibilitat de nutrients en funció del pH del sòl (Truog, 1937).

Les condicions de pH també repercuteixen sobre el creixement de les plantes, donat que té molta influència sobre l'activitat dels microorganismes. Les bacteries i actinomicets presenten una major activitat amb pH intermedis i elevats. En quan a les llombrius, s'ha constatat que una elevada acidesa del sòl inhibeix el seu desenvolupament.

La neutralitat és la condició òptima per el creixement de la majoria de cultius, i a la vegada, per a l'assimilació de gran part dels nutrients, el que no suposa que la reacció

del sòl impossibiliti l'adequat desenvolupament de les collites (De la Horra *et al.*, 2008). El valor òptim de pH per un bon desenvolupament canvia segons les espècies.

A l'hora de interpretar el valor del pH cal diferenciar dos conceptes, un quan ens referim al pH idoni per un cultiu determinat, i l'altre el pH idoni per a que un element nutricional sigui fàcilment assimilable.

1.1.4.2. Conductivitat elèctrica

La mesura de la conductivitat elèctrica és un indicador de la quantitat de sals solubles presents en la solució del sòl (Villar Mir *et al.*, 2008). La salinització dels sòls és un dels problemes més preocupants per l'agricultura, essent aquesta la responsable del seu abandonament en molts de casos (Szabolcsi, 1989). La presència de sals té conseqüències en les propietats físiques del sòl (Richards, 1974; Shainberg, 1975), en la seva toxicitat i en el possible desequilibri nutricional que es pugui produir en les plantes que s'instal·lin en el sòl (Pizarro, 1985; Porta *et al.*, 2003).

La presència de sals en el sòl depèn principalment de factors litològics, geomorfològics, climàtics, hidrològics i antròpics.

Un alt contingut de sals en el sòl pot causar diferents efectes en les plantes i en el sòl:

- Danys a la planta per toxicitat d'ions (Cl, Na).
- Disminució de la disponibilitat d'aigua per les arrels, degut a l'augment de la pressió osmòtica.
- Destrucció de l'estructura del sòl, disminuint la infiltració de l'aigua, fet que provoca que es produeixi un augment de la concentració de sals com a conseqüència de la reducció de l'eficàcia en el rentat de sals.

En referència a la incidència dels adobs en l'acumulació de sals en el sòl, els nitrats i clorurs són els que tenen major influència, en canvi, els adobs fosfatats, són els que presenten un menor índex de salinitat.

1.1.4.3. Matèria orgànica

El contingut en matèria orgànica d'un sòl és un dels paràmetres més importants a l'hora de mantenir unes bones condicions de fertilitat d'aquest, tenint efectes positius tant en les propietats físiques com en les condicions nutricionals.

La matèria orgànica del sòl afecta a la majoria de les propietats químiques, físiques i biològiques del sòl vinculades a la seva qualitat, sostenibilitat i capacitat productiva (Bauer i Black, 1994), per la qual cosa en un maneig sostenible de la matèria orgànica s'ha de mantenir o augmentar. L'acció física es relaciona amb els efectes de la millora de l'estructura del sòl, afavorint la formació d'agregats i millorant l'aireació, la circulació de l'aigua i protegint de l'erosió. També té efectes sobre la temperatura del sòl, tenint en compte que té una conductivitat tèrmica més baixa que la matèria mineral, fet que provoca que es redueixin les oscil·lacions tèrmiques i també al ser de color més obscur que el sòl mineral fa que s'encalenteixi més. Els efectes de tipus químic es manifesten en l'augment de la capacitat d'intercanvi, de reserva de nutrients, especialment de N, i en la millora de la disponibilitat de P i micronutrients (Fe, Mn, Zn i Cu). L'acció biològica inclou una activació de la vida microbiana del sòl, tenint en compte que és font d'energia per als microorganismes del sòl.

1.2. EL MOSTREIG DEL SÒL

El mostreig del sòl és una operació complexa i delicada, que si no és realitza de forma correcta s'obindrà un diagnòstic erroni de la fertilitat del sòl. Per aquest motiu és molt important seguir les pautes establertes per a la realització d'un correcte mostreig. Amb molta freqüència les problemàtiques generades en la interpretació analítica tenen el seu origen en la presa de mostres (Villar Mir *et al.*, 2008).

1.4.1. Metodologia del mostreig

La metodologia utilitzada per a la presa de la mostra dependrà de la funció del objectiu que es persegueix (Danés i Teixidor, 1983).

Els estudis de fertilitat poden ser de dos tipus (Saña *et al.*, 1996):

- 1) Avaluadors: per diagnosticar l'estat d'un sòl o d'un grup de sòls d'una explotació agrícola, avaluar la seva capacitat productiva potencial i definir les mesures per assolir-la (Decroux, 1985).
- 2) Evolutius o de seguiment: pretenen constatar, al cap d'un temps, si les intervencions realitzades sobre les característiques químiques i/o físiques han resultat efectives o inoportunes.

La metodologia del mostreig per a l'estudi de la fertilitat inclou els següents tràmits:

- 1) Delimitació de la zona de mostreig
- 2) Realització del mostreig
- 3) Elecció de l'època de mostreig

1.2.1.1. Delimitació de la zona de mostreig

L'objectiu de la presa de la mostra és obtenir una informació representativa d'una parcel·la. Sovint el sòl d'una parcel·la és heterogeni, ja sigui pel seu origen (profunditat, color, granulometria, etc.) o per la seva història cultural (cultius, maneig, etc). Per aquest motiu és precís dividir la parcel·la a mostrejar en zones de característiques uniformes (Danés i Teixidor, 1983).

En quant a la mida de les parcel·les, és important que les mostres obtingudes donin la informació necessària per obtenir un diagnòstic fiable (Villar Mir *et al.*, 2008). La superfície convé que no excedeixi de les 2 ha, si bé alguns autors recomanen no superar 1 ha en cultius intensius, però permeten arribar a les 5 ha en cultius extensius.

En les parcel·les que presentin zones heterogènies petites no cal mostrejar-les, donat que no té sentit aplicar mesures correctores específiques sobre elles (Saña *et al.*, 1996). És molt important no conformar una mostra a partir de submostres de parcel·les no uniformes, donat que l'estudi no servirà per a resoldre cap dels problemes agronòmics plantejats.

A continuació s'exposen una sèrie de consells per a facilitar la identificació de zones heterogènies (Danés i Teixidor, 1983; Decroux, 1983; Gognard *et al.*, 1988; Diab, 1991):

- 1) Història cultural: anivellaments, fertilització, tipus de conreu, etc.

- 2) Aspecte del sòl: color, pedregositat, etc.
- 3) Desenvolupament de la vegetació.
- 4) Posició topogràfica (vessant, cim, pendent, etc.).
- 5) Comportament del sòl en el seu maneig.

Si l'objectiu de l'estudi és solucionar un determinat accident vegetatiu d'origen previsiblement nutricional o estructural, s'haurà d'agafar una mostra de la zona més representativa del problema i una altra de la part satisfactòria de la parcel·la (Decroux, 1985). Quan es realitzi el mostreig d'una àrea homogènia s'han d'evitar aquells punts que tinguin característiques particulars, com són el límits de la parcel·la, els llocs on s'emmagatzemen els fems o adobs, antics tancat d'animals i també zones on s'han realitzat moviments de terra (Bingham, 1962; Danés i Teixidor, 1983; Balland, 1984; López i Miñano, 1988; Guigou *et al.*, 1989; Diab, 1991).

1.2.1.2. Realització del mostreig

A l'hora de realitzar el mostreig es recomana la utilització d'una barrina, per la comoditat i l'eficàcia en el seu ús (Figura 1.5)



Figura 1.5. Detall d'una barrina per a la presa de mostres de sòl.

A l'hora de utilitzar la barrina cal introduir-la de forma perpendicular a la capa superficial del sòl i a la profunditat correcta, tenint en compte la profunditat que és vol mostrejar (Figura 1.6).

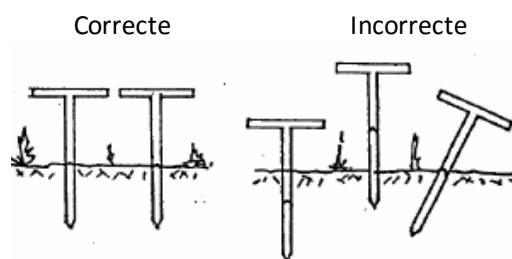


Figura 1.6. Detall de realització del mostreig amb una barrina.

També es poden utilitzar diferents eines d'ús agrícola (aixada, pala, etc.) si és té cura a l'hora de obtenir una bona representació de la mostra en tota la profunditat del sòl a mostrejar (Figures 1.7).



Figura 1.7. Detalls de realització del mostreig amb una pala.

Amb la utilització d'aquestes eines és freqüent l'obtenció d'un pes de la mostra superior al necessari (Figura 1.6), el que comporta que l'operació de reducció de la grandària d'aquesta sigui susceptible a l'error (Saña *et al.*, 1996).

Degut a l'heterogeneïtat que presenten els sòls és imprescindible agafar diferents submostres per obtenir una mostra representativa de la parcel·la que es vol avaluar. Com més elevat és el nombre de submostres agafades major serà la homogeneïtat des del punt de vista estadístic. Un gran nombre d'autors (Hauser, 1980; Balland, 1984; Decroux, 1985; Guigou *et al.*, 1989; Soltner, 1990; Diab, 1991; Villar Mir *et al.*, 2008) recomanen agafar de 10 a 20 submostres per a completar una mostra de sòl.

Per obtenir les diferents submostres d'una parcel·la es poden utilitzar diferents metodologies:

- Mostreig simple a l'atzar: agafant els punts de mostreig aleatòriament recorrent tota la parcel·la (Figura 1.8).
- Mostreig sistemàtic: les submostres s'agafen a distàncies regulars (definint el punts mitjançant una quadrícula, fent zig-zag o traçant diagonals) (Figura 1.9).

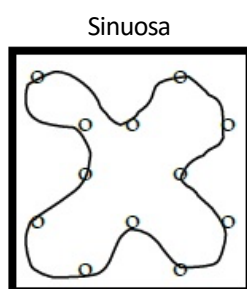


Figura 1.8. Mostreig simple a l'atzar.

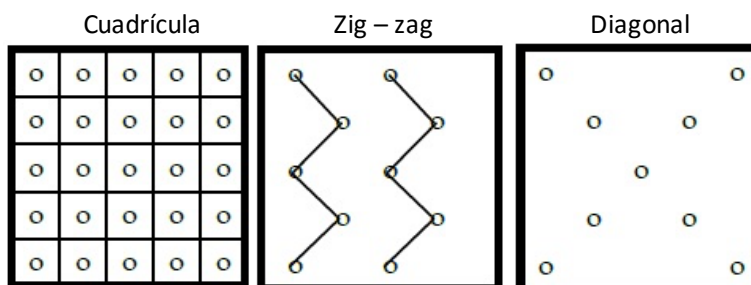


Figura 1.9. Diferents tècniques de mostreig sistemàtic.

En el cas de mostrejar parcel·les amb sistemes de fertirrigació, les submostres s'agafaran dins del bulb humit. Si la fertilització es realitza de forma localitzada (en línies o injectada), la mostra s'obtindrà en la zona on es realitzi aquesta.

En plantacions d'arbres on l'adobat es realitza mitjançant aplicacions superficials, la mostra s'obtindrà dins de l'àrea d'aplicació fins uns 75 cm del tronc.

Pel que fa a la profunditat de mostreig cal diferenciar dues zones en el sentit vertical (Danés i Teixidor, 1983; Gognard *et al.*, 1988):

-El sòl: la part més superficial, que correspon a la capa llaurable, que sol tenir una profunditat d'uns 20 a 30 cm.

-El subsòl: és la capa que es troba a sota del sòl, la qual és explorada per les arrels. Aquesta capa és d'una gruixa molt variable, i en alguns casos pot ser inexistent per l'aflorament de la roca mare. La profunditat d'aquesta capa pot anar de la capa llaurable fins als 50-80 cm.

En general, el mostreig es realitza en la capa llaurable. Només en alguns casos, com és el cas del cultiu de vinya i fruiters, s'obté una mostra dels subsòl per diagnòstic de problemes o avaluació de les característiques del sòl més enllà dels nivells de nutrients de l'horitzó superficial (Villar Mir *et al.*, 2008). A la Taula 1.3 es mostren un xifres orientatives de la profunditat de mostreig segons el tipus de cultiu.

Taula 1.3. Profunditat de mostreig segon tipus de cultiu (Andrades *et al.*, 2014)

Cultiu	Sòl	Subsòl
Prats	0 – 10 cm	Cap
Herbacis, fruiters i vinya en no cultiu	0 – 20 cm	20 - 40 cm
Fruiters i vinya llaurats	0 – 30 cm	30 – 50 cm

Tenint en compte que el subsòl és més pobre en nutrients que el sòl, en el moment de mostrejar es convenient no arribar al límit de separació entre les dues capes, per evitar la contaminació de la mostra d'una d'elles amb material de l'altra (Balland, 1984; Diab, 1991). Una altra precaució que cal tenir en compte a l'hora de fer el mostreig, és eliminar la coberta vegetal abans d'agafar la mostra (Danés i Teixidor, 1983; Gognard *et al.*, 1988).

1.2.1.3. Elecció de l'època de mostreig

L'època de mostreig dependrà de la informació que es vol obtenir del sòl (Decroux, 1985):

- a) Quan es vol avaluar l'estat general del sòl: la majoria d'autors estan d'acord que la millor època per mostrejar el sòl és després de la collita i abans

d'enterrar els restes de cultiu i d'adobar. En el cas d'implantació d'un cultiu de fruiters o vinya es recomana recollir les mostres un any abans, amb la finalitat de poder escollir el portaempelt adequat (Decroux, 1985; Gognard *et al.*, 1988). En plantacions ja instal·lades és convenient fer el mostreig durant els mesos de baixa activitat vegetativa (d'agost a gener).

- b) Quan es volen estudiar problemes físico-estructurals o nutricionals: en aquests casos el moment de mostrejar és quan el problema a estudiar presenta el seu màxim desenvolupament (Decroux, 1985). Quan es vulgui esbrinar l'origen d'alguna carència nutricional és més aconsellable realitzar analítiques foliars.

1.2.1.4. Freqüència analítica i paràmetres a determinar de mostreig

La freqüència de l'anàlisi depèn entre altres factors de la intensitat del cultiu, del sistema de fertilització i del grau d'incertesa (Villar Mir *et al.*, 2008).

En la Taula 1.4 es mostren les determinacions utilitzades en l'avaluació de la fertilitat dels sòls agrícoles i la utilitat de la repetició de l'analítica de cada un dels paràmetres en anys posteriors.

Taula 1.4. Determinacions analítiques més típiques utilitzades en l'avaluació de la fertilitat dels sòls agrícoles (Balland, 1984; Gognard *et al.*, 1988, amb modificacions).

Paràmetre	Grau de necessitat	Repetició en anys posteriors
Textura i quantificació de component gruixats	Imprescindible	No
Densitat aparent	Recomanable ¹	No
Matèria orgànica	Imprescindible	Si
pH	Imprescindible	Depèn ²
CE	Imprescindible	Depèn ³
CIC	Molt recomanable	Si
CCE	Imprescindible (en sòls bàsics)	No ⁴
Calcària activa	Desitjable ⁵	No
N (per a la relació C/N)	Imprescindible ⁶	Si
P assimilable	Imprescindible	Si
K intercanviable	Imprescindible	Si
Ca intercanviable	Imprescindible ⁷	Si
Mg intercanviable	Imprescindible	Si
Na intercanviable	Opcional ⁸	Si
Microelements	Opcional ⁹	Si

¹ Per a poder expressar la riquesa en elements nutritius del sòl en funció del seu volum

² Per exemple, serà necessari després d'una encalcinada però no sol ser-ho en un sòl amb molta calcària.

³ No serà necessari en sòls en el que les anàlisis prèvies no hagin detectat cap símptoma de salinitat i a més no existeixi cap motiu agronòmic que faci suposar que aquella hagi pogut augmentar considerablement.

⁴ Només quan s'hagin realitzat aportacions de calç.

⁵ Només en sòls bàsic amb elevat contingut en carbonats i segons el cultiu a implantar.

⁶ Molts d'agrònoms ho consideren només recomanable, i d'altres innecessari.

⁷ Molts d'agrònoms ho consideren innecessari en el sòls calcaris.

⁸ Segons la CE.

⁹ En general aporta molt poca informació interessant.

1.3. APROFITAMENTS I USOS DE LA TERRA A LES ILLES BALEARS

Segons les Estadístiques Bàsiques Agràries i Pesqueres de les Illes Balears del 2014 (Taula 1.5), els cultius agrícoles ocupen 177.225 ha, el que suposa un 35,6% de la superfície geogràfica. Pel que fa referència a l'ocupació de la superfície per cultiu agrícoles per illes, destaquen pel seu baix valor Eivissa i Formentera, obtenint un valor de tan sols el 18,4%. Mallorca, amb un 39,3%, és la que presenta una major implantació de l'activitat agrícola, seguida de Menorca amb un 32,5%.

Les terres destinades a pastures arbustives i arbrades representen un 28,7% de la superfície total, essent Eivissa i Formentera la que dona la major taxa d'ocupació.

La superfície destinada a ús forestal ocupa 110.558 ha, essent Eivissa la que mostra el major percentatge (34,6%) de terres ocupades per aquest tipus d'aprofitament.

Pel últim, Mallorca és l'illa que obté el major percentatge (67,4%) de superfície agrària útil (SAU), seguida de Menorca amb un 62,4%. A nivell de tot l'arxipèlag ocupa un 64,2%.

Taula 1.5. Distribució general de terres a les Illes Balears (CAMAT, 2015)

Aprofitaments/ Usos de la terra	Illes Balears		Mallorca		Menorca		Eivissa i Formentera	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Cultius agrícoles	177.225	35,6%	142.639	39,3%	22.527	32,5%	12.060	18,4%
Pastures arbustives i arbrades	142.829	28,7%	102.277	28,1%	20.762	29,9%	19.789	30,2%
Forestal	110.558	22,2%	69.916	19,2%	17.992	26,0%	22.650	34,6%
Sup. agrària i forestal	430.612	86,4%	314.832	86,6%	61.281	88,4%	54.498	83,2%
Sup. no agrària	67.584	13,6%	48.573	13,4%	8.046	11,6%	10.966	16,8%
SAU	320.054	64,2%	244.916	67,4%	43.289	62,4%	31.848	48,6%
Sup. geogràfica	498.196	100,0%	363.405	100,0%	69.327	100,0%	65.464	100,0%

1.3.1. Aprofitament agrícola de terres

La superfície agrícola en producció ascendeix a 150.451 ha, tot i que la superfície destinada a cultius agrícoles pugi fins a les 177.25 ha. Aquesta diferència es deu al procés d'abandonament dels conreus llenyosos, que ha estat un fet a les Illes Balears sobretot en cultius com l'ametller, el garrover i la figuera, i a l'existència d'una agricultura d'oci i autoconsum (CAMAT, 2015).

Pel que fa a la distribució de la superfície agrícola per illes, Mallorca copa el 78,7% de la superfície total, amb 118.355 ha, seguida de Menorca amb 22.305 ha (14,8%) (Taula 1.6).

Taula 1.6. Superfície agrícola per illes (CAMAT, 2015)

Cultiu	Superfície (ha)	Percentatge (%)
Mallorca	118.355	78,7%
Menorca	22.305	14,8%
Eivissa	7.873	5,2%
Formentera	1.918	1,3%
Total	150.451	100,0%

En la Figura 1.10 es mostra la distribució de la superfície agrícola en producció per tipus de cultiu a les Illes Balears, on s'observa que els cultius herbacis extensius, com són els cereals, farratgeres i llegums, són els que ocupen major superfície agrícola en producció (Figura 1.10), conreant-se 108.760 ha. El conreu de fruits secs (ametller, garrover i figuera) ocupa el segon lloc (27.539 ha), seguit pel cultiu d'olivera (4710 ha) i les hortalisses (3917 ha).

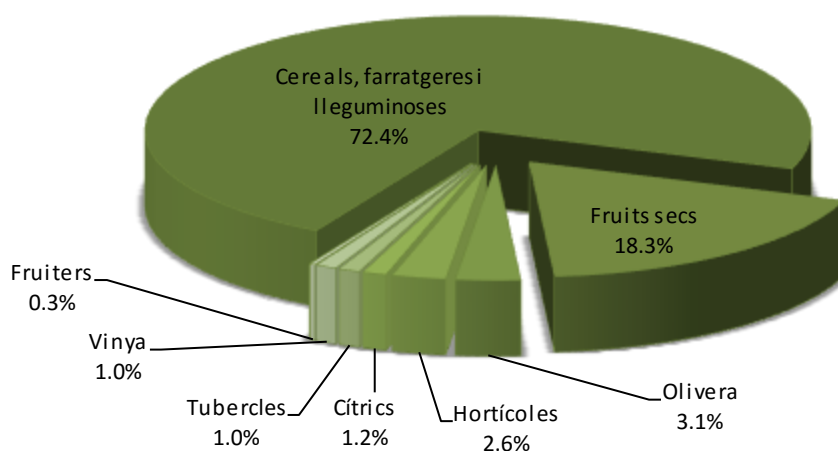


Figura 1.10. Distribució de la superfície agrícola en producció per tipus de cultiu a les Illes Balears (%) (CAMAT, 2015).

1.3.2. Producció agrícola de les Illes Balears

En aquest apartat es valora la producció agrícola en base al preu que percep l'agricultor pels productes que produeix durant la seva activitat agrària. En alguns casos com el vi i l'oli d'oliva la valoració de les produccions no és separable del procés d'elaboració i, per tant, el preu que es valora és el del vi i l'oli (CAMAT, 2015).

Segons les dades de les Estadístiques bàsiques agràries i pesqueres del 2014, la producció agrícola a les Illes Balears ascendeix fins als 141.267.500€. Pel que fa a la distribució de la producció econòmica dels cultius agrícoles per illes (Taula 1.7), s'observa que Mallorca assoleix el 85% de la producció, amb més de 120 milions d'euros. Formentera, amb 881.903€, suposa un 0,6% de la producció de tot l'arxipèlag.

Taula 1.7. Producció agrícola per illes (CAMAT, 2015).

Cultiu	Producció (mils €)	Percentatge (%)
Mallorca	120.020,9	85,0%
Menorca	11.225,8	7,9%
Eivissa	9.138,9	6,5%
Formentera	881,9	0,6%
Total	141.267,5	100,0%

En la Taula 1.8 es mostra la distribució de la producció agrícola per tipus de cultiu, on destaquen tres cultius per la seva alta aportació en la producció agrícola final, com són les hortalisses (22,8%), la vinya (19,8%) i els tubercles (13,1%), tenint en compte que sols ocupen un 4,6% del total de la superfície agrícola en producció. Per contra, el cereals, farratges i llegums tan sols aporten un 21,1% de la producció agrícola tot i que ocupen un 72,4% de la superfície agrícola en producció.

Taula 1.8. Produccions agrícoles de les Illes Balears per tipus de cultiu (CAMAT, 2015).

Cultiu	Producció (mils €)	Percentatge (%)
Hortícoles	32.225,4	22,8%
Cereals, farratges i llegums	29.828,0	21,1%
Vinya	27.980,2	19,8%
Tubercles	18.534,9	13,1%
Fruits secs	11.816,1	8,4%
Altres	7.964,7	5,6%
Fruiters	6.030,5	4,3%
Cítrics	4.901,9	3,5%
Olivera	1.985,7	1,4%
Total	141.267,5	100,0%

2. OBJECTIUS

La gran quantitat d'anàlisis realitzats per part del sector agrícola durant el període que recull aquest treball, han generat una ampla informació que una vegada processada pot esser una eina útil per aquest sector. Per aquest motiu, l'objectiu principal d'aquest treball és contribuir al coneixement dels sòls agrícoles de les Illes Balears per a millorar la seva gestió, contribuint a generar una activitat agrícola més eficient i respectuosa amb el medi ambient.

En el marc d'aquest objectiu general es distingeixen els següents objectius específics:

- 1) Estudi de les característiques físiques i químiques de la capa llaurable superficial i de la capa profunda.
- 2) Interpretar els valors obtinguts per a les diferents variables estudiades, i a partir d'aquesta interpretació avaluar la fertilitat de les terres agrícoles de les Illes Balears.
- 3) Estudiar les relacions existents entre les diferents propietats i característiques edàfiques.
- 4) Estudi de les característiques físiques i químiques en funció de la profunditat.

3. MATERIALS I MÈTODES

3.1. RECOLLIDA DE DADES

Les dades que s'han utilitzat en aquest treball provenen de la base de dades del servei d'anàlisi de l'Institut de Recerca i Formació Agrària i Pesquera (IRFAP), el qual depèn de la Conselleria de Medi Ambient, Agricultura i Pesca (CMAAP). La informatització d'aquest servei esdevingué una bona eina per gestionar les analítiques i alhora millorar el servei ofert als usuaris. Aquesta informatització del servei ha permès tenir a l'abast una valuosa informació sobre els sòls agrícoles de les nostres illes, gràcies al interès per part dels pagesos per conèixer les característiques edàfiques de les terres que conreen.

Aquest treball s'elabora a partir de les anàlisis realitzades pel laboratori de Serveis de Millora Agrària (SEMILLA).

3.1.1. Mostres de partida

Les mostres de partida inclouen totes les analítiques de sòl realitzades des de l'any 2005 fins a finals de 2015.

Ahora de tractar aquestes dades s'han diferenciat dues categories:

- a) Mostres de sòl de la capa llaurable superficial: Aquestes són les que pertanyen a la capa llaurable que ocupa entre el 20-30 cm de profunditat.
- b) Mostres de la capa profunda: Dins aquest apartat s'inclouen les mostres que s'han recollit per sota de la capa llaurable superficial, obtingudes entre el 30-80 cm de profunditat.

3.1.2. Selecció de les mostres

A l'hora de seleccionar les mostres s'han establert els següents criteris:

- 1) Han d'estar referenciades a unes coordenades, per aquest motiu s'han descartat totes les que no tenien les dades de situació (polígon i parcel·la).
- 2) De les mostres de les parcel·les que tenien més d'una anàlisi realitzada, se'n

seleccionava la de més recent realització.

3.2. METODOLOGIA PER A LA REALITZACIÓ DE LES ANÀLISIS

3.2.1. Tractament de les mostres

Les mostres, una vegada que arriben al laboratori, segueixen el següent tractament:

- Les mostres es dipositen dins safates de plàstic per eixugar-les a l'aire i també per disgregar els conglomerats existents, ajudant-se amb un martell de plàstic per realitzar aquesta tasca.
- Un cop eixutes es passen per un tamís de 2 mm de llum per homogeneïtzar la mostra.
- Posteriorment es guarden les mostres resultants dins pots d'anàlisi tancats i a temperatura ambient fins que es processen.

3.2.2. Anàlisi físicoquímica del sòl

Les diferents determinacions físicoquímiques es dugueren a terme d'acord amb els mètodes oficials d'anàlisi de sòls del Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació (MAPA, 1994), al laboratori de SEMILLA.

3.2.2.1. Textura (*densímetre Bouyoucos*)

L'anàlisi granulomètric del sòl mostra la proporció relativa de les diferents partícules minerals inferiors a 2 mm, tenint en compte la classificació del Departament d'Agricultura dels Estat Units (USDA) (Porta *et al.*, 1986). Les fraccions considerades foren: arena (2000 µm a 50 µm), llim (50 µm a 2 µm) i argila (< 2 µm).

Per a la determinació de la textura s'ha emprat el mètode del densímetre de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962; MAPA, 1994). Aquest es basa en la llei d'Stokes que relaciona la velocitat de caiguda de les partícules sòlides dins d'una solució aquosa, amb el diàmetre i la densitat de la suspensió en la que cauen. El mètode consisteix en dispersar les partícules minerals del sòl mitjançant una solució dispersant (calgon) i eliminant la matèria orgànica emprant peròxid d'hidrogen abans de començar a realitzar les lectures amb el densímetre.

La quantitat de cada tipus de partícula es determina per sedimentació de les partícules en un medi viscos, que es produeix a diferents velocitats en funció del seu diàmetre segons la llei d'Stokes.

▪ *Preparació de les mostres*

-Pretractament: Es pesen 40 g de la mostra de sòl per a la determinació de la textura i es col·loquen en un vas de 600 ml (ampolla 500ml). S'afegeixen 100 ml de la solució calgon i uns 400 ml d'aigua destil·lada, deixant la mostra en agitació durant 16 h. A continuació aquesta suspensió s'aboca al vas dispersador de la batidora, i es bat durant 5 min. Transcorregut aquest temps es transfereix a la proveta, enrasant amb aigua destil·lada fins a 1000 ml.

Realització

Es col·loca la proveta en el banc de sedimentació, i una vegada que la suspensió s'estabilitza es pren el valor de la temperatura. Per assolir una bona mescla de la suspensió s'introdueix un èmbol agitador, movent-lo d'alt a baix. Una vegada aconseguit una bona mescla es pren el temps i aquesta no es torna a mesclar.

S'introdueix el densímetre amb cura i es realitzen lectures sense treure el densímetre als 30'', 40'', 1', 2', 3', 5', 6' i 8'. Després lectures 30', 90', 120', 300' (aprox.) i 1400' (aprox.). És important agafar la temperatura cada vegada que es fa la lectura del densímetre.

Per a calcular la concentració de la suspensió expressada en g l⁻¹ i els percentatges acumulats en cada lectura:

-Concentració de la suspensió: $C = L - L'$

$$-\% \text{ acumulats: } P = 100 \frac{C}{P'}$$

L= lectura del densímetre

L'= lectura de calibració del densímetre

P'= pes sec del sòl en g l⁻¹ de la suspensió

Per a calcular el diàmetres de les partícules :

$$x(\mu) = \frac{\theta}{t^2}$$

t: temps de sedimentació en min

θ : s'obté de la Taula 3.1 en funció de les lectures L (no corregides).

Aquests valors del diàmetre de les partícules s'han de corregir quan la temperatura és diferent de 30°C, multiplicant-los per un factor “f” que es dona a la Taula 3.2 en funció de la temperatura.

$$x' = f \cdot x$$

$$f = \sqrt{\frac{\eta}{\eta_{30}}}$$

η = viscositat de l'aigua a la temperatura de sedimentació

η_{30} = viscositat de l'aigua a 30°C

Taula 3.1. Valors de θ per a la determinació del diàmetre de les partícules en funció de les lectures observades en el densímetre.

L	θ	L	θ	L	θ
-5	50,4	9	47,0	23	43,1
-3	49,9	11	46,4	25	42,5
-1	49,4	13	45,9	27	41,9
1	48,9	15	45,3	29	41,3
3	48,4	17	44,8	31	40,7
5	47,9	19	44,2	33	40,1
7	47,4	21	43,7	35	39,5

Taula 3.2. Valors del factor de correcció f del diàmetre de les partícules per a temperatures diferents a 30°C.

t (°C)	F	t (°C)	f
12	1,24	22	1,09
14	1,21	24	1,07
16	1,18	26	1,04
18	1,14	28	1,02
20	1,12	30	1,00

A partir dels percentatge d'arena, llim i argiles de cada mostra es determina la classe textural en el triangle de textura de l'USDA (Porta *et al.*, 1986).

3.2.2.2. pH

Aquesta mesura es realitza mitjançant un pH-metre model Crison GLP 21 (Figura 3.1).



Figura 3.1. Model de pH-metre GLP 21.

Procediment:

Es pesen 10 g de mostra dins el pots d'agitador i s'afegeixen 25 ml d'aigua destil·lada. Després d'agitar-les durant 30 min a 200 rpm, es deixen reposar 30 min més. Un cop transcorregut aquest temps es tornen agitar abans de mesurar el pH amb el l'elèctrode que prèviament s'ha calibrat. S'ha de tenir en compte que la sonda ha d'estar en contacte amb la part sòlida que va precipitant.

3.2.2.3. Conductivitat elèctrica

Aquesta determinació es realitza en extracte saturat 1:5 fins aquells valors que donen 0,25 dS m⁻¹ a 25°C; a partir d'aquests valors es realitza també en pasta saturada. En el sòls molt alcalins amb valors de pH superior a 8,5 i amb valors de conductivitat per sobre de 0,20 dS m⁻¹ 25°C també es farà en pasta saturada.

Procediment:

Es pesen 8 g de mostra dins un pot d'agitador, on s'hi afegeixen 40 ml d'aigua destil·lada i posteriorment s'agita durant 30 min a 200 rpm. Un cop agitat es filtra per un paper albet 145 (triga unes 2 h), depreciant les primeres fraccions tèrboles. La mesura es realitza mitjançant un conductímetre Crison 524 (Figura 3.2).



Figura 3.2. Model de conductímetre Crison 524.

3.2.2.4. Carbonats totals i calcària activa

a) Carbonats totals

Els carbonats totals es mesuren mitjançant un calcímetre de Bernard (Porta *et al.*, 1986). Al tractar els carbonats amb àcid clorhídric en un calcímetre a pressió i temperatura constants, la mesura del volum de CO₂ després permet calcular el contingut de carbonats.



Procediment:

Es pesen de 0,2 a 5 g de sòl, segons l'assaig previ de la calcària activa, i es depositen dins un matràs Erlenmeyer de 250 ml humitejant la mostra amb 10ml H₂O destil·lada. Es connecta l'Erlenmeyer al calcímetre, en el que s'ha col·locat prèviament 1,6 ml

d'àcid clorhídric 1:1 utilitzant el dispositiu existent al respecte. Amb la clau del calcímetre oberta per a mantenir a l'interior del sistema la pressió atmosfèrica, s'ajusta l'altura del dipòsit fins rasar la bureta del mateix a zero. A continuació es tanca la clau, i inclinant l'Erlenmeyer, es tira d'àcid sobre la mostra, agitant suaument per afavorir l'atac. Al mateix temps es va baixant la rama mòbil del calcímetre, procurant mantenir el líquid al mateix nivell en ambdues rames.

Quan el nivell del líquid calcímetre roman estable, es deixa d'agitar i s'agafa la lectura aconseguida pel mateix una vegada rasades les dues rames. El volum llegit correspon al CO₂ després per la mostra.

El contingut en carbonats del sòl, en % en massa C, és igual a:

$$\% \text{ carbonats} = 100 * \frac{L * p'}{L' * p * \%MS}$$

L: lectura observada en el calcímetre per la mostra.

L': lectura observada en el calcímetre per al CaCO₃.

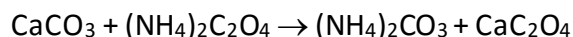
p: pes sec de la mostra de sòl en g.

p': pes del CaCO₃ en g.

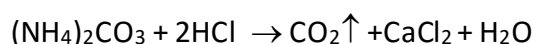
b) Calcària activa

La calcària activa és la fracció dels carbonats totals que reacciona amb una dissolució d'oxalat amònic 0,2 N després de 2 h d'agitació.

El carbonat càlcic actiu reacciona amb l'oxalat amònic en dissolució, formant-se carbonat amònic.



Al tracta aquest amb àcid clorhídric en un dispositiu tancat, a pressió i temperatura constants, l'increment de volum és una mesura directe del CO₂ després que permet calcular el contingut en calcària activa del sòl analitzat.



Procediment:

Per a la realització d'aquesta determinació es pesen 3 g de sòl amb una precisió d'1 mg. S'introdueix la mostra en un tub de centrífuga de 80 ml, s'afegeix exactament 60 ml de dissolució d'oxalat amònic 0,2 N i s'agita mecànicament a 200 rpm durant 2 h. A continuació es centrifuga a 3500 rpm durant 5 min i una vegada finalitzat es filtra la mostra amb paper albet 140 rebutjant les primeres gotes.

S'agafen 10 ml de la mostra filtrada en un matràs Erlenmeyer i es connecta aquest amb el calcímetre, on s'haurà col·locat prèviament 1,6 ml d'àcid clorhídric 1:1. Amb l'interior del sistema a pressió atmosfèrica, s'ajusta l'altura del líquid del dipòsit del calcímetre amb la bureta i es fa la lectura inicial. A continuació s'inclina l'Erlenmeyer a fi que l'àcid caigui sobre la mostra, agitant suaument per afavorir l'atac. Al mateix temps es va baixant la rama mòbil del calcímetre.

Per obtenir el valor blanc, es repeteixen les mateixes operacions agafant en ves de sòl, 0,07 g de Ca CO_3 i, amb les lectures obtingudes, efectuar els càlculs.

El contingut de calcària activa del sòl, en % de massa és igual a:

$$\% \text{Calcària activa} = \frac{(V - V_i) * 60}{10 * P * \%MS} * 100 * 100$$

P: pes en g de la mostra

MS: matèria seca de la mostra

V: volum de CO_2 després per l'extracte de la mostra

V_i : volum inicial de CO_2 de la mostra

V' : volum de CO_2 després per el carbonat càlcic pur

3.2.2.5. Matèria orgànica

Per avaluar el contingut en matèria orgànica d'un sòl es realitza la determinació del carboni oxidable pel mètode d'oxidació per via humida (mètode Walkley-Black). Aquest es basa en l'oxidació del carboni orgànic del sòl, amb dicromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) 1N, dissolt en H_2O , i la valoració de l'excés d'àcid cròmic resultant, amb la sal de Mohr $(\text{NH}_4)_2 \text{Fe} (\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.



Procediment:

Es pesa 1 g de sòl polvoritzat i es posa dins un matràs Erlenmeyer de 500 ml. S'afegeixen, mitjançant una pipeta automàtica, 10 ml de dicromat potàssic 1 N i es va agitant el matràs per assegurar una bona mescla amb la mostra de sòl. A continuació s'afegeix lentament i sense deixar d'agitar 20 ml d'àcid sulfúric concentrat, deixant la mescla en repòs durant 30 min a temperatura ambient. Passat aquest temps s'atura la reacció amb 200 ml d'aigua destil·lada i es deixa 2 h perquè refredi.

Finalment es pot fer la valoració de l'excés d'oxidant amb Sal de Mohr, introduint en el matràs un barra agitadora amb recobriment de tefló. A continuació es realitza la valoració potenciomètrica.

Quan es redueix més del 80% del dicromat, la determinació s'ha de repetir amb una mostra de sòl més petita.

Per calcular el carboni orgànic oxidable, expressat en % de terra fina seca a 105°C, s'aplica la següent fórmula:

$$\%COO = \frac{0.3 \cdot 100 \cdot (M - M')}{P}$$

M: mil·liequivalents de dicromat potàssic afegits

M': mil·liequivalents de sulfat ferrós amònic consumits

M: pes, en g, de la mostra referit a pes seca 105°C

Tenint en compte que amb aquest mètode només s'oxida el 58% del carboni de la matèria orgànica, s'aplica el coeficient de Waksman $1/58 = 1,724$, per estimar el % de la matèria orgànica de la mostra.

$$\%MOO = COO \cdot 1,724$$

3.2.2.6. Nitrogen total

Per a determinar el contingut total de N s'utilitza una variant del mètode descrit per Kjeldahl (1883), que és un dels mètodes estàndard més utilitzats per a la determinació d'aquest element. Aquest consisteix en l'oxidació del sòl per via humida, de manera que per digestió en àcid sulfúric i en presència d'un catalitzador, es produeixi la

transformació de la major part de les formes del nitrogen orgànic contingudes en sals amòniques. El mètode consta de tres fases:

- 1) Digestió de la mostra amb àcid sulfúric i en presència d'un catalitzador fins convertir tot el nitrogen orgànic en nitrogen amoniacal.
- 2) Destil·lació de l'amoniac amb excés d'hidròxid sòdic.
- 3) Valoració de l'amoniac amb àcid clorhídric.

Procediment:

a) Digestió: es pesen 2 g de mostra de sòl i s'introdueixen en un matràs de digestió Kjeldahl i s'afegeixen 20 ml d'àcid sulfúric i un catalitzador de coure-seleni, deixant reposar 30 min. Quan hagi refredat s'encalenteix el matràs progressivament fins al punt d'ebullició, continuant la digestió fins que el líquid quedi clar i mantenint-lo durant 2 h.

b) Destil·lació: Un cop acabada la digestió es deixa refredar el matràs i s'afegeixen 50 ml d'aigua, lentament i agitant.

Per a realitzar la determinació del N alliberat en la digestió es col·loca el tub de digestió amb el digerit diluït en un destil·lador automàtic Gerhardt model Vapodest 45 (Figura 3.3), ajustant el temps d'addició d'àcid bòric en la cubeta de valoració, de manera que cobreixi el diafragma de l'elèctrode de pH i que el tub de sortida de condensats quedi completament submergit en l'àcid.

S'ajusta el temps de destil·lació de manera que es recullin, al manco, 150 ml de destil·lat.



Figura 3.3. Destil·lador automàtic Gerhardt model Vapodest 45.

c) Valoració: una vegada acabat el període de destil·lació, l'equip valora la solució recollida amb la solució volumètrica d'àcid clorhídric fins el punt final de pH establert (pH 4,65).

Per a la realització del càlcul del contingut de nitrogen total expressat en % per unitat de massa s'aplica la fórmula següent:

$$N(\%) = \frac{1.4007 (V_s - V_b) M}{W}$$

V_s: Volum en ml de la solució volumètrica estàndard d'àcid clorhídric utilitzada en la determinació.

V_b: Volum en ml de la solució volumètrica estàndard d'àcid clorhídric utilitzada en l'assaig en blanc.

M: Molaritat amb quatre decimals de la solució volumètrica estàndard de l'àcid clorhídric.

W: Massa en g de la mostra d'assaig, pes, en grams, de la mostra referit a pes sec a 105°C.

3.2.2.7. Fòsfor assimilable

La determinació del fòsfor es realitza en una extracció, feta amb una solució de bicarbonat sòdic, mitjançant l'espectrofotometria (Olsen-Watanabe, 1954).

El molibdat amònic i el tartrat de potassi-antimoni reaccionen amb l'ió fosfat en medi àcid per formar el complex antimoní-fosfomolibdat. Aquest, un vegada reduït per l'àcid ascòrbic, dona un intens color blau, amb el qual es pot realitzar la seva determinació per espectrofotometria (Figura 3.4).



Figura 3.4. Espectrofotòmetre Milton Roy model Spectronic 1201

Procediment:

-Preparació de l'extracció del fòsfor: es pesen 5 g de sòl i s'afegeixen 50 ml de solució extractora de bicarbonat sòdic 0,5 M en un recipient de centrífuga de 80 ml. S'agita durant 30 min i posteriorment es filtra la suspensió amb un paper de filtre albet núm 45.

-Preparació de la corba patró: es prepara una escala de patrons de 0, 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 i 1, 1.2 i 1.5 ppm de P, agafant el volum corresponent de la dissolució mare de 10 ppm de P i es posa en un matràs aforat de 50 ml. Després s'afegeixen 5 ml de bicarbonat sòdic 0,5 M dins cada matràs. A continuació d'addicionar 0.83 ml d'àcid sulfúric 1,5 M, i s'agita per eliminar el CO₂, deixant-lo reposar unes 2 h per eliminar-lo totalment. Passat aquest temps s'afegeixen 8 ml d'una mescla d'àcid ascòrbic, molibdat amònic i tartrat antimònic potàssic i es deixa reposar 30 min.

-Determinació del fòsfor: es col·loca una alíquota de 5ml d'extracte en un matràs aforat de 50 ml, i es repeteix el procediment seguit per a la preparació dels patrons de la corba.

Una vegada enrasats els patrons i les mostres amb aigua destil·lada en matrassos de 50 ml es realitza la lectura en l'espectrofotòmetre a 882 nm.

Per a realitzar el càlculs de concentració de fòsfor en la mostra en ppm s'aplica la següent equació:

$$P \text{ (ppm)} = \frac{C \text{ mg P}}{1000 \text{ ml sol. final}} * \frac{V' \text{ ml sol. final}}{a \text{ ml extracte}} * \frac{V \text{ ml sol. extracte}}{P \text{ g sòl}} * \frac{1000 \text{ g sòl}}{1 \text{ kg sòl}}$$

Que agafa els següents valors:

$$P \text{ (ppm) sòl} = \frac{C * 50 * 50 * 1000}{5 * 5 * 1000} = C * 100$$

C = concentració de fòsfor (mg l⁻¹) de l'extracte aquós. S'obté amb la lectura per comparació amb els patrons a través de la recta de regressió que relaciona concentració amb lectura colorimètrica.

V' = volum de la solució final en ml (50ml)

V = volum de la solució extractora en ml (50ml)

a = volum de la alíquota, en ml, del extracte (5 ml)

P = pes de la mostra en g (5g) (pes, en g, de la mostra referit a pes seca 105°C)

3.2.2.6. Determinació del K intercanviable

El procediment utilitzat per a l'extracció de la fracció soluble en aigua i intercanviable ràpidament és el mètode d'extracció amb acetat amònic 1 N a pH= 7.



Figura 3.5. Espectrofotòmetre d'absorció atòmica

Procediment:

-Rentat de sals: es posen 5 g de la mostra de sòl en una botella per agitar, s'afegeixen 33 ml d'etanol al 95%, es tapa i s'agita durant 5 min. Passat aquest temps es destapa, centrifuga i decanta el líquid clar que suri. Aquest procés es repeteix fins que el líquid clar que suri tingui una conductivitat elèctrica inferior a $40 \mu\text{S cm}^{-1}$.

-Extracció d'elements: al tub que conté el sòl rentat, s'afegeixen 33 ml d'acetat amònic 1 N, es tapa i s'agita durant 5 min. Passat aquest temps es destapa i es centrifuga fins que el líquid que flota sigui clar. Aquest es decanta en un matràs aforat de 100 ml. Es repeteix l'extracció i decantació dues vegades més, tenint en compte que durant les agitacions el sòl s'ha de tornar a suspendre. Per acabar s'enrasa amb la solució d'acetat amònic.

-Preparació dels patrons: es preparen a partir de la dissolució mare de 1000 ppm de K mitjançant una o més dissolucions, realitzades sempre amb la dissolució extractora. Com a blanc s'utilitza la dissolució extractora.

El contingut de potassi es calcula amb la següent equació:

$$K \text{ (meq } 100\text{g}^{-1}) = \frac{10 * C}{P}$$

C: concentració de K en meq l⁻¹ de l'extracte

P= pes (g) de la mostra seca

3.2.2.7. Capacitat d'intercanvi catiònic

Tots els mètodes analítics de determinació de la CIC consten de tres fases (Baize, 1988):

- 1) Desplaçament (expulsió) dels cations del complex de canvi amb un excés d'una solució concentrada que només contingui un catió, ocupant aquest totes les posicions del complex (reemplaçament complet dels cations de canvi existents en el sòl).
- 2) Eliminació del catió saturant amb un excés d'una solució d'un altre catió. (eliminació del excés de la dissolució saturant per rentat amb etanol).
- 3) La quantificació del primer catió saturant que resulta desplaçat (desplaçament del catió retingut i la seva determinació quantitativa).

En el mètode utilitzat per a realitzar aquesta determinació el sòl es satura de sodi mitjançant 4 rentats successius amb acetat sòdic 1 N a pH 8,2. L'excés de de sal s'elimina amb etanol i el sodi adsorbit es desplaça amb acetat amònic 1 N, determinant el sodi en aquesta solució i el Ca i Mg per fer la correcció en els cations de canvi.

Procediment:

-Saturació del sòl amb sodi: es pesen de 4 a 6 g de mostra del sòl. Es col·loquen en un tub de centrífuga i s'afegeixen 30 ml d'acetat sòdic. Després d'agitar-se durant 5 min en un agitador mecànic, es centrifuga 5 min, decantant i eliminant el líquid sobrenedant. Aquest tractament es repeteix 4 vegades més canviant la solució d'acetat

sòdic i re suspenent el sòl després de cada agitació. A continuació la mostra es suspèn en 33 ml d'etanol i s'agita en un tub tapat durant 5 min. Passat aquest temps es centrifuga i decanta el líquid sobrenedant. El tractament es repeteix fins que la conductivitat elèctrica del líquid sobrenedant sigui inferior a $40 \mu\text{S cm}^{-1}$.

-Desplaçament del sodi: per assolir-lo es procedeix del mateix modus que en l'apartat anterior, però aquesta vegada emprant tres porcions de 30 ml d'acetat amònic 1 N, decantant cada porció del líquid sobrenedant en un matràs aforat de 100 ml, completant el volum amb acetat amònic i homogeneïtzant-lo.

- Quantificació del sodi: en l'extracte recollit es determina el contingut de sodi mitjançant espectrofotometria d'absorció atòmica (Figura 3.4).

Per a calcular la capacitat d'intercanvi catiònic s'aplica la fórmula següent:

$$\text{CIC (meq } 100\text{g}^{-1}) = \frac{10 \cdot C}{p}$$

C: concentració en meq l^{-1} de sodi en l'extracte

p: pes de la mostra en g

3.3. CRITERIS D'INTERPRETACIÓ DELS RESULTATS

Per interpretar els resultats de les determinacions avaluades s'han aplicat els valors de diferents taules interpretatives recollides de diverses fonts bibliogràfiques. Amb l'ajuda d'aquestes taules es realitza un anàlisi de les condicions agronòmiques de les mostres de sòls estudiades.

3.3.1. Grups texturals

Per a la interpretació de diferents paràmetres, com per exemple la matèria orgànica o el potassi, es necessari agrupar les distintes classes texturals en grups bàsics. A la Taula 3.3 s'observen el diferents grups texturals segons la classificació de sòls per textura de l'USDA que s'ha utilitzat en aquest treball.

Taula 3.3. Grups bàsics segons les distintes classes texturals (modificat a partir de López Ritas i López Mélida, 1990).

Grups bàsics	Textura (USDA)
lleugera (gruixuda o arenosa)	arenosa
	areno-llimosa
	franca-arenosa
equilibrada (franca)	franca
	franca-argilo-arenosa
	franca-llimosa
	llimosa
	argilo-arenosa
pesada (fina o argilosa)	franca-argilosa
	franca-argilo-llimosa
	argilo-llimosa
	argilosa

3.3.2. Interpretació dels resultats de pH

A la Taula 3.4 es mostren els criteris que s'han seguit per a realitzar la seva interpretació.

Taula 3.4. Caràcter del sòl segons la mesura del pH de la solució del sòl (USDA, 1996)

Resultat	Interpretació
<6,5	Lleugerament àcid
6,5 - 7,3	Neutre
7,3 - 7,8	Mitjanament bàsic
7,8 - 8,4	Moderadament bàsic
8,4 - 9,0	Lleugerament alcalí
>9	Alcalí

3.3.3. Interpretació de la conductivitat elèctrica

A la Taula 3.5 es mostren els criteris seguits per realitzar una primera valoració del contingut total de sals a partir dels resultats de la prova prèvia.

Taula 3.5. Intervalls d'interpretació de la $CE_{ea1:5}$ a partir dels resultats de la prova prèvia.

$CE_{ea1:5}$ dS m ⁻¹ 25°C	Interpretació
< 0,5	No limitant
0,5 – 1,0	Lleugerament alta
1,0 – 2,5	Alta
> 2,5	Molt alta

A la Taula 3.6 es mostren els diferents comportaments del sòl segons el valor de la $CE_{ea1:5}$.

Taula 3.6. Relació entre la conductivitat elèctrica i el comportament del sòl (USDA, 1996).

$CE_{ea1:5}$ dS m ⁻¹ 25°C	Comportament del sòl
0 - 0,12	Escassetat de nutrients
0,12 – 0,35	Desitjable per a plantes sensibles
0,35 – 0,60	Òptim per la majoria de cultius
0,60 – 0,85	Reducció del creixement
0,85 – 1,10	Síntomes de toxicitat
>1,10	Tòxic per la majoria de plantes

Els intervals d'interpretació emprats per avaluar els valors de la CEes es mostren a la taula 3.7.

Taula 3.7. Interpretació del nivell de la CEes (dS m^{-1} 25°C) (Richards, 1954), (Clarke, 1973).

CEes dS m^{-1} 25°C	Efectes sobre el rendiment dels cultius en sòls de textura franca i pesada
0 – 2	Generalment mínims
2 – 4	Limitacions en plantes molt sensibles a la salinitat
4 - 8	Limitacions en en plantes sensibles
8 - 16	Només les plantes tolerants produeixen satisfactòriament
> 16	Només les molt tolerants produeixen satisfactòriament

3.3.4. Interpretació del contingut en CCE

La determinació del contingut en carbonat càlcic equivalent d'un sòl té interès pel seu valor diagnòstic de diverses propietats del sòl (estructura, activitat biològica, bloqueig de nutrients, etc.). Els carbonats tenen una acció positiva sobre l'estructura del sòl i sobre l'activitat microbiana, tot i que un excés pot tenir conseqüències negatives en la nutrició de les plantes per antagonisme amb altres elements. Un excés també pot provocar l'aparició de carències nutricionals per un bloqueig en formes insolubles de microelements com el Fe, Mn, Zn Cu. També pot provocar la retrogradació del fòsfor, potassi i magnesi a formes insolubles.

Per a realitzar la interpretació del contingut en carbonats totals s'han utilitzat els criteris que es mostren a la Taula 3.8.

Taula 3.8. Interpretació del contingut en CCE segons intervals (Villar Mir *et al.*, 2008).

Continguts en CCE (%)	Nivell d'apreciació
< 4	Inapreciable
4 – 6	Molt poc calcari
6 - 16	Poc calcari
16 – 26	Calcari
26 – 41	Molt calcari
> 41	Extremadament calcari

3.3.5. Interpretació del contingut en calcària activa

La calcària activa és la fracció més fina de la calcària ($<50\ \mu\text{m}$), i per aquest motiu és la que presenta una major activitat química. Aquesta determinació es recomanable que es realitzi quan el nivell de CCE és superior al 15%.

L'objectiu d'aquesta determinació és conèixer la fracció de la calcària activa, per utilitzar-la per diagnosticar el poder clorosant d'un determinat sòl per a cultius sensibles.

La interpretació del contingut en calcària activa s'ha realitzat seguint els criteris de la Junta d'Extremadura (Taula 3.9).

Taula 3.9. Intervals d'interpretació del contingut en calcària activa (Junta de Extremadura, 1992).

Continguts en calcària activa (%)	Nivell d'apreciació
< 6	Baix
6 – 9	Mitjà
> 9	Alt

3.3.6. Interpretació del contingut en matèria orgànica (%)

A l'hora de realitzar la interpretació d'aquest paràmetre s'han realitzat de dues formes diferents:

- a) De forma generalitzada: utilitzant tots els valors, aplicant els valors d'interpretació que es mostren a la Taula 3.10.
- b) Tenint en compte el grup textural, aplicant els criteris d'interpretació de la Taula 3.11.

Taula 3.10. Interpretació dels nivells de matèria orgànica total en sòls agrícoles de l'àmbit mediterrani (modificat a partir de Villar Mir *et al.*, 2008).

Contingut MOT (%)	Nivell d'apreciació
< 1,2	Molt baix
1,2 – 1,8	Baix
1,8 – 2,5	Mitjà-baix
2,5 – 3,1	Mitjà
3,1 – 3,8	Mitjà-alt
3,8 – 5,1	Alt
> 5,1	Molt alt

Taula 3.11. Intervals d'interpretació del contingut de matèria orgànica total en funció del grup textural (modificat a partir de Legaz i Primo Millo (1988)).

Contingut MOT (%)	Textura	Nivell d'apreciació
< 0,5	Lleugera	Molt baix
< 0,8	Equilibrada	
< 1,0	Pesada	
0,5 – 1,0	Lleugera	Baix
0,8 – 1,6	Equilibrada	
1,0 – 2,1	Pesada	
1,0 – 2,0	Lleugera	Mitjà
1,6 – 2,6	Equilibrada	
2,1 – 3,3	Pesada	
2,0 – 2,6	Lleugera	Alt
2,6 – 3,9	Equilibrada	
3,3 – 4,6	Pesada	
> 2,6	Lleugera	Molt alt
> 3,9	Equilibrada	
> 4,6	Pesada	

3.3.7. Interpretació del contingut en nitrogen total (%)

L'anàlisi del N total ens serveix per a conèixer la concentració puntual, donat que aquest element està en continua transformació i variació, depenent de les condicions d'humitat, temperatura, fertilització, etc. En el sòl el nitrogen es troba en forma orgànica i mineral, i en aquesta darrera forma com a nitrogen nítric i amoniacal. El mètode Kjeldahl valora el percentatge de nitrogen orgànic i amoniacal, tot i que no expressa el nivell de disponibilitat. Tenint en compte que el nitrogen mineral està

sotmès a fortes pèrdues per lixiviació, i que els processos de mineralització estan condicionats per les condicions d'humitat i temperatura del sòl, es poden produir importants variacions en els resultats del contingut de N en analítiques que es realitzin en espais de temps curts.

La interpretació del contingut del N total s'ha realitzat seguint els intervals de la Junta d'Extremadura (Taula 3.12).

Taula 3.12. Interpretació del contingut de nitrogen total (%) (Junta d'Extremadura, 1992).

Continguts en N total (%)	Nivell d'apreciació
< 0,05	Molt baix
0,05 – 0,1	Baix
0,1 – 0,2	Mitjà
0,2 – 0,4	Alt
> 0,4	Molt alt

3.3.8. Interpretació del valor de la relació C/N

El valor de la relació entre el C i el N dels sòls és un índex de la transformació de la matèria orgànica. La premissa bàsica d'aquesta relació és que el C orgànic és la font primària d'energia per als microorganismes del sòl, però a la vegada requereixen N per a multiplicar-se i emprar aquest energia (Fuentes, 1997).

El valor de la relació C/N del sòl varia entre 8 i 15, essent 10 el valor òptim. Aquest valor indica que predomina la descomposició sobre l'acumulació, proporcionant el sòl al cultiu nitrogen i altres anions (De la Horra *et al.* 2008). Si la relació C/N dels materials aportats és alta es produirà competència pels nutrients entre els microorganismes i el cultiu, especialment pel N, en detriment de la collita (Russell, 1973).

La Taula 3.13 mostra els intervals utilitzat per a realitzar la interpretació de la relació C/N.

Taula 3.13. Interpretació dels valors d'alliberació de N estimada a partir de la relació C/N (Junta d'Extremadura, 1992).

Relació C/N	Alliberació de N
< 8	Excessiva
8 – 10	Elevada
10 – 12	Normal
12 – 15	Baixa
> 15	Molt baixa

3.3.9. Interpretació del nivell del fòsfor assimilable (Mètode Olsen)

El fòsfor és un dels tres elements indispensables en qualsevol pla d'adobat. La seva carència provoca limitacions en el desenvolupament de les plantes. Per aquest motiu és important determinar les reserves assimilables abans de realitzar una planificació de fertilització.

El mètode Olsen és utilitzat principalment en els sòls calcaris.

A la Taula 3.14 es mostren els intervals emprats per a realitzar la interpretació del contingut en fòsfor tenint en compte el tipus de textura.

Taula 3.14. Intervals d'interpretació de fòsfor en el sòl segons textura (Garcia-Serrano *et al.*, 2010).

Contingut fòsfor (mg kg ⁻¹ sòl)	Textura	Nivell d'apreciació
0 - 4	Lleugera	Molt baix
0 - 6	Equilibrada	
0 - 8	Pesada	
5 - 8	Lleugera	Baix
7 - 12	Equilibrada	
9 - 16	Pesada	
9 - 12	Lleugera	Mitjà
13 - 18	Equilibrada	
17 - 24	Pesada	
13 - 20	Lleugera	Alt
19 - 30	Equilibrada	
25 - 40	Pesada	
> 21	Lleugera	Molt alt
> 31	Equilibrada	
> 41	Pesada	

3.3.10. Interpretació del nivell de potassi intercanviable (Mètode de l'acetat amònic a pH=7)

Tenint en compte que el potassi, juntament amb el N i el P, és un dels elements que els conreus extreuen en major quantitat, és important realitzar la seva determinació per avaluar els nivells de K disponible per a cobrir les necessitats dels cultius. Un baix nivell de K pot tenir conseqüències negatives en el rendiment i qualitat de la producció del cultiu.

A la Taula 3.15 es mostren els intervals seguits per a la interpretació del contingut de K segons tipus de textura.

Taula 3.15. Intervals d'interpretació del nivell de potassi al sòl extret amb acetat amònic, en funció de la textura (Garcia-Serrano *et al.*, 2010).

Potassi (meq 100g ⁻¹)	Textura	Nivell d'apreciació
< 0,15	Lleugera	Molt baix
< 0,20	Equilibrada	
< 0,25	Pesada	
0,15 – 0,30	Lleugera	Baix
0,20 – 0,40	Equilibrada	
0,25 – 0,50	Pesada	
0,30 – 0,45	Lleugera	Mitjà
0,40 – 0,60	Equilibrada	
0,50 – 0,75	Pesada	
0,45 – 0,75	Lleugera	Alt
0,60 – 1,00	Equilibrada	
0,76 – 1,25	Pesada	
> 0,76	Lleugera	Molt alt
> 1,00	Equilibrada	
> 1,25	Pesada	

3.3.11. Interpretació del nivells de capacitat d'intercanvi catiònic (meq 100g⁻¹)

La Capacitat d'Intercanvi Catiónic (CIC) és coneix com la quantitat màxima de cations que pot adsorbir el complex argilo-húmic del sòl per unitat de pes del sòl, i depèn dels fenòmens d'atracció o repulsió generats per la càrrega elèctrica dels ions presents al sòl (Fuentes, 1997). Els ions adsorbits es mantenen al sòl i no són lixiviat per l'efecte de l'aigua. Per tant, la fertilitat d'un sòl depèn de la capacitat d'aquest per retenir ions.

Aquesta propietat del sòl depèn de la proporció en que es troben les fraccions col·loïdals en el sòl i la composició d'aquestes, essent aquesta un dels índexs més expressius de la fertilitat potencial dels sòls, tenint gran importància en la regulació de la fertilització. Les terres amb baixa capacitat de canvi necessiten adobats més freqüents i equilibrats, mentre que les que presenten elevada capacitat poden retenir una major proporció de nutrients i admeten, normalment, major versatilitat en les fórmules d'adobat (Tisdale *et al.* 1985).

A l'hora d'interpretar la CIC de les mostres avaluades s'han utilitzat dues metodologies diferents, una de forma genèrica utilitzant els intervals que es mostren a la Taula 3.16, i una altra tenint en compte el tipus de textura, seguint els criteris de Maraños *et al.* (1998) (Taula 3.17).

Taula 3.16. Nivells de capacitat d'intercanvi catiònic (Vadell *et al.*, 1996).

CIC (meq 100g ⁻¹)	Nivell d'apreciació
< 8	Molt baix
8 – 12	Baix
12 – 20	Mitjà
20 – 30	Alt
> 30	Molt alt

Taula 3.17. Nivells de capacitat d'intercanvi catiònic segons classificació textural del sòl (Maraños *et al.*, 1998).

CIC (meq 100g ⁻¹)	Textura	Nivell d'apreciació
5 – 10	Lleugera	Baix
10 – 15	Equilibrada	
15 – 20	Pesada	
10 – 15	Lleugera	Mitjà
15 – 20	Equilibrada	
20 – 30	Pesada	
> 15	Lleugera	Alt
> 20	Equilibrada	
> 30	Pesada	

3.4. ANÀLISI ESTADÍSTIC

En aquest apartat es descriuen els mètodes estadístics que s'han utilitzat per a realitzar el tractament de les dades. Per aplicar aquests mètodes s'ha utilitzat el programa de càlcul Microsoft EXCEL del paquet Microsoft Office, i també el programa estadístic SPSS (versió 15.0).

3.4.1. Estadística descriptiva

Per estudiar la tendència central de poblacions que segueixen una distribució normal i no presenten valors discordants, el paràmetre descriptiu més adequat és el de la mitjana aritmètica. En canvi, quan es tracta de poblacions que segueixen una distribució log-normal o que presenten valors discordants, cal considerar la mitjana geomètrica o la mediana com a descriptors poblacionals, respectivament (Holmgren *et al.*, 1993; Parkin i Robinson, 1993; Dudka *et al.*, 1995). També s'han inclòs com a paràmetres estadístics el valor mínim i màxim, quartils i percentils 90, 95 i 98.

Per avaluar la dispersió de les dades s'ha utilitzat la desviació estàndard (DE), que estima la dispersió dels resultats al voltant del seu valor mitjà, i la desviació estàndard relativa (DER), coneguda també com a coeficient de variació, expressada en termes de percentatge i no depèn de les unitats de la variable analitzada (Mico, 2005).

3.4.2. Estudi de distribució de poblacions

Tot i que hi ha autors (Tobías *et al.*, 1997; Anderson i Kravitz, 2010) que afirmen que és suficient una avaluació gràfica a través dels histogrames de freqüència, altres (Reimann i Filzmoser, 2000) recomanen la utilització de tests estadístics per confirmar si la població s'ajusta a una població normal.

Per a realitzar un òptim estudi de la distribució de les poblacions és necessari utilitzar determinats test estadístics, que permeten confirmar si la població avaluada s'ajusta a una distribució normal.

Els tests més utilitzats són el test de Shapiro-Wilkinson (Saphiro i Wilk, 1965), que s'aplica a poblacions de menys de 50 mostres ($n < 50$), mentre que el test de

Kolmogorov-Smirnov (Smirnov, 1948) s'utilitza per a poblacions iguals o majors a 50 mostres ($n \geq 50$).

Un valor de significació baix ($P < 0,05$) indica que les dades avaluades no segueixen una distribució normal. Per a confirmar la normalitat de les poblacions també s'ha emprat el valor d'asimetria i curtosi, de forma que quan més pròxim es trobin de zero, la població més s'aproxima a una distribució normal.

La solució més habitual per aconseguir que les dades s'ajustin a una distribució normal és realitzar una transformació de la variable dependent (Fernández *et al.*, 2010). Una de les més utilitzada és la transformació logarítmica de les dades, amb l'objectiu de comprovar si aquestes dades log-transformades s'aproximen més a una distribució normal (Reaves i Berrow, 1984). En aquestes situacions, s'utilitzen les dades logarítmiques per a la realització dels càlculs estadístics, que s'obtenen mitjançant la transformació $\log_{10}(x)$ o $\log_{10}(x+1)$.

L'ús de la transformació logarítmica està indicada quan les dades presenten una distribució molt esbiaixada a la dreta o a l'esquerra; o bé, quan les desviacions típiques són proporcionals a les mitjanes, o quan l'efecte dels factors és multiplicatiu, en lloc d'additiu. Si existeixen valors petits, menors que 10, i especialment zeros, és més adequat la transformació $\log(x+1)$ (Fernández *et al.*, 2010).

En aquest treball, quan la distribució de les dades no ha resultat normal s'ha realitzat una transformació logarítmica per constatar si una vegada transformades aquestes s'ajustaven a una distribució normal. En el cas de no ajustar-se s'han emprat mètodes robust i estadística no paramètrica (Colombàs, 2014).

3.4.3. Estudi dels valors discordants: diagrames de caixa

La metodologia utilitzada per identificar els valors discordants és la del diagrama de caixa (Figura 3.6). La caixa representa l'amplitud interquartílica, tenint a l'extrem inferior al 1r quartil (p_{25}), i a l'extrem superior al 3r quartil (p_{75}). La línia a l'interior de la caixa representa el valor de la mediana (p_{50}).

Els valors atípics (o), representen els valors que superen 1,5 vegades el recorregut interquartílic (valor que es suma al 3r quartil i que es resta del 1r quartil). Si superen 3 vegades aquesta distància, aquest valors es consideren extrems.

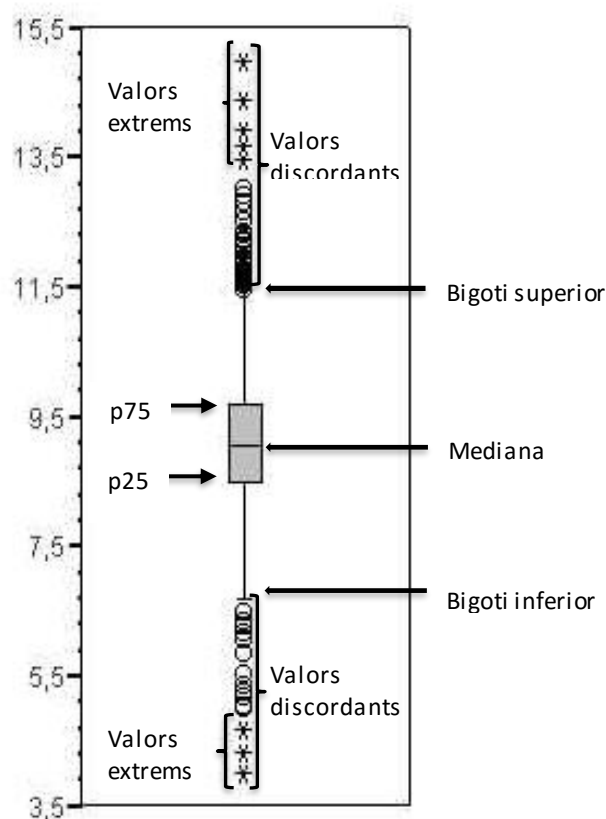


Figura 3.6. Identificació de tots els elements en un diagrama de caixa.

3.4.4. Proves de significació

Les proves de significació són contrastos d'hipòtesi utilitzades per a comparar dues o més poblacions i determinar si existeixen diferències significatives entre elles. Segons la distribució de les poblacions s'utilitzen diferents tests.

Per avaluar l'existència de diferències estadístiques per a poblacions que segueixen una distribució normal s'aplicarà el test T d'Student quan s'analitzin dues categories. Quan les poblacions estudiades no segueixen una distribució normal s'aplicarà el test U de Mann-Whitney. En aquest últim cas, quan les poblacions estiguin relacionades

s'aplicarà el test de Wilcoxon, que compara el rang mitjà de dues mostres relacionades, com és el cas de quan es comparen el valors de mostres de profunditat diferents d'una variable per una mateixa parcel·la.

3.4.5. Matriu de correlació

Els anàlisi de correlació permet avaluar si existeix o no una relació lineal entre dues variables, amb la utilització del coeficient de correlació. Per determinar l'existència de possibles relacions lineals s'han realitzat matrius de correlació bivariades.

Segons els tipus de distribució que segueixin les poblacions avaluades s'utilitzen dos tipus de coeficients de correlació (r):

- a) Coeficient de correlació de Pearson: s'utilitza quan les dues variables enfrontades segueixen una distribució normal.
- b) Coeficient de correlació d'Spearman: quan al manco un de les dues variables no s'ajusta a la normalitat.

Els coeficients de correlació (r) donen valors entre -1 i +1 . Els valors més propers a 0 denoten que la relació entre les variables és dèbil, mentre que els valors propers a la unitat signifiquen que la relació és forta. Per altra part, si el signe és negatiu significa que ambdues variables segueixen una relació inversa, i si és positiu indica que la correlació és directa, és a dir, quan el valor d'una variable augmenta l'altra també. Per acabar, els coeficients de correlació poden ser significatius a diferents nivells ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$), segons el nivell de confiança exigint (95%, 99% i 99,9%, respectivament).

3.4.6. Anàlisi factorial

L'anàlisi factorial consisteix en agrupar les variables analitzades en el menor nombre possible de factors o components amb la finalitat de reconèixer relacions entre elles, a vegades difícils de detectar amb el primer cop d'ull. Aquest anàlisi s'ha realitzat mitjançant el mètode d'anàlisi dels components principals (ACP), de manera que les variables analitzades es transformen en noves components basant-se en les correlacions establertes entre les variables inicials (Field, 2000; Townend, 2002).

Els components principals s'elegeixen de manera que el primer component (C1) recull la major proporció de variació que hi ha en el conjunt de dades, el segon (C2) recull la següent variació i així successivament (Miller i Miller, 2002). Cada component (C_x) representa una combinació lineal de les variables originals ($X_1, X_2, \dots, X_n$), de manera que cada variable intervé amb un coeficient de càrrega en funció de la seva importància dins cada component.

La matriu de la solució final s'ha obtingut mitjançant la rotació "Varimax", que permet disminuir la contribució de menor pes, augmentant la contribució d'aquelles més importants. La representació gràfica dels distints components permet identificar els grups de variables relacionades.

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1. NOMBRE DE MOSTRES ANALITZADES

El total de mostres de terra analitzades pel servei d'anàlisi de l'IRFAP és de 2381, de les quals s'han seleccionat 1076 mostres.

Les mostres de terra constitueixen el bloc majoritari del treball del servei, en el qual també s'inclouen analítiques foliar i d'aigua, fent un total de 3366 mostres (Figura 1.1). D'aquesta manera s'ofereix un servei integral d'avaluació de la fertilitat amb base a aquests tres components: terra, aigua i material vegetal.

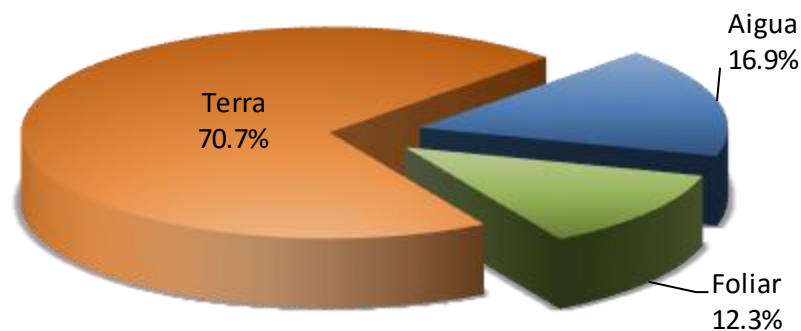


Figura 4.1. Distribució percentual de les mostres analitzades per tipus d'anàlisi (%) (2005-2015).

A la Figura 4.2 es mostra l'evolució dels valors registrats anualment per cada tipus d'anàlisi i també de forma conjunta. S'observa que l'any 2010 ha sigut l'any on s'ha registrat el major nombre d'analítiques, arribant a les 479 mostres, de les quals 341 foren de terra. En tots els anys d'aquest període, les anàlisis de terra han sigut les que han aportat el major nombre d'entrades dins el registre del servei d'anàlisi de l'IRFAP.

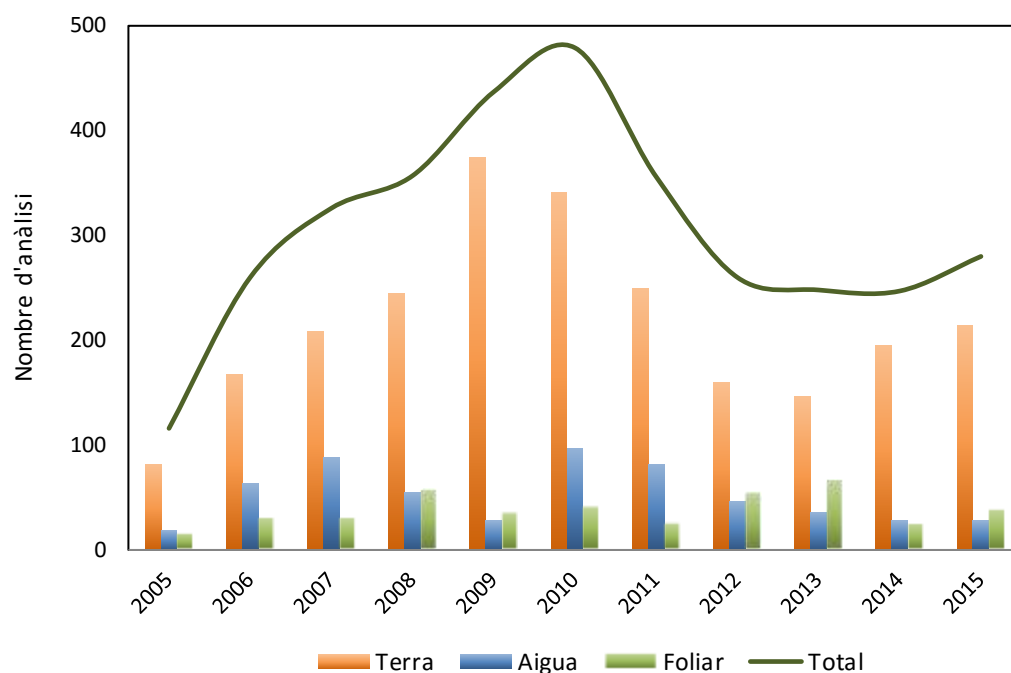


Figura 4.2. Evolució del nombre de mostres analitzades anualment (2005-2015).

El cultiu que aporta un major nombre d'anàlisis és el cultiu de tubercles, amb 938 mostres analitzades (Figura 4.3). Aquest gran nombre de mostres provinent del cultiu de tubercles es deu majoritàriament al cultiu de la patata destinada a l'exportació, donat que aquest és un producte que està sotmès a un control de qualitat elevat, fet que comporta que periòdicament sigui necessari fer analítiques de sòl i també d'aigua. En segon lloc, per nombre de mostres s'hi troba el cultiu de la vinya, amb 633. Aquestes dues dades són una mostra del fort dinamisme que han tingut aquests dos cultius en el període avaluat. En aquesta distribució s'observa la relació existent amb la producció que es mostra a la taula 1.8, donat que els tres cultius que aporten més mostres estan situats dins l'interval dels quatre conreus que realitzen una major contribució en la producció agrària.

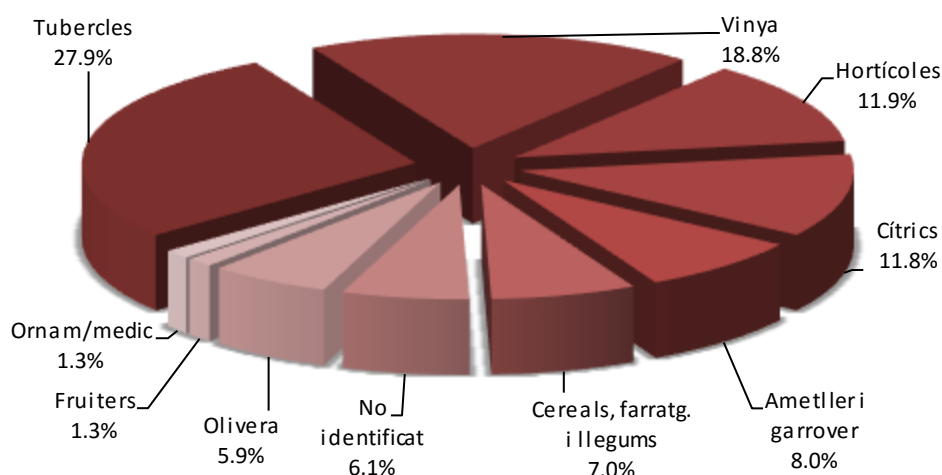


Figura 4.3. Distribució de les mostres analitzades per tipus de cultiu (%) (2005-2015).

En la distribució de les analítiques realitzades per illes (Taula 4.1), s'observa que Mallorca aporta quasi un 98 % de les mostres analitzades. Aquest desajust en el repartiment geogràfic de les mostres es degut en part al desconeixement del servei ofert i també a la dificultat per a l'enviament de les mostres. Cal remarcar que s'han analitzat mostres de tots els municipis, excepte d'Es Castell i Es Migjorn.

Taula 4.1. Distribució de les anàlisis per illa de procedència.

Illa	Núm. anàlisis	%
Mallorca	3285	97,59 %
Menorca	18	0,53 %
Eivissa	55	1,63 %
Formentera	8	0,24 %

4.1.1. Distribució per cultiu de les mostres de sòl analitzades

En el total del període estudiat s'han analitzat 2381 mostres de terra, 2284 de les quals corresponen a la capa llaurable superficial i 97 a la capa profunda.

En aquest tipus d'analítica, seguint la tendència mostrada en el conjunt de mostres analitzades, el cultiu de tubercles és el que aporta un major nombre d'entrades en el registre d'anàlisis de terra, arribant a les 630 mostres analitzades, seguit pel cultiu de la vinya amb 506 (Figura 4.4).

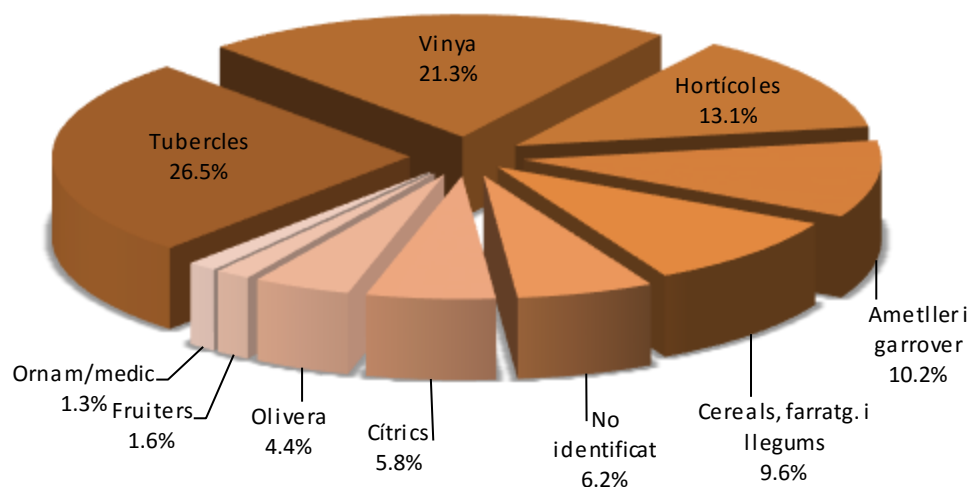


Figura 4.4. Distribució de les mostres de terra analitzades per tipus de cultiu (%) (2005-2015).

Pel que fa a la distribució segons la procedència geogràfica, segueix la tendència general, essent el municipi de Sa Pobla el que aporta major nombre d'entrades. En la Taula 4.2, es mostren els municipis que aporten més de 80 mostres de terra, amb el percentatge sobre el total de les mostres de sòl analitzades.

Taula 4.2. Municipis amb major nombre d'entrades per mostres de terra.

Municipi	Núm. anàlisis	%
Sa Pobla	607	25,5
Manacor	163	6,8
Palma	163	4,7
Ariany	96	4,0
Petra	94	3,9
Llucmajor	85	3,6

4.1.2. Distribució per cultiu de les mostres d'aigua analitzades

El nombre total de mostres d'aigua analitzades és de 570. El cultiu de tubercles segueix essent el que aporta un major nombre de mostres d'aigua, arribant a les 281 mostres (Figura 4.5). En aquest tipus d'anàlisi els cultius de regadiu intensiu, com són la patata,

les hortícoles i els cítrics són els que registren el valors més elevats, arribant en conjunt al 76,9 % del total de les mostres analitzades.

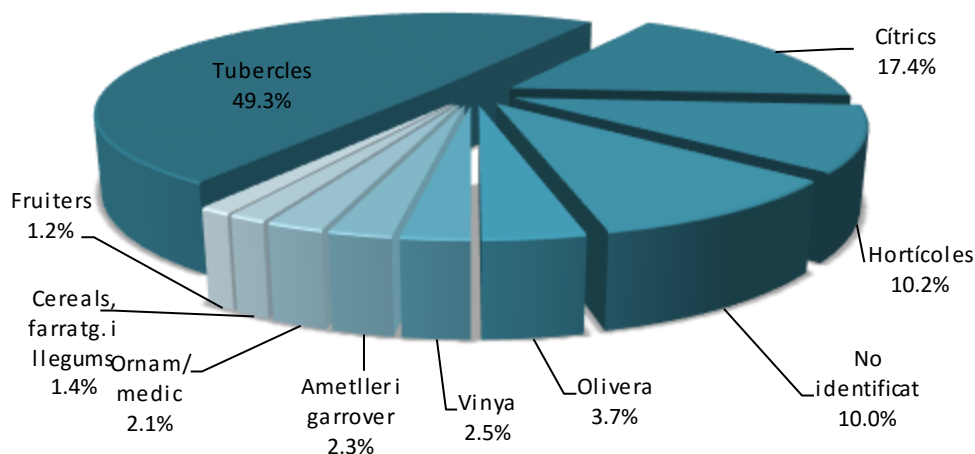


Figura 4.5. Distribució percentual de les mostres d'aigua analitzades per tipus de cultiu (%) (2005-2015).

4.1.3. Distribució per cultiu de les mostres foliars analitzades

Durant aquests 11 anys s'han analitzat 415 mostres foliars. El cultiu dels cítrics ha sigut el que ha subministrat un major nombre de mostres, amb 155, seguit pel cultiu de vinya, amb 113 mostres (Figura 4.6). Aquests dos cultius suposen un 65,4 % del total de les mostres analitzades. Aquest dada s'explica pel fet que aquest tipus d'analítica dóna una informació molt vàlida per conèixer l'estat nutricional d'aquests cultius, i en conseqüència poder actuar de forma racional a l'hora de realitzar el pla d'adobatge del cultiu. En el cas del cítrics s'afegeix l'obligatorietat de la realització d'anàlisi foliar en el cas d'estar inscrits en el segell de producció integrada.

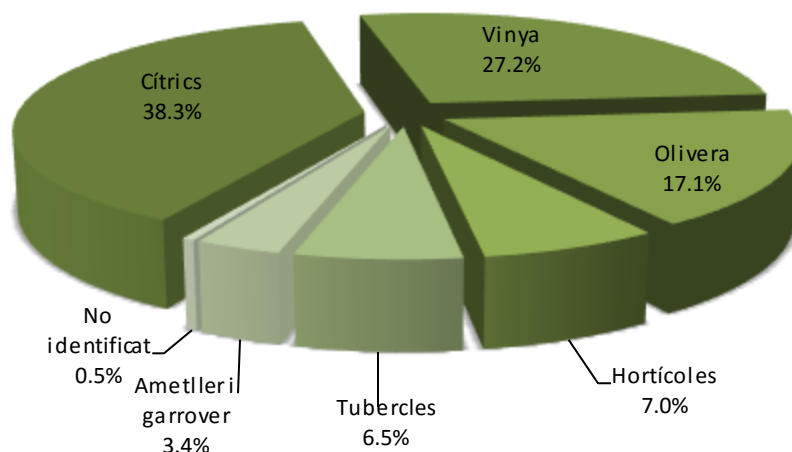


Figura 4.6. Distribució de les mostres foliars analitzades per tipus de cultiu (%) (2005-2015).

4.2. SELECCIÓ DE MOSTRES

Del total de les 2381 mostres analitzades al laboratori de SEMILLA, s'han validat 1076 analítiques. D'aquestes 1076 mostres, 1028 corresponen a la capa superficial (0-30 cm) i 48 a la capa profunda del sòl (30-80 cm).

La causa d'exclusió majoritària és deu a la repetició de mostres per una mateixa parcel·la. A la Taula 4.3 es mostren el nombre d'anàlisis excloses per a cada una dels criteris de seguits per a la realització de la selecció.

Taula 4.3. Nombre de mostres eliminades per motiu d'exclusió.

Criteris d'eliminació	Núm. mostres eliminades	%
Sense georeferenciació	185	14,2
Situació repetida	997	76,5
Substrat	16	1,2
Referències incompletes	107	8,1
Total	1305	100,0

4.2.1. Selecció de mostres de la capa llaurable superficial

En referència a la procedència de les anàlisis per tipus de conreu, el cultiu de tubercles és el que fa la major aportació de mostres, amb 319, seguit pels cultius de vinya i ametller i garrover, amb 214 i 149 mostres respectivament (Figura 4.7).

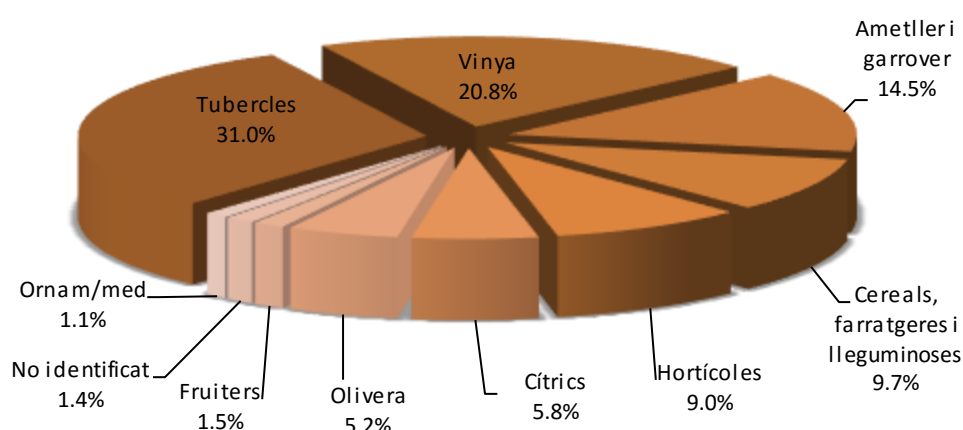


Figura 4.7. Distribució de la selecció de les anàlisis de la capa llaurable superficial per tipus de cultiu (%) (2005-2015).

Pel que fa a referència a l'origen de les mostres per illes, Mallorca aporta un 1004 mostres, seguida per Eivissa, Menorca i Formentera, amb 10, 9 i 5 mostres, respectivament. En quant a l'origen per municipis, Sa Pobla (299), Manacor (69) i Lluçmajor (49) són els termes que registren el major nombre d'entrades.

4.2.2. Selecció de mostres de la capa profunda del sòl

En aquesta selecció, donat l'interès que aporta la informació obtinguda amb els resultats de les anàlisis a l'hora de realitzar noves plantacions, s'observa que són els cultius llenyosos els que registren la majoria d'entrades, aportant un 93,9% de les anàlisis (Figura 4.8). El cultiu de vinya és el que n'aporta més, amb 34 mostres.

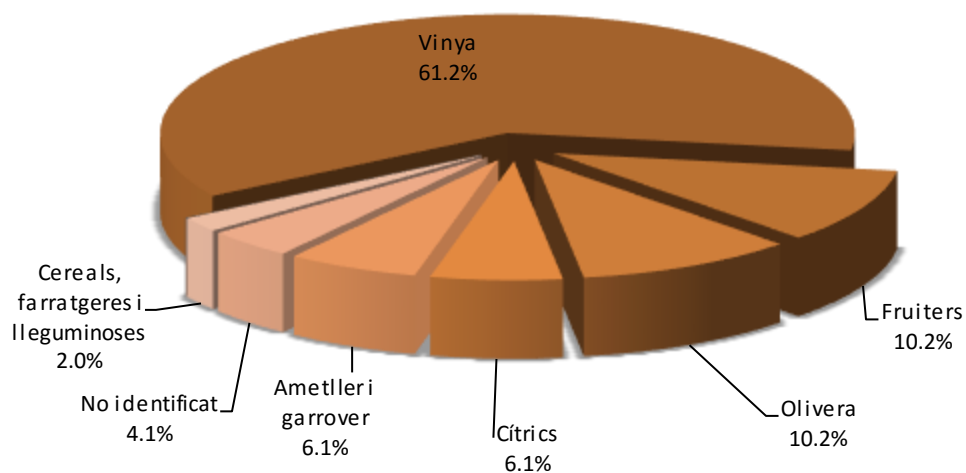


Figura 4.8. Distribució de la selecció de les anàlisis de la capa profunda per tipus de cultiu (%) (2005-2015).

En aquest apartat totes les mostres provenen de l'illa major, essent Manacor i Palma els municipis que han registrat el major nombre d'entrades.

4.3. PROPIETATS I CARACTERÍSTIQUES FÍSICOQUÍMIQUES DE LA CAPA LLAURABLE SUPERFICIAL

En aquest apartat es mostren els resultats obtinguts a partir de l'estudi de les propietats i característiques edàfiques de les mostres seleccionades de la capa llaurable superficial.

4.3.1. Característiques i propietats físiques de la capa llaurable superficial

En la Taula 4.4 es mostren els paràmetres estadístics descriptius de les característiques fisicoquímiques analitzades. Es pot observar que la variabilitat entre les mostres avaluades és molt elevada, com era d'esperar, tenint en compte la àmplia zona geogràfica de procedència i en conseqüència la diversitat litològica que representen les mostres.

Taula 4.4. Estadístics de les característiques físiques de la capa llaurable superficial (n=663).

Estadístic	Arenes (%)	Llims (%)	Argiles (%)
Mediana	27,0	37,0	34,0
Mitjana	28,7	37,4	34,9
DE	9,4	7,3	8,1
DER (%)	32,7	19,6	23,3
Mínim	8,0	12,0	10,0
Màxim	72,0	56,0	52,0
P25	22,0	33,0	29,0
P75	33,0	41,0	39,0
P90	41,0	47,0	44,0
P95	46,8	50,0	47,0
P98	53,7	53,0	49,0

4.3.1.1. Arenes, llims i argiles

En la Taula 4.5, on es mostren els valors resultants de l'aplicació del test de Kolmogorov-Smirnov, la asimetria i la curtosi, s'observa que de les tres variables avaluades només les dades del percentatge d'arenas transformat segueix una distribució normal.

Els histogrames de les diferents característiques físiques estudiades s'exposen a la Figura 4.9.

Taula 4.5. Valor Z i nivell de significació (p) del test de Kolmogorov-Smirnov, asimetria i curtosi de les característiques físiques de la capa llaurable superficial, amb dades sense transforma i log-transformades.

	Z (K-S)*	p**	Asimetria	Curtosi		Z (K-S)*	p**	Asimetria	Curtosi
Arenes	2,71	0,00	1,23	2,43	Log(x) arenas	1,35	0,05	0,08	0,57
Llims	1,51	0,02	-0,01	0,47	Log(x) llims	1,87	0,00	-1,06	3,70
Argiles	1,51	0,02	-0,04	-0,27	Log(x) argiles	1,83	0,00	-0,81	1,38

*El valor de Z es basa en la diferència absoluta màxima entre les distribucions acumulades observada i teòrica. **Si $p < 0,05$, les corbes de distribució difereixen de la normalitat.

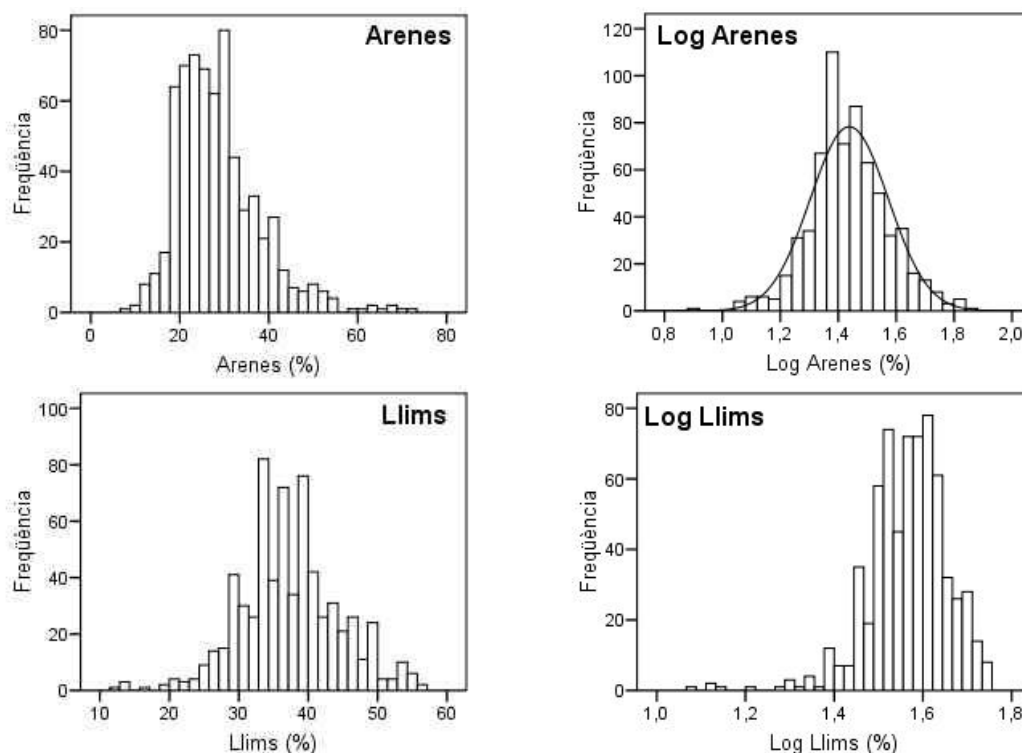


Figura 4.9. Histogrames per les característiques físiques de la capa llaurable superficial. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats.

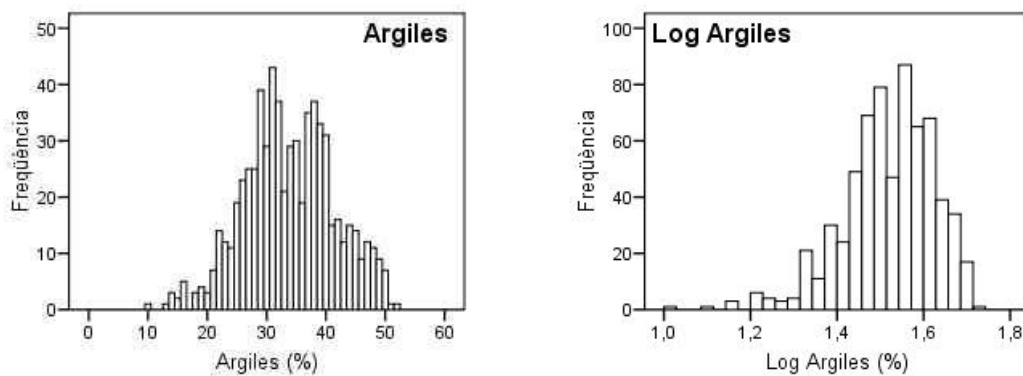


Figura 4.9 (cont.). Histogrames per les característiques físiques de la capa llaurable superficial. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats.

Pel que fa al percentatge d'arenas en la capa llaurable superficial varia entre 8,0% i un 72,0%, essent el valor mitjà del 28,7% (Taula 4.4). El 25% dels casos (p25) presenta valors de contingut d'arenas inferiors al 22,0%, el 50% (mediana) a 27,0%, el 75% (p75) a 33,0%, el 90% (p90) a 40,8%, el 95% (p95) a 46,0%, i el 98% dels casos (p98) a 53,0% (Taula 4.6). El diagrama de caixa permet identificar 25 valors discordants, del quals 4 són valors extrems, tots amb valors superiors al 49,5% d'arenas (Figura 4.10), representant un 3,8% de total de les mostres analitzades. La meitat de les mostres que han donat valors extrems pertanyen a l'illa de Formentera. Aquests valors discordants són reals, donat que hi ha sòls agrícoles arenosos, estant la majoria d'aquests situats a zones costaneres.

En quant al contingut de llims, varia entre un 12,0% i un 56,0%, amb un valor mitjà del 37,4% (Taula 4.4). El valor màxim que presenta el 25% de mostres (p25) és de 33,0%, el del 50% (mediana) és de 37,0%, el del 75% dels casos (p75) és de 41,0%, el del 90% (p90) és de 47%, el del 95% (p95) és de 50,0% i el del 98% dels casos (p98) és de 53,0%. El diagrama de caixa mostra un total de 20 valors discordants (3,0% del total), situats als extrems inferior (9) i superior (11) (Figura 4.10). En el conjunt de mostres estudiades es consideren valors atípics els que són superiors al 53,0% i inferiors al 21,0%.

I pel que fa referència al contingut d'argiles, els valors obtinguts oscil·len entre un 10,0% i un 52%, situant-se el valor mitjà en un 33,9% (Taula 4.4). El percentatge màxim

d'argiles que presenta el 25% de mostres (p25) és de 29%, el del 50% (p50) és de 34,0%, el del 75% dels casos (p75) és de 41,0%, el del 95% (p95) és de 50,0% i el dels 98 de casos (p98) és de 49,0%. El diagrama de caixa presenta 2 valors atípics en la part inferior (Figura 4.10), representant un 0,3% del total de mostres avaluades. Es consideren valor atípics els percentatges d'argiles inferiors al 14,0%.

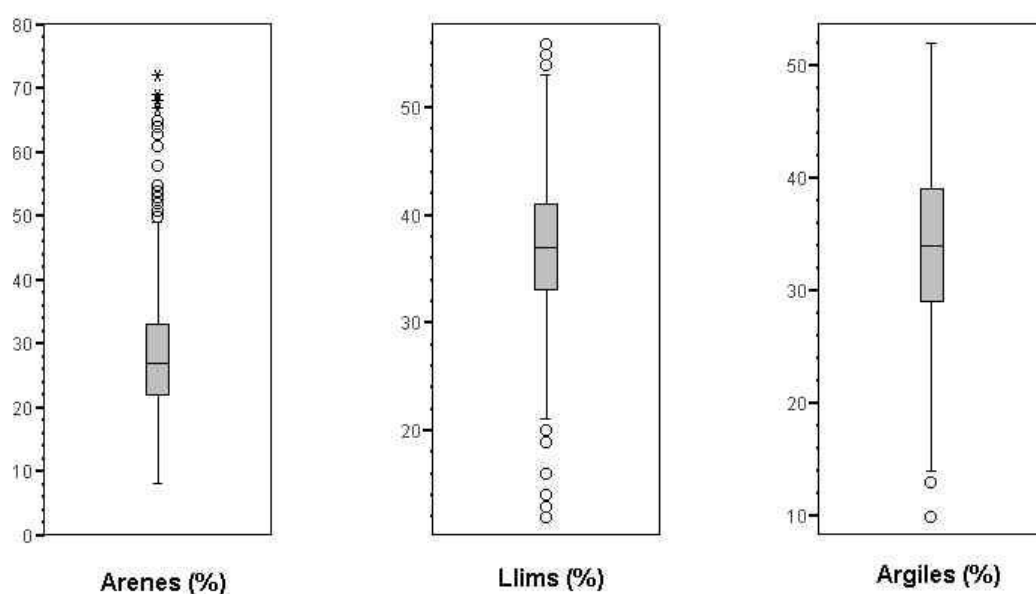


Figura 4.10. Diagrames de caixa pels continguts d'arenes, llims i argiles de la capa llaurable superficial. En cercles es representen els valors atípics (superen 1,5 cops el rang interquartílic) i en estrelles el valors extrems (superen en 3 cops el rang interquartílic).

Pel que fa a l'anàlisi granulomètrica, s'observa que predominen els llims i les argiles, per la qual cosa predominen les textures pesades. El 81,3% de les parcel·les analitzades corresponen a la tipologia de textura pesada. El tipus de textura predominant en les parcel·les avaluades és la franca argilosa, seguida de la argilosa i la franca (Figura 4.11).

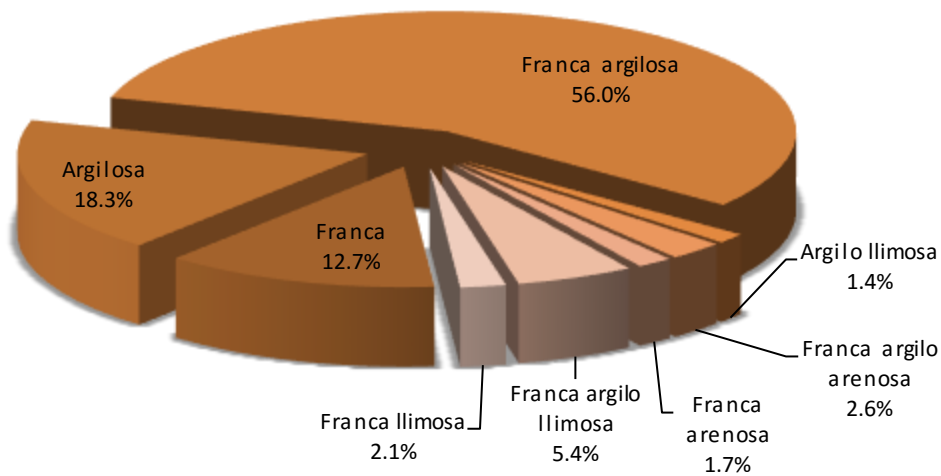


Figura 4.11. Distribució de les mostres de la capa llaurable superficial per tipus de textura (%).

4.3.2. Característiques químiques de la capa llaurable superficial

Els paràmetres estadístics descriptius de les propietats i característiques químiques es presenten a la Taula 4.6.

Tenint en compte el resultats obtinguts a l'estudi de la distribució de la població, representació dels histogrames (Figura 4.12) i valors del test de Kolmogorov-Smirnov (Taula 4.7), del conjunt de les característiques químiques de la capa llaurable superficial avaluades, tan sols la CIC i les dades transformades de la MOT i la CEes s'ajusten a una distribució normal.

Taula 4.6. Estadístics de les característiques químiques de la capa llaurable superficial.

Estadístics	pH	CE _{ea1.5} (dS m ⁻¹)	CE _{es} (dS m ⁻¹)	CCE (%)	Ca act (%)	MOT (%)	N total (%)	C/N	P (mg kg ⁻¹)	K (meq 100g ⁻¹)	CIC (meq 100g ⁻¹)
n	1028	1028	236	1027	1027	1028	1027	1027	1028	1026	1028
Mediana	8,25	0,18	3,03	25,32	5,52	2,82	0,18	9,04	21,77	1,19	19,19
Mitjana	8,24	0,22	3,37	27,53	6,29	2,91	0,19	9,11	42,99	1,30	19,11
DE	0,20	0,12	1,42	15,44	3,78	1,05	0,06	1,19	43,22	0,62	4,48
DER (%)	2,43	53,51	42,04	56,06	60,16	36,12	32,97	13,06	100,54	48,11	23,42
Mínim	7,38	0,09	0,69	0,19	0,08	0,51	0,03	4,00	0,13	0,15	5,58
Màxim	8,81	0,97	9,23	79,85	15,01	7,07	0,43	14,96	222,96	3,85	34,53
P25	8,12	0,15	2,39	16,21	3,07	2,08	0,14	8,48	7,57	0,82	16,10
P75	8,37	0,25	3,79	37,37	9,79	3,64	0,23	9,67	77,17	1,77	22,91
P90	8,50	0,38	5,43	50,14	11,84	4,33	0,27	10,55	107,95	2,14	24,76
P95	8,58	0,46	6,22	56,31	12,44	4,77	0,29	11,30	117,84	2,36	26,17
P98	8,65	0,60	7,61	62,50	13,02	5,28	0,32	11,96	136,97	2,74	27,72

Taula 4.7. Valor Z i nivell de significació (p) del test de Kolmogorov-Smirnov, asimetria i curtosi de les característiques químiques de la capa llaurable superficial, amb dades sense transformada i log-transformades.

	Z (K-S)*	p**	Asimetria	Curtosi		Z (K-S)*	p**	Asimetria	Curtosi
pH	1,51	0,02	-0,16	0,52	Log(x+1) pH	1,63	0,01	-0,24	0,62
CEea_{1:5}	6,97	0,00	2,32	6,83	Log(x+1) CEea_{1:5}	6,58	0,00	1,94	4,31
CEes	2,17	0,00	1,48	2,74	Log(x+1) CEes	1,21	0,11	0,46	0,70
CCE	2,12	0,00	0,57	-0,13	Log CCE	3,49	0,00	-1,81	5,40
Cal act	3,50	0,00	0,30	-1,18	Log Cal act	2,69	0,00	-0,58	-0,27
MOT	2,07	0,00	0,50	-0,01	Log(x+1) MOT	1,09	0,19	0,00	0,22
N total	2,67	0,00	0,42	-0,21	Log(x+1) N total	2,48	0,00	0,45	0,94
C/N	2,52	0,00	0,36	2,78	Log(x+1) C/N	2,38	0,00	-0,55	4,06
P	6,21	0,00	1,05	0,45	Log P	3,51	0,00	-0,37	-0,67
K	2,52	0,00	0,63	0,08	Log(x+1) K	1,62	0,01	0,61	-0,65
CIC	0,58	0,88	-0,09	-0,09	Log CIC				

*El valor de Z es basa en la diferència absoluta màxima entre les distribucions acumulades observada i teòrica. **Si $p < 0,05$, les corbes de distribució difereixen de la normalitat.

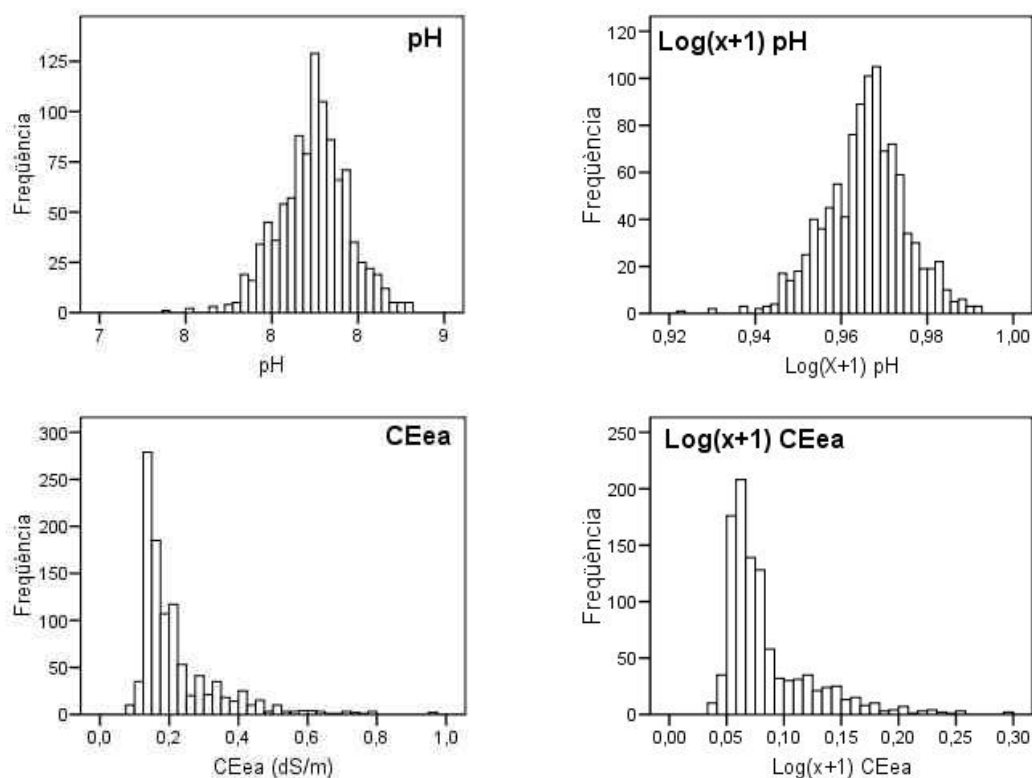


Figura 4.12. Histogrames per les característiques químiques de la capa llaurable superficial. Al'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats.

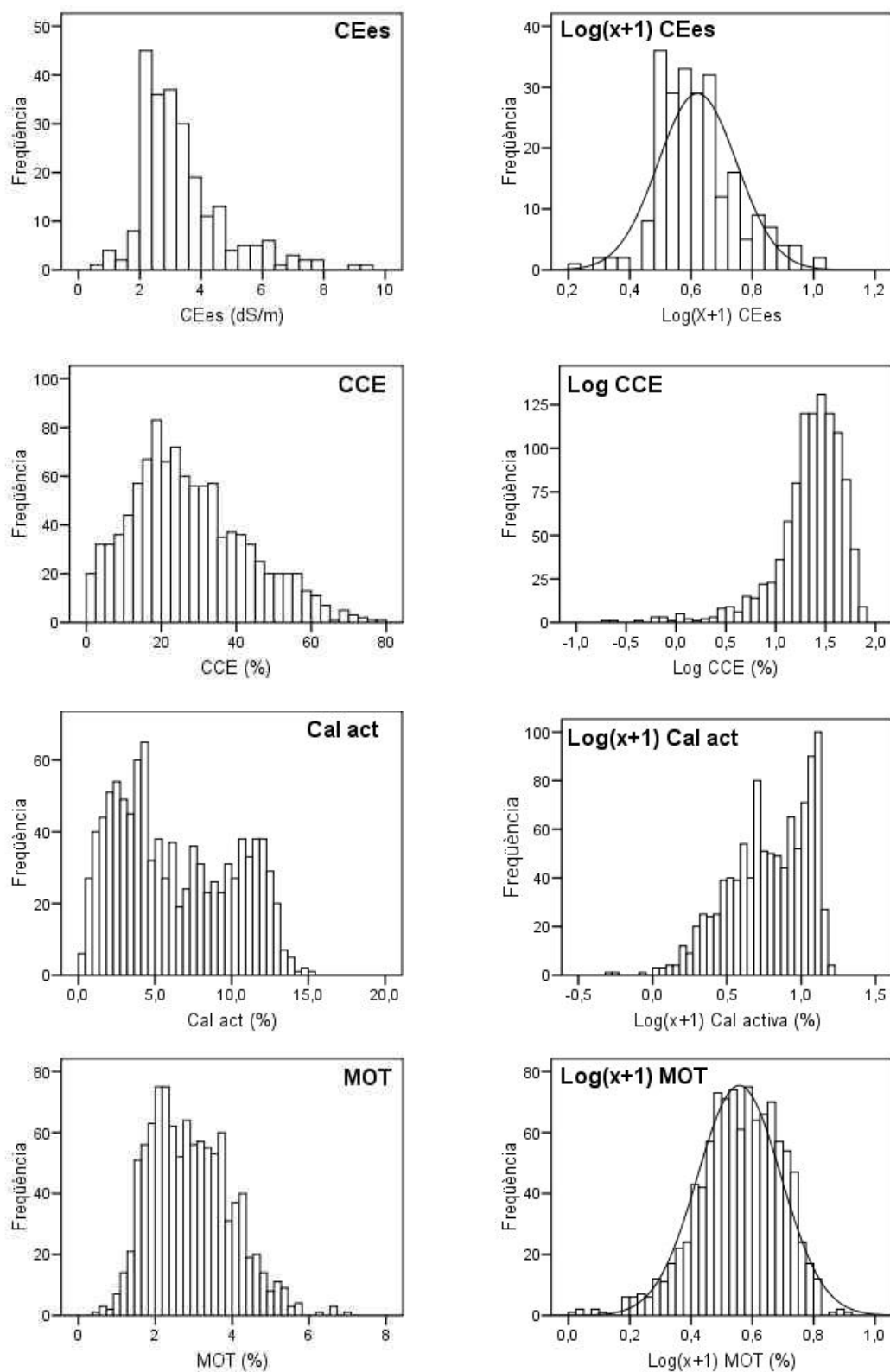


Figura 4.12 (cont.). Histogrames per les característiques químiques de la capa llaurable superficial. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats.

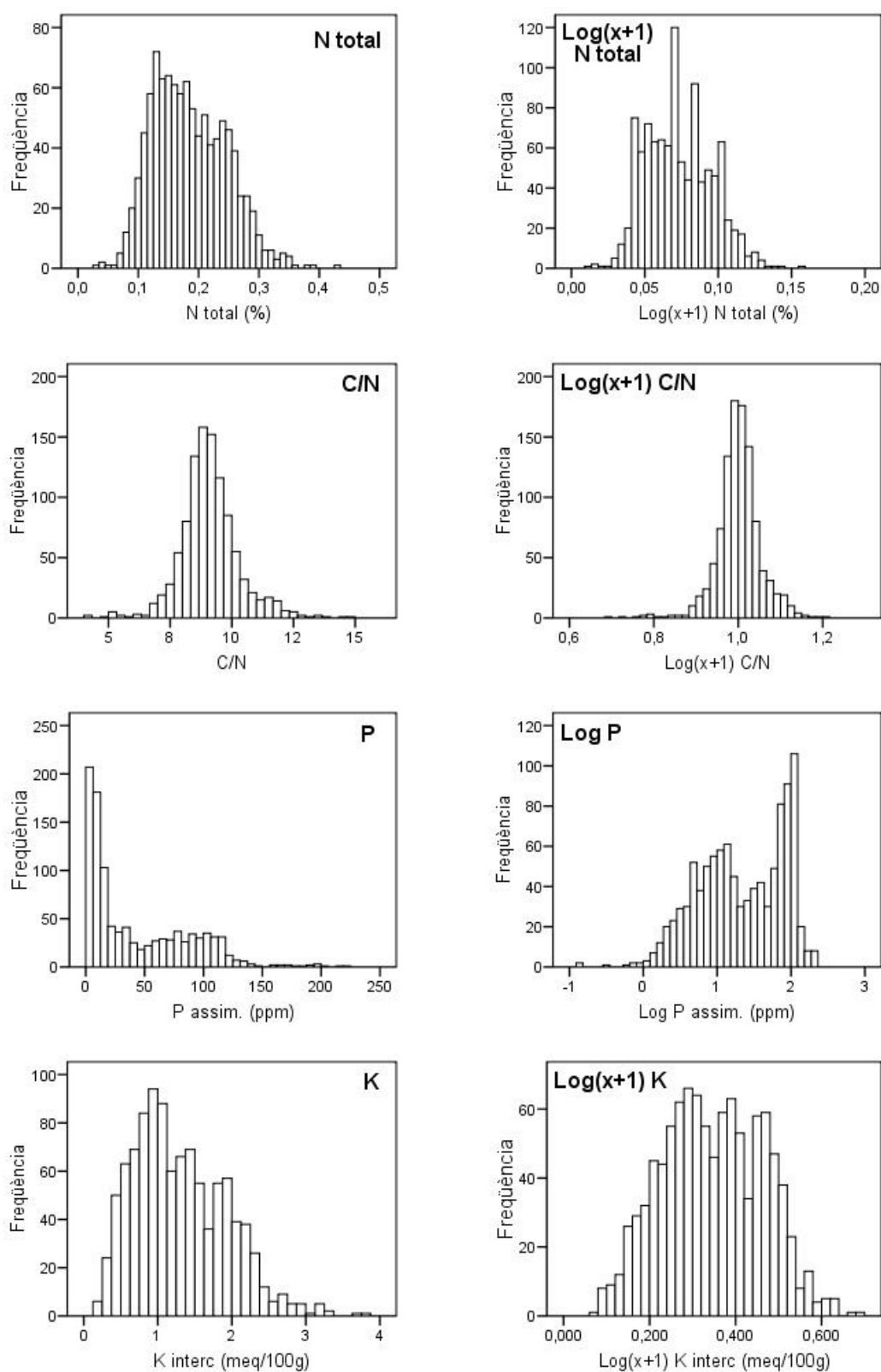


Figura 4.12 (cont.). Histogrames per les característiques químiques de la capa llaurable superficial. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats.

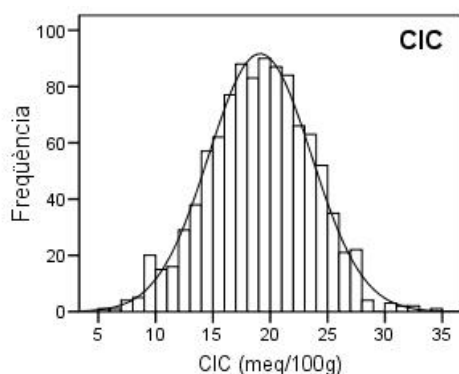


Figura 4.12 (cont.). Histogrames per les característiques químiques de la capa llaurable superficial. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats.

4.3.2.1. pH

La capa llaurable superficial dels sòls avaluats presenta un pH marcadament bàsic, amb valors que oscil·len entre un registre mínim de 7,4 i un màxim de 8,8. El valor mitjà és 8,2. El 25% dels casos (p25) presenta valors de pH iguals o inferiors a 8,1, el 50% (mediana) a 8,3, el 75% (p75) a 8,4, el 90% (p90) a 8,5, el 95% (p95) a 8,6 i el 98% (p98) dels casos a 8,7 (Taula 4.6). En el diagrama de caixa s'observa la presència de 14 valors discordants, dels quals cap és extrem (Figura 4.27). Aquests prenen la consideració d'atípics quan presenten registres inferiors a 7,8 o superiors a 8,8. El conjunt d'aquest registres representa un 1,36% del total de les parcel·les analitzades. Cal remarcar que dels 6 valors atípics superiors, la meitat pertanyen a sòls d'Eivissa i la resta de Mallorca.

El sòls amb carbonat càlcic (la majoria a les Illes Balears), característics de zones semiàrides i àrides, presenten pH de l'ordre de 7,5 a 8,5 (Porta *et al.*, 2003).

Els valors obtinguts de pH coincideixen amb els registrats per Colombàs (2014) en l'estudi dels nivells dels elements traça i macroelements als sòls de les Illes Balears, tot i que el rang de valors sigui menor en el present estudi degut a la menor variabilitat de tipologia de sòls avaluats.

El 78,4% de les parcel·les mostren un pH marcadament bàsic (valors entre 7,4 i 8,4) i un 20,4% lleugerament alcalí (entre 8,4 i 9), segons la classificació realitzada pel Departament d'Agricultura dels EEUU (USDA) (Figura 4.13).

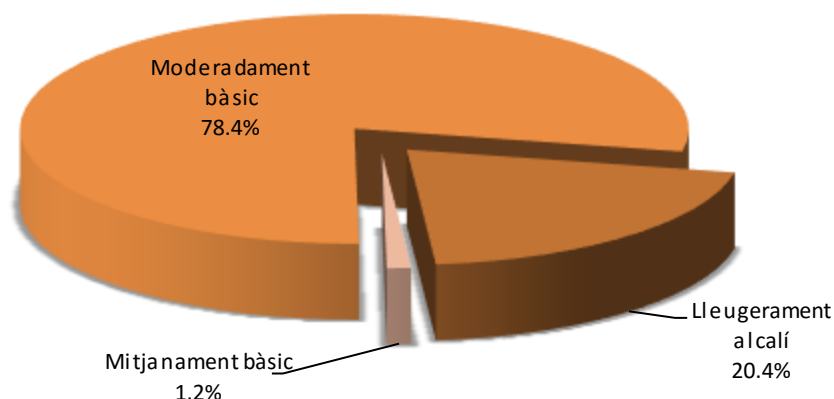


Figura 4.13. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons la mesura del pH de la solució del sòl (%) (Elaborat a partir de USDA).

4.3.2.2. $CE_{ea1:5}$ i CE_{es}

El valor mitjà de la conductivitat elèctrica en l'extracte aquós ($CE_{ea1:5}$) de la capa llaurable superficial és de $0,22 \text{ dS m}^{-1}$, amb un valor mínim de $0,09 \text{ dS m}^{-1}$ i un màxim de $0,97 \text{ dS m}^{-1}$. El valor màxim de la $CE_{ea1:5}$ que presenta el 25% de mostres (p25) és de $0,15 \text{ dS m}^{-1}$, el del 50% (mediana) és de $0,18 \text{ dS m}^{-1}$, el del 75% dels casos $0,25 \text{ dS m}^{-1}$, el del 90% (p90) $0,38 \text{ dS m}^{-1}$, el del 95% és $0,46 \text{ dS m}^{-1}$ i el del 98% és $0,60 \text{ dS m}^{-1}$ (Taula 4.6). El diagrama de caixa permet reconèixer que un 9,0% de les parcel·les analitzades obtenen valors discordants (valors $>0,39 \text{ dS m}^{-1}$), i d'aquests un 3% són valors extrems (valors $>0,54 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 4.27). L'obtenció d'alts valors en $CE_{ea1:5}$ està relacionat directament amb la intensitat del sistema de cultiu utilitzat, i més concretament amb l'abús en les aportacions d'adobats minerals que s'hi realitzen. De les 27 mostres que han donat valors considerats extrems, 25 procedeixen de parcel·les on s'hi desenvolupa una activitat agrícola intensiva. Una altra dada que confirma aquest fet és la procedència de les mostres que han donat valors discordants, el 80,6%

i el 6,5% provenen de parcel·les dedicades al conreu intensiu de patata i hortalisses, respectivament. Pel que fa a la procedència geogràfica de les mostres que obtenen valors discordants, un 83,9% provenen de la zona productora de patata de sa Pobla i municipis dels voltants.

Segons la classificació de l'USDA, el 96,1% de les mostres analitzades no presenten valors limitants per a la producció ($<0,5 \text{ dS m}^{-1}$), i tan sols un 3,9% d'aquestes donen valors lleugerament alts ($\geq 0,5 - <1 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 4.14).

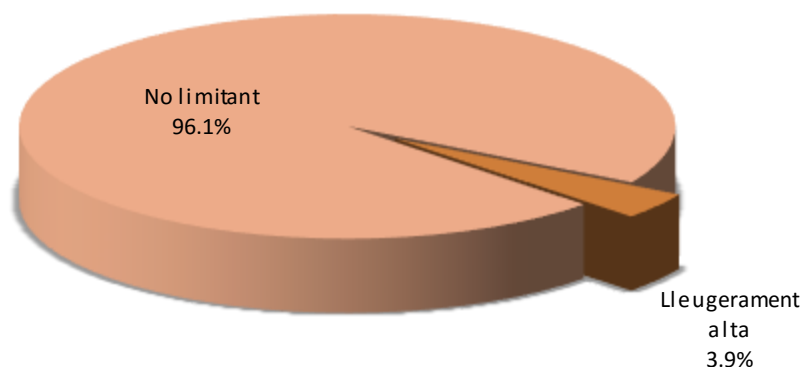


Figura 4.14. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons la mesura de la $\text{CE}_{\text{ea } 1:5}$ (%) (Elaborat a partir de USDA, 1996).

En l'anàlisi de la relació entre la $\text{CE}_{\text{ea } 1:5}$ i el comportament del sòl, s'observa que tan sols un 2,0% de les parcel·les analitzades poden presentar problemes pel correcte desenvolupament del cultius per l'alt contingut de sals (Figura 4.15).

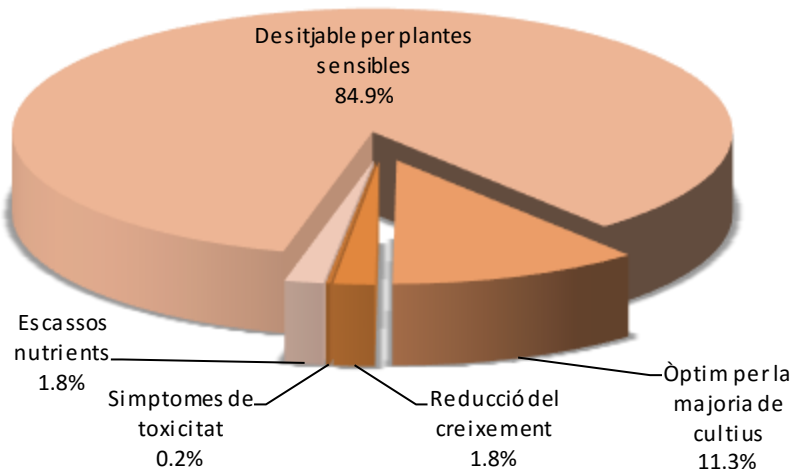


Figura 4.15. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons la relació entre la CEea1:5 i el comportament del sòl (%) (Elaborada a partir de USDA, 1996).

En quant als valors de conductivitat obtinguts en l'extracte de pasta saturada CEes, tenint en compte que aquesta determinació només es realitza en les mostres que obtenen valors superiors a $0,25 \text{ dS m}^{-1}$ en la CEea1:5 (23,5%), oscil·len entre $0,69 \text{ dS m}^{-1}$ (valor mínim) i $9,23 \text{ dS m}^{-1}$ (valor màxim), amb un registre mitjà de $3,37 \text{ dS m}^{-1}$. El valor màxim de la CEes que presenta el 25% de mostres (p25) és $2,39 \text{ dS m}^{-1}$, el del 50% (mediana) és $3,03 \text{ dS m}^{-1}$, el del 75% dels casos (p75) és $3,79 \text{ dS m}^{-1}$, el del 90% (p90) és $5,43 \text{ dS m}^{-1}$, el del 95% (p95) és $6,22 \text{ dS m}^{-1}$ i el del 98% (p98) és $7,61 \text{ dS m}^{-1}$ (Taula 4.6). El diagrama de caixa permet identificar la presència de 17 valors discordants (7,2%) que donen valors superiors a $5,9 \text{ dS m}^{-1}$, 2 dels quals són extrems ($> 8,0 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 4.27).

De les 236 mostres en les quals s'ha realitzat la mesura de la CEes, cap ha mostrat valors que puguin donar símptomes de toxicitat per a qualsevol cultiu, i només dues serien sòls aptes per a plantes tolerants segons la classificació de Richards (1954) i Clarke (1973) (Figura 4.16). Cal remarcar que aquests valors no són representatius del conjunt de sòls, si no d'aquells potencialment susceptibles de tenir problemes per excés de sals.

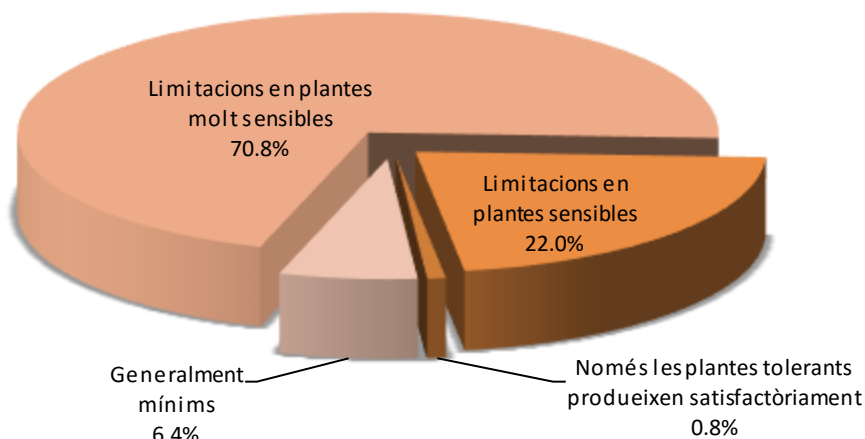


Figura 4.16. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons la mesura de la CEes amb valor de $CE_{ea1.5} > 0,25 \text{ dS m}^{-1}$ (%) (Elaborada a partir de Richards, 1954; Clarke, 1973).

4.3.2.3. CCE

L'amplitud de registres en aquesta determinació és molt elevada, des d'un mínim del 0,19% fins a un màxim del 79,9% (Taula 4.6), indicant la presència des de sòls completament descarbonatats fins altres molt carbonatats. El valor mitjà es situa al 27,53%. El contingut màxim de CCE que presenta el 25% de les parcel·les analitzades (p25) és de 16,21%, el del 50% (mediana) és de 25,32%, el del 75% (p75) de 37,37%, el del 90% (p90) 50,14%, el del 95% (p95) és 56,31% i el del 98% (p98) és de 62,50% (Taula 4.6). En les dades obtingudes per aquesta determinació s'observa una gran dispersió, resultant un rang interquartílic molt elevat (21,16%). En el diagrama de caixa es visualitzen 8 valors atípics, amb valors superiors al 69,11%, que suposen l'0,8% del total de mostres analitzades (Figura 4.27).

Segons els criteris de Villar Mir *et al.* (2008), per a la interpretació del contingut en CCE, la majoria de parcel·les analitzades mostren un caràcter calcari important (76,0%) amb valors superiors al 16% de CCE, i tan sols un 4,1% de les mostres presenten valors inapreciables (<4,0% CCE) (Figura 4.17). Aquesta distribució està directament relacionada amb que l'origen dels carbonats de calci a les Illes Balears està en les roques subjacents, tot i que els materials al·lòctons també en poden produir una

aportació important, per exemple els materials procedents de les pluges de fang (Fiol *et al.*, 2005).

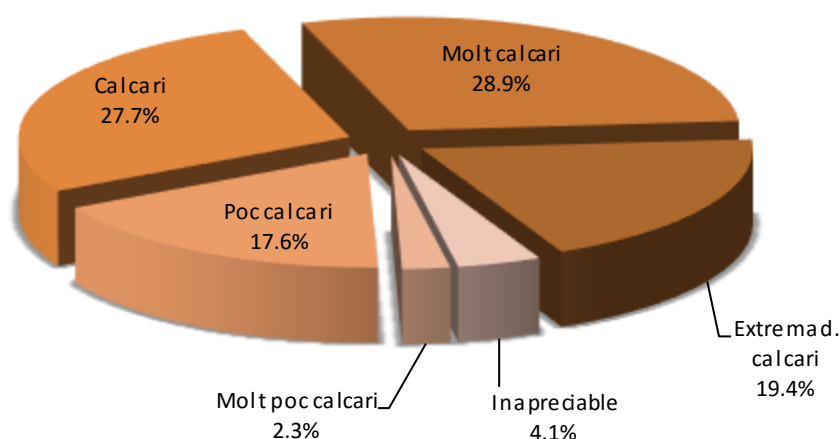


Figura 4.17. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el contingut en CCE (%) (Elaborada partir Villar Mir *et al.*, 2008).

4.3.2.4. Calcària activa

El percentatge en calcària activa en la capa llaurable superficial presenta una mitjana de 6,29%, amb un mínim de 0,1% i un màxim de 15,1% (Taula 4.6). La concentració màxima de calcària activa que mostren el 25% de mostres (p25) és de 3,07%, la del 50% (mediana) és de 6,58%, la del 75% (p75) dels casos 8,37%, la del 90% (p90) 10,20%, la del 95% és 11,40% i la del 98% és 13,78% (Taula 4.6). En el diagrama de caixa de la població dels valors obtinguts per aquesta determinació, no s'observa la presència de cap valor discordant (Figura 4.27).

Pel que fa a la distribució de les mostres segons els criteris d'interpretació de la Junta de Extremadura (1992), la majoria de parcel·les tenen un baix contingut (<6%) i tan sols un 29,1% presenten alts registres (>9%), tot i que el contingut en CCE sigui elevat en la majoria de parcel·les (Figura 4.18).

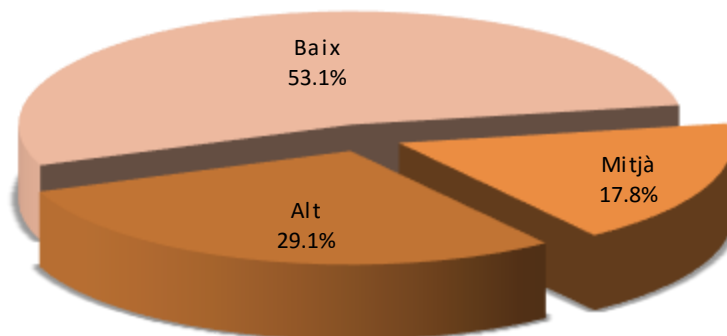


Figura 4.18. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el contingut en calcària activa (%) (Elaborat a partir de Junta de Extremadura, 1992).

4.3.2.4. MOT

El contingut mitjà de MOT és del 2,91%, amb un registre mínim del 0,51% i un màxim del 7,07%. El contingut màxim en MOT que presenta el 25% de les mostres avaluades (p25) és de 2,08%, el del 50% (mediana) és de 2,82%, el del 75% (p75) de 3,64%, el del 90% (p90) 4,33%, el del 95% (p95) és 4,77% i el del 98% (p98) és de 5,28% (Taula 4.6). El diagrama de caixa mostra 5 valors discordants, tots ells amb valors superiors al 6,0% (Figura 4.27).

Els valors de la concentració de matèria orgànica als horitzons superficials obtinguts per Colombàs (2014) han sigut sensiblement superiors, obtenint un valor mitjà de 4,11% i una mediana de 3,40%. Aquestes diferències es deuen a la inclusió de sòls no agrícoles, en els quals es produeix una major acumulació de matèria orgànica.

Tenint en compte la interpretació dels nivells de matèria orgànica en sòls agrícoles de l'àmbit mediterrani realitzada per Villar Mir *et al.* (2008), el 40,3% de les mostres presenten alts continguts, mentre que un 39,4% s'obtenen nivells reduïts (Figura 4.19).

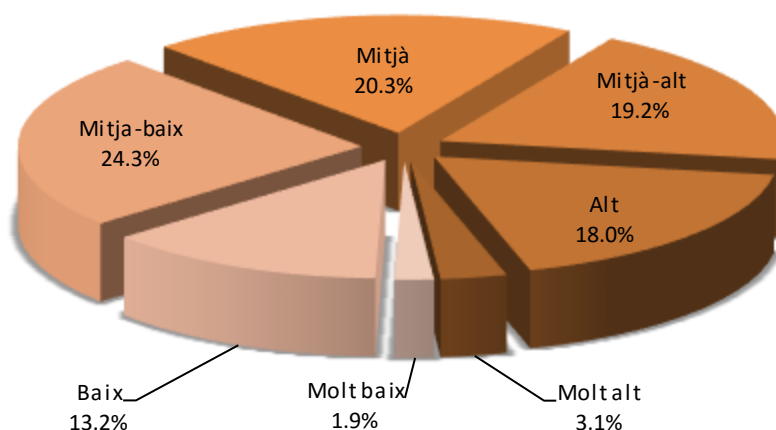


Figura 4.19. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el nivells de MOT (%) (Elaborata a partir de Villar Mir *et al.*, 2008).

En la Figura 4.20 es representa la distribució de les mostres segons la interpretació del contingut de matèria orgànica tenint en compte el tipus de textura del sòl (Legaz i Primo Millo, 1988). Per realitzar aquest anàlisi s'ha partit d'un total de 663 mostres, el que suposa un 64,5% de total de mostres utilitzades per a confeccionar la Figura 4.19. S'observa que aplicant aquesta interpretació s'identifiquen 280 mostres (42,2%) amb elevat contingut en matèria orgànica, i 141 (21,3%) amb un baix nivell.

Si es realitza la comparació entre els dos criteris d'interpretació (Figures 4.19 i 4.20), s'observa que la diferència més notable es dona entre els nombre de parcel·les que presenten nivells baixos; mentre que en la distribució de la Figura 4.19 s'identifica un 39,4% de mostres amb un baix contingut, en la Figura 4.20 tan sols se'n mostra un 21,3%. Aquesta important diferència es deu principalment a la desproporcionada representació que tenen els diferents tipus de conreu en aquesta gràfica, donat que són els cultius intensius (habitualment amb continguts en matèria orgànica més elevats) els que aporten el major nombre de mostres. Per això, aquest diferència és atribuïble principalment a la procedència del tipus de conreu practicat a la parcel·la.

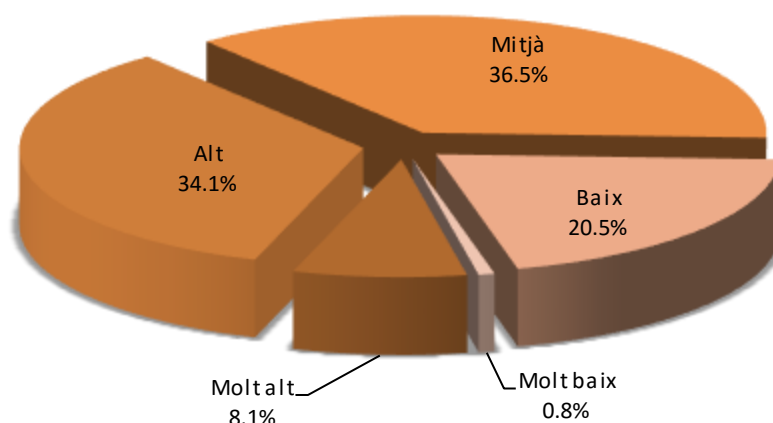


Figura 4.20. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el nivells de MOT en funció de la textura (%) (Elaborada a partir de Legaz i Primo Millo, 1988).

4.3.2.5. *N total*

La concentració de *N total* a la capa llaurable superficial dels sòls analitzats varia entre un 0,03% i un 0,43%, resultant un valor mitjà de 0,19%. El màxim percentatge de *N total* que presenta el 25% de les parcel·les analitzades (p25) és de 0,14%, el del 50% (mediana) és de 0,18%, el del 75% (p75) de 0,23%, el del 90% (p90) 0,27%, el del 95% (p95) és 0,29% i el del 98% (p98) és de 0,32% (Taula 4.6). El diagrama de caixa presenta 3 valors discordants a la part superior (valor de *N* superior a 0,37%), representant un 0,29% del total de les parcel·les estudiades (Figura 4.27).

Tenint en compte els intervals per a la interpretació del contingut de *N total* (Junta de Extremadura, 1992), en la majoria de mostres el contingut en *N total* és satisfactori, i només un 4,1% d'aquestes presenten un baix nivell (Figura 4.21).

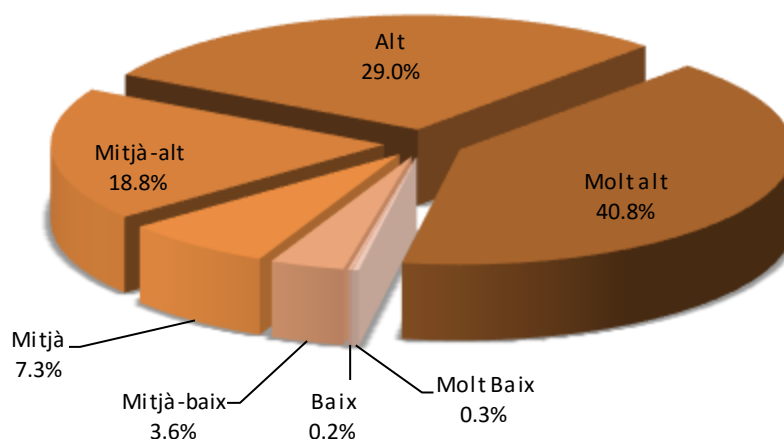


Figura 4.21. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el nivell de N total (%) (Elaborat a partir de Junta de Extremadura, 1992).

4.3.2.6. C/N

Els valors per a la relació C/N varien entre 4,00 i 14,96, essent la mitjana de 9,13 (Taula 4.6). El valor màxim de la relació C/N que presenta el 25% de les mostres avaluades (p25) és de 8,48, el del 50% (mediana) és de 9,04%, el del 75% (p75) de 9,67%, el del 90% (p90) 10,55, el del 95% (p95) és 11,30 i el del 98% (p98) és de 13,78 (Taula 4.6). En el diagrama de caixa s'identifiquen 44 valors atípics en la part superior i 16 en la inferior (Figura 4.27), representant un 5,8% de total de mostres avaluades. Es consideren valor atípics els superiors a 11,46 i els inferiors a 6,69. En quant al registre de valors extrems, se'n han obtingut 19 (1,85% del conjunt de mostres), obtenint aquesta nominació els valors superiors a 13,25 i inferiors a 6,69.

En la distribució de les mostres segons el valor de la relació C/N (Figura 4.22), s'observa que la majoria de parcel·les (70,6%) obtenen valors entre 8 i 10, el que denota que existeix un equilibri entre els processos d'humificació i mineralització, posant de manifest la capacitat del sòl per mineralitzar el N orgànic present. En un 12,7% de les mostres es dona una excessiva alliberació de N, el que pot indicar un esgotament excessiu per ús intensiu. En tan sols un 1,2% de les mostres es donen valors alts (>15), el que denota que en aquestes parcel·les hi ha molta matèria orgànica sense descompondre.

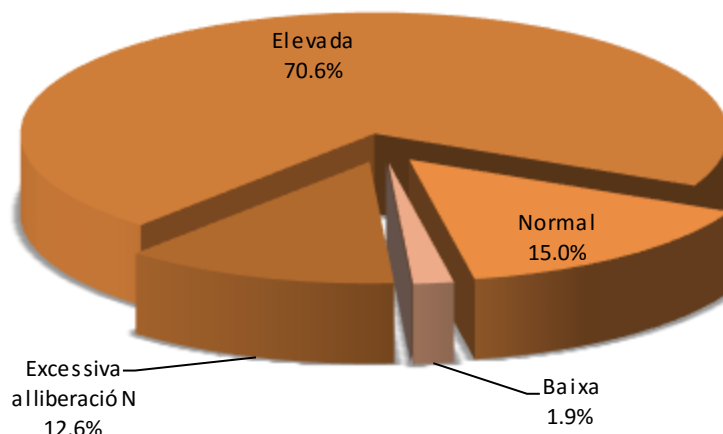


Figura 4.22. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons els valors d'alliberació de N estimada a partir de la relació C/N (%) (Elaborat a partir de Junta de Extremadura, 1992).

4.3.2.7. *P assimilable*

El contingut en P assimilable determinat mitjançant el mètode Olsen en les parcel·les mostrejades oscil·la entre un valor mínim de $0,13 \text{ mg Kg}^{-1}$ i un màxim de $223,0 \text{ mg Kg}^{-1}$, donant un registre mitjà de $43,0 \text{ mg Kg}^{-1}$. El contingut màxim de P assimilable en el 25% de les mostres estudiades (p25) és de $7,57 \text{ mg Kg}^{-1}$, en el 50% (mediana) és de $21,77 \text{ mg Kg}^{-1}$, en el 75% (p75) és de $77,17 \text{ mg Kg}^{-1}$, en el 90% de mostres (p90) és de $107,95 \text{ mg Kg}^{-1}$, en el 95% (p95) és de $117,84 \text{ mg Kg}^{-1}$ i en el 98% (p98) és de $136,97 \text{ mg Kg}^{-1}$ (Taula 4.6). El diagrama de caixa dels valors de P assimilable analitzats revela la presència de 9 valors discordants (valors que superen els $181,6 \text{ mg Kg}^{-1}$), que representen un 0,9% de les mostres analitzades (Figura 4.27). Cal remarcar que un 66,7% de les parcel·les que han donat valors discordants provenen del conreu de patata del municipi de Sa Pobla, com a conseqüència de les elevades aportacions de esmenes orgàniques i adobs químics aportats. Les mostres de les parcel·les dedicades al cultiu intensiu, com són el conreu de tubercles i hortalisses, suposen un 90,8% del conjunt de mostres que superen 100 mg Kg^{-1} de fòsfor assimilable. Aquesta dada indica que s'està realitzant un abús en l'ús de fertilitzants fosfòrics en les parcel·les que es porta a terme aquest sistema productiu.

Pel que fa a la distribució de les mostres segons el contingut de P assimilable en funció de la textura que es representa en la Figura 4.23, s'observa que del total de les mostres analitzades un 41,6% d'aquestes obtenen valors baixos en front d'un 49,9% que donen un elevat contingut. Aquesta distribució mostra una relació directa amb el sistema de cultiu, en les parcel·les en regadiu el valor mitjà es més de 5 vegades superior que el de les parcel·les en secà.

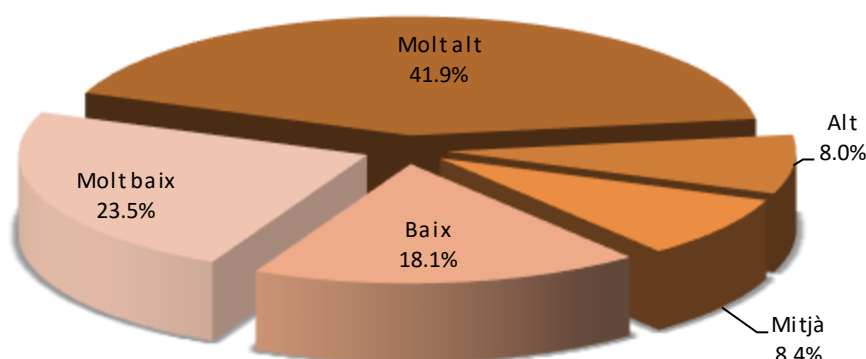


Figura 4.23. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons contingut P assimilable en funció de la textura (%) (Elaborat a partir de Garcia Serrano *et al.*, 2010).

4.3.2.7. K intercanviable

La concentració mitjana de K intercanviable en la capa llaurable superficial del mostreig avaluat és $1,30 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, amb valor mínim de $0,15 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ i un màxim de $3,85 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$. El valor màxim de K intercanviable obtingut pel 25% dels casos (p25) és de $0,82 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 50% (mediana) és de $1,19 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 75% (p75) és de $1,77 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 90% (p90) és de $2,14 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 95% (p95) és de $2,36 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ i el del 98% del casos (p98) es del $2,74 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ (Taula 4.6). En la Figura 4.27 es presenta el diagrama de caixa, en el qual s'identifiquen 7 valors discordants (amb registres superiors al $3,22 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$), dels qual un és extrem ($>4,66 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$).

En la classificació del contingut en K intercanviable de les parcel·les analitzades en funció de la textura (Garcia Serrano *et al.*, 2010), s'observa que la majoria (81,0%)

mostren alts registres, en front del 6,2% que obtenen nivells reduïts (Figura 4.24). Com succeeix en el cas del contingut en fòsfor, la distribució dels valors de potassi ve condicionat pel sistema de cultiu que es realitza, tot i que les diferències no són tan elevades. Les parcel·les en regadiu representen un 81,0% de les mostres que superen $1,50 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, obtenint un valor mitjà 1,5 vegades superior que el de les parcel·les de secà.

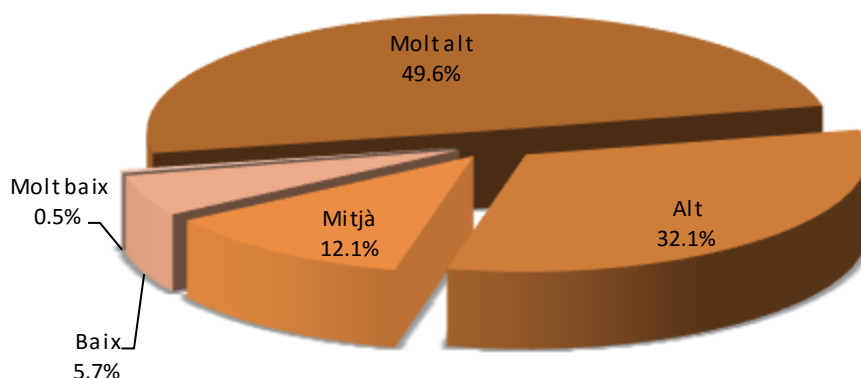


Figura 4.24. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons contingut K intercanviable en funció de la textura (%) (Elaborada a partir de García Serrano *et al.*, 2010).

4.3.2.8. CIC

Els registres de la CIC oscil·len entre 5,58 i $34,53 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, obtenint un valor mitjà de $19,11 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ (Taula 4.6). El valor màxim de la CIC que presenta el 25% de les parcel·les analitzades (p25) és de $16,10 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 50% (mediana) és de $19,19 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 75% (p75) és de $22,19 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 90% (p90) és de $24,76 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 95% (p95) és de $26,17 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ i el del 98% de casos és de $27,72 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ (Taula 4.6). La població mostra un 0,68% de valors discordants, amb registres superiors i inferiors a 32,32 i $6,97 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, respectivament (Figura 4.27).

Els resultats de la CIC obtinguts per a la capa llaurable superficial determinen que un 97,06% de les parcel·les avaluades obtenen valors superiors a $8 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, essent aquest valor un mínim acceptable per a un horitzó Ap (Porta *et al.*, 2003).

Segons la classificació de Vadell *et al.* (1996), per l'avaluació del nivell de la CIC d'un sòl, tant sols un 6,0% de les parcel·les presenten valors que denoten un índex de fertilitat molt baix (Figura 4.25).

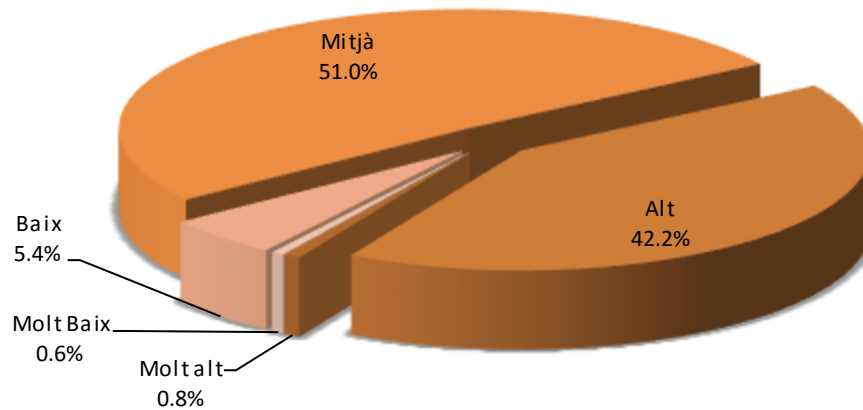


Figura 4.25. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el valor de la CIC (%) (Elaborata partir de Vadell *et al.*, 1996).

En canvi, si s'aplica la classificació de Marañés *et al.* (1998), per a la interpretació de la CIC segons la classe textural, s'observa que el percentatge de parcel·les que mostren un baix nivell de la CIC augmenta considerablement, assolint un 48,3% del total de mostres avaluades (Figura 4.26).

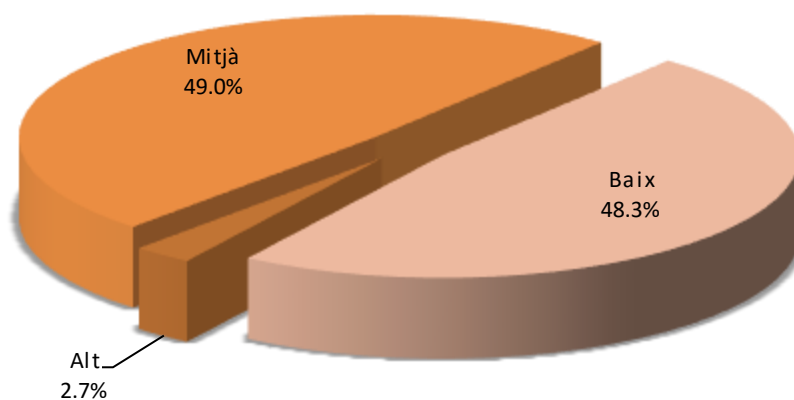


Figura 4.26. Classificació de les mostres de la capa llaurable superficial segons el valor de la CIC en funció de la textura (%) (Elaborat a partir de Marañés *et al.*, 1998).

Tenint en consideració l'afirmació de Micó, que un valor mínim acceptable de la CIC per què un horitzó Ap doni una producció satisfactòria en regadiu és de 10 meq 100g⁻¹, sempre que els altres factors es trobin en nivells adequats, el 97,0% de les parcel·les analitzades tenen un potencial productiu satisfactori si es conreen en regadiu.

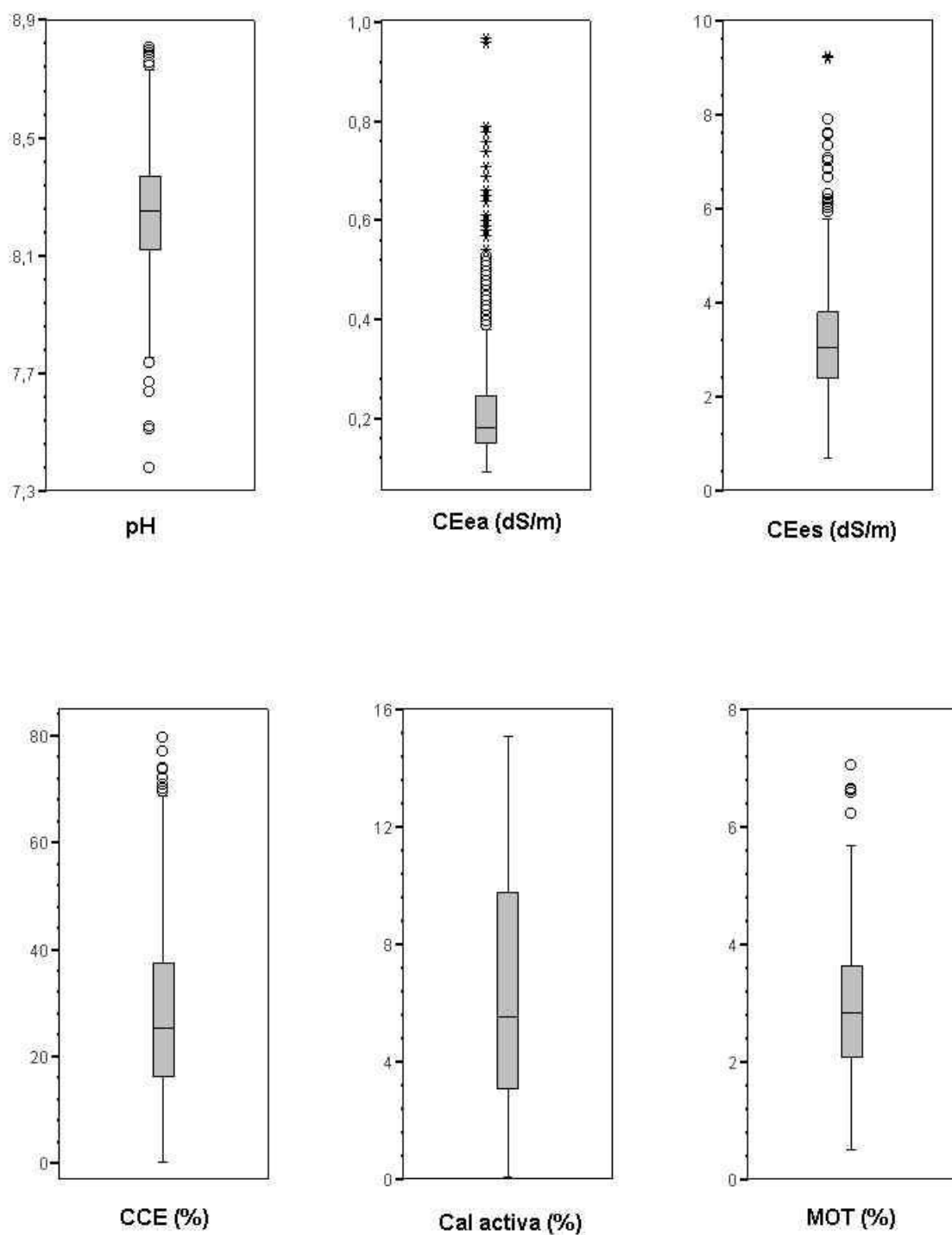


Figura 4.27. Diagrames de caixa per les característiques químiques de la capa llaurable superficial. En cercles es representen els valors atípics (superen 1,5 cops el rang interquartílic) i en estrelles el valors extrems (superen en 3 cops el rang interquartílic).

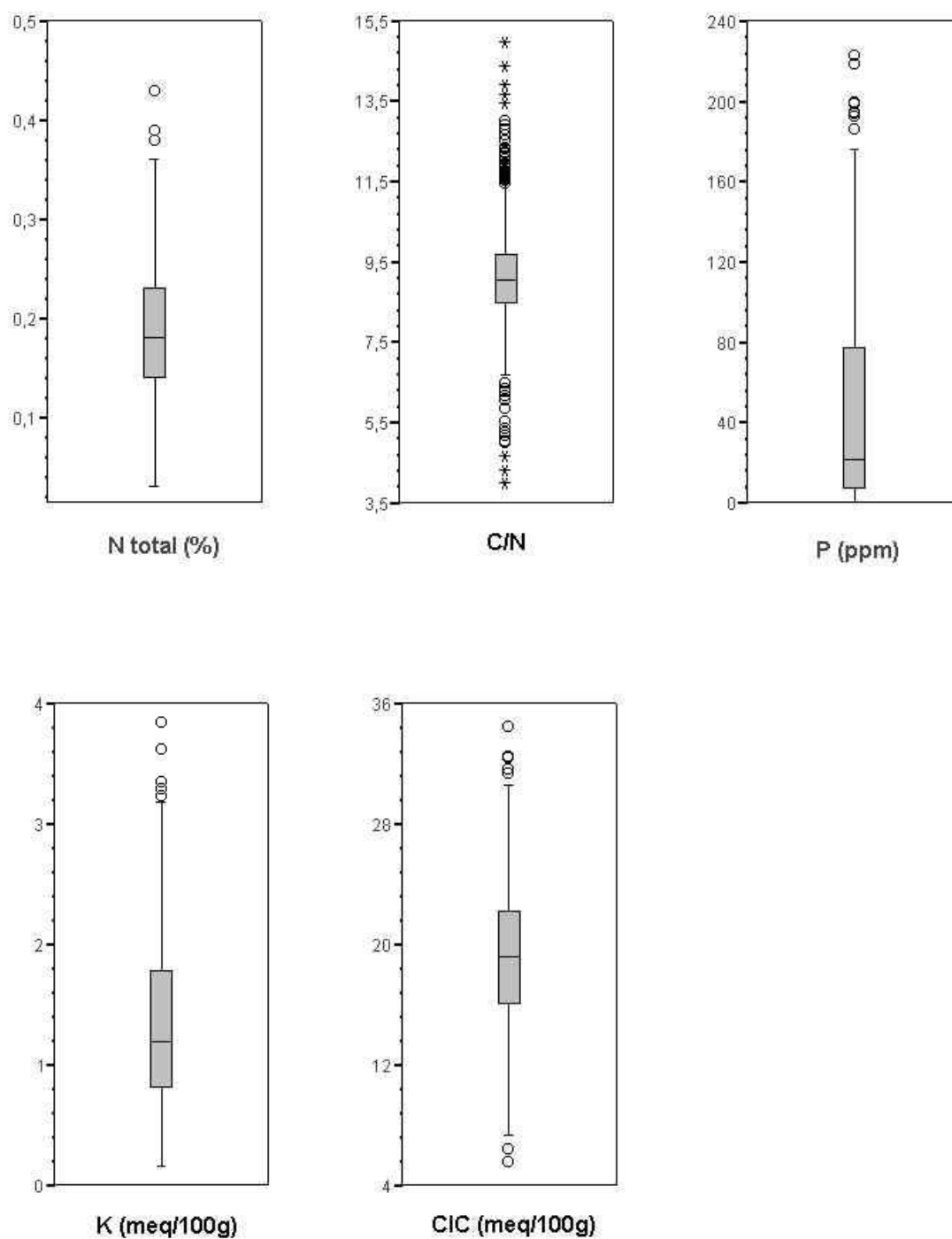


Figura 4.27 (cont.). Diagrames de caixa per les característiques químiques de la capa llaurable superficial. En cercles es representen els valors atípics (superen 1,5 cops el rang interquartílic) i en estrelles el valors extrems (superen en 3 cops el rang interquartílic).

4.3.3. Relacions estadístiques entre les diferents propietats i característiques edàfiques de la capa llaurable superficial

En la Taula 4.8 es mostren els coeficients de correlació i la significació entre les propietats i característiques edàfiques analitzades. Els coeficients de correlació corresponen amb el coeficient Rho d'Spearman, donat que tan sols la CIC segueix una distribució de la població normal.

A partir dels resultats obtinguts de la matriu de correlació cal comentar algunes relacions trobades.

El pH mostra una correlació molt altament significativa ($p < 0,001$) amb totes les variables estudiades, excepte per la relació C/N. En el cas del contingut de CCE i la calcària activa ($p < 0,001$), aquesta és positiva en correspondència amb el processos químics que es produeixen en el sòl, donat que un augment del contingut de carbonat càlcic pot relacionar-se amb un augment del pH (Micó, 2005; Adrover *et al.*, 2005). Per a la resta de variables les correlacions han sigut negatives, destacant el cas de la CEEa_{1:5} i la MOT, on s'observa que un augment del pH estaria relacionat amb una disminució de la conductivitat elèctrica (Micó, 2005) i del contingut de matèria orgànica total (Adrover *et al.*, 2009).

El contingut en matèria orgànica presenta un nivell de correlació molt alt ($p < 0,001$) amb el N, el P i K, presentant coeficients de correlació alts pel P (0,650) i el K (0,589) i molt alt en el cas del N (0,947). Aquests alts valors del N, P i K són atribuïbles a que les terres fertilitzades també són les que presenten els majors continguts en matèria orgànica. Aquests alts continguts poden ser degut a les aportacions de fems o a l'efecte combinat d'aportacions d'esmenes orgàniques i fertilitzants (Colombàs, 2015).

Com han observat altres autors (Baïoumy *et al.*, 2005), el contingut en CCE i calcària activa presenta una correlació negativa amb el contingut d'argiles, ja que aquests actuen com a factor de dilució dels elements que formen les argiles.

La CIC està positivament correlacionada amb el contingut de MOT i argiles, el que concorda amb els resultats obtinguts per altres autors (Farrús i Vadell, 2002; Micó, 2005). El 58,6% de la CIC es pot explicar a partir del continguts de matèria orgànica i

argiles, contribuint la matèria orgànica 5'5 vegades més que el contingut d'argiles, entrant dins l'interval habitual (entre 3 i 8 vegades superior) (Colombàs, 2014). La majoria d'equacions de predicció de la CIC s'estableixen a partir de la fracció de l'argila i la matèria orgànica i eventualment el pH (Bell i van Keulen, 1995; Johnson *et al.*, 2000; Saña *et al.*, 1996).

L'equació de regressió obtinguda per a les dades de la capa superficial presenta la següent expressió:

$$CIC = 1,88 \text{ MOT} + 0,34 \text{ Argiles} + 2,20$$

$$R^2 = 0,59 \quad \text{Error estàndard de l'estimació (EEE)} = 3,00$$

La inclusió del contingut en llims en la recta de regressió no millora significativament la variància explicada, passant del 58,6% al 59,1%, concordant amb els resultats obtinguts per Micó (2005). Aquest resultat indica que la fracció de llims té un escàs pes en el valor de la CIC. La inclusió de la calcària activa tampoc produeix cap millora en l'ajust de l'equació.

Taula 4.8. Matriu de correlacions bivariades entre propietats i les característiques edàfiques de la capa llaurable superficial, on es mostren el coeficient Rho s'Spearman (CC), la significació (sig.) i el nombre de mostres (n).

		Ar	LI	Arg	pH	CEea	CCE	Cal act	MOT	N total	C/N	P	K
LI	CC	-0,504											
	Sig.	***											
	n	663											
Arg	CC	-0,633	-0,251										
	Sig.	***	***										
	n	663	663										
pH	CC	0,099	0,065	-0,199									
	Sig.	*	ns	***									
	n	663	663	663									
CEea	CC	-0,020	-0,115	0,139	-0,578								
	Sig.	ns	**	***	***								
	n	663	663	663	1028								
CCE	CC	0,276	0,121	-0,400	0,166	-0,010							
	Sig.	***	**	***	***	ns							
	n	662	662	662	1027	1027							
Cal act	CC	0,095	0,241	-0,288	0,213	-0,070	0,907						
	Sig.	*	***	***	***	*	***						
	n	662	662	662	1027	1027	1027						
MOT	CC	-0,037	-0,132	0,207	-0,540	0,536	-0,190	-0,280					
	Sig.	ns	**	***	***	***	***	***					
	n	663	663	663	1028	1027	1027	1027					
N	CC	-0,106	-0,117	0,268	-0,567	0,570	-0,255	-0,331	0,947				
	Sig.	**	**	***	***	***	***	***	***				
	n	663	663	663	1027	1027	1026	1026	1027				
C/N	CC	0,217	-0,104	-0,150	-0,022	0,022	0,179	0,106	0,369	0,090			
	Sig.	***	***	***	ns	ns	***	**	***	**			
	n	663	663	663	1027	1027	1026	1026	1027	1027			
P	CC	-0,029	-0,155	0,215	-0,468	0,641	-0,099	-0,178	0,650	0,690	0,051		
	Sig.	ns	***	***	***	***	**	***	***	***	ns		
	n	663	663	663	1028	1028	1027	1027	1028	1027	1027		
K	CC	-0,257	-0,212	0,521	-0,357	0,531	-0,367	-0,352	0,589	0,652	-0,041	0,661	
	Sig.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	
	n	663	663	663	1026	1026	1025	1025	1026	1025	1025	1026	
CIC	CC	-0,380	-0,149	0,638	-0,317	0,250	-0,359	-0,299	0,520	0,575	-0,029	0,353	0,562
	Sig.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	***
	n	663	663	663	1028	1028	1027	1027	1028	1027	1027	1028	1026

* La correlació és significativa al $p < 0,05$; ** La correlació és significativa al $p < 0,01$; *** La correlació és significativa al $p < 0,001$.

4.3.4. Anàlisi factorial de les diferents propietats i característiques edàfiques de la capa llaurable superficial

Segons el resultat obtinguts de l'anàlisi factorial (Taula 4.9), per el conjunt de propietats i característiques edàfiques avaluades, el 60,66% de la variància pot esser explicada mitjançant 2 components. En la Taula 4.9 es mostren les variables incloses dins cada un del components principals identificats, així com els percentatges de variància que explica cada un d'ells.

El primer factor (C1) explica el 45,12% de la variabilitat de les mostres, el qual inclou 6 variables amb elevat pes ($>0,650$), i 5 amb pes reduït. D'aquestes 6 variables tan sols el pH presenta signe negatiu. El segon component (C2) resumeix el 15,54% de la variació, essent les variables del contingut de CCE, calcària activa i argiles els que tenen major pes.

Taula 4.9. Matriu de components rotats amb el mètode de rotació *varimax* amb normalització Kaiser per a les dades de la capa llaurable superficial.

Variables	Components Principals	
	C1	C2
pH	-0,770	-0,085
CEea _{1:5}	0,733	-0,047
Llims	-0,041	-0,311
Argiles	0,158	0,668
CCE	-0,069	-0,879
Calcària activa	-0,141	-0,820
MOT	0,827	0,246
N total	0,865	0,309
P assimilable	0,818	0,185
K intercanviable	0,640	0,489
CIC	0,450	0,593
Autovalor	4,963	1,709
Variància explicada	45,12%	15,54%

L'adscripció de les variables a cada factor és mostra a la figura 4.28, on es representa la projecció de la matriu factorial. La proximitat entre variables és indicativa d'un comportament similar (variables positivament correlacionades) i al contrari, variables

del mateix factor en posicions distants indiquen comportament oposat (variables negativament relacionades) (Miralles, 2006). Per començar, tenint en compte el comportament de les diferents variables avaluades, l'anàlisi factorial permet apreciar l'existència de 2 grups clarament diferenciats. S'observa que en el segon quadrant es troben les variables que tenen una major influència sobre la fertilitat química, com són el contingut en argiles, matèria orgànica, CIC i potassi. Aquestes variables estan fortament condicionades pel maneig de cultiu, per la qual cosa aquest és pot considerar un "factor antropogènic". Dins aquest grup també s'inclou el nitrogen, el qual està vinculat amb la fertilització orgànica, i el fòsfor assimilable, relacionat tant amb la fertilització orgànica com la mineral. La proximitat de la CE_{Ea1:5} al conjunt d'aquestes variables, tot i no estar en el mateix quadrant, denota que també està condicionada pel sistema de conreu practicat.

A l'altre extrem, en el tercer quadrant, es troben les variables relacionades amb la naturalesa calcària del material originari (CCE i calcària activa), i que el seu contingut es manté independentment del maneig que es faci. En aquest grup també s'hi inclou el pH i els llims, dos paràmetres que presenten una relació directa amb el contingut en carbonats.

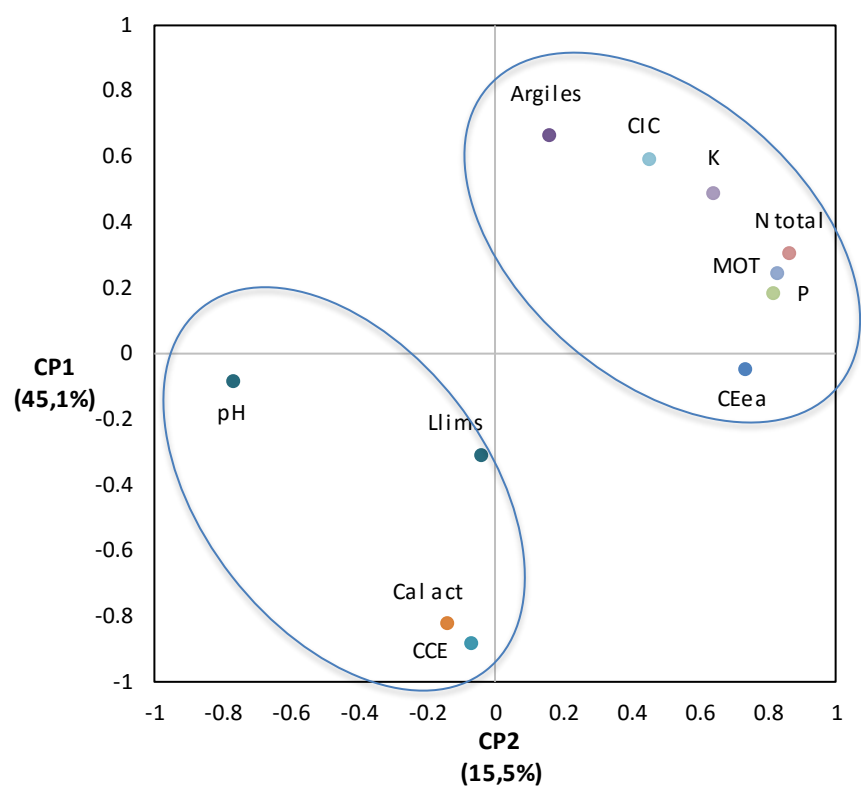


Figura 4.28. Representació gràfica dels components principals i identificats .

4.4. PROPIETATS I CARACTERÍSTIQUES FÍSICOQUÍMIQUES DE LA CAPA PROFUNDA

En aquest apartat es mostren els resultats obtinguts a partir de l'estudi de les propietats i característiques edàfiques de les mostres seleccionades de la capa profunda del sòls agrícoles de les Illes Balears.

4.4.1. Característiques i propietats físiques de la capa profunda

En la Taula 4.10 es mostren els paràmetres estadístics descriptius de les característiques físiques analitzades.

Taula 4.10. Estadístics de les característiques físiques de la capa profunda.

Estadístic	Arenes (%)	Llims (%)	Argiles (%)
n	35	35	35
Mediana	33,0	36,0	29,0
Mitjana	34,5	36,6	28,9
DE	11,7	8,3	8,2
DER (%)	33,8	22,6	28,3
Mínim	21,0	11,0	11,0
Màxim	78,0	55,0	44,0
P25	27,0	33,0	23,0
P75	41,0	41,0	35,0
P90	47,4	49,8	40,4
P95	63,6	52,6	42,4
P98	78,0	55,0	44,0

4.4.1.1. Arenes, llims i argiles

En la Taula 4.11, on es mostren els valors resultants de l'aplicació del test de Shapiro-Wilk, la asimetria i la curtosi, s'observa que les tres variables avaluades segueixen una distribució normal, tot i que en el cas de les arenes s'hagi realitzat la transformació logarítmica per assolir la normalitat de la distribució de la població.

Taula 4.11. Valor de l'estadístic i nivell de significació (p) del test de Shapiro-Wilk, asimetria i curtosi de les característiques físiques de la capa profunda, amb dades sense transformai log-transformades.

	Z (K-S)*	p**	Asimetria	Curtosi		(K-S)*	p**	Asimetria	Curtosi
Arenes	0,88	0,00	1,23	2,43	Log arenes	0,96	0,22	0,08	0,57
Llims	0,94	0,06	-0,01	0,47	Log llims				
Argiles	0,98	0,79	-0,04	-0,27	Log argiles				

*El valor de Z es basa en la diferència absoluta màxima entre les distribucions acumulades observada i teòrica. **Si $p < 0,05$, les corbes de distribució difereixen de la normalitat.

Els histogrames de les diferents característiques químiques estudiades s'exposen a la Figura 4.29.

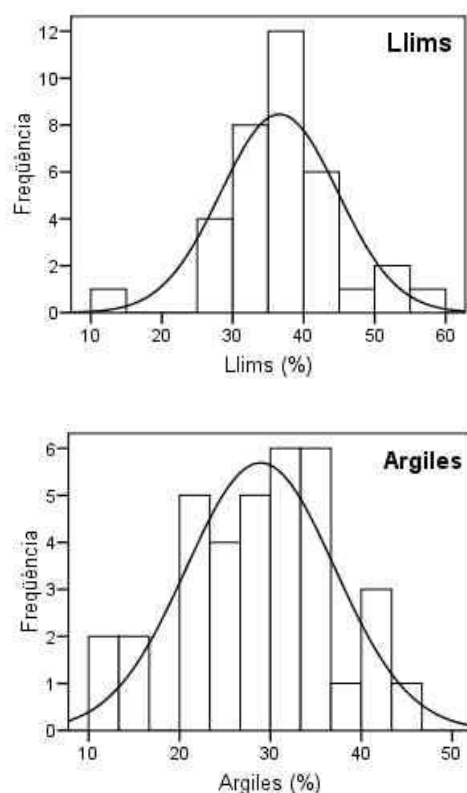


Figura 4.29. Histogrames per les característiques físiques de la capa profunda. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats.

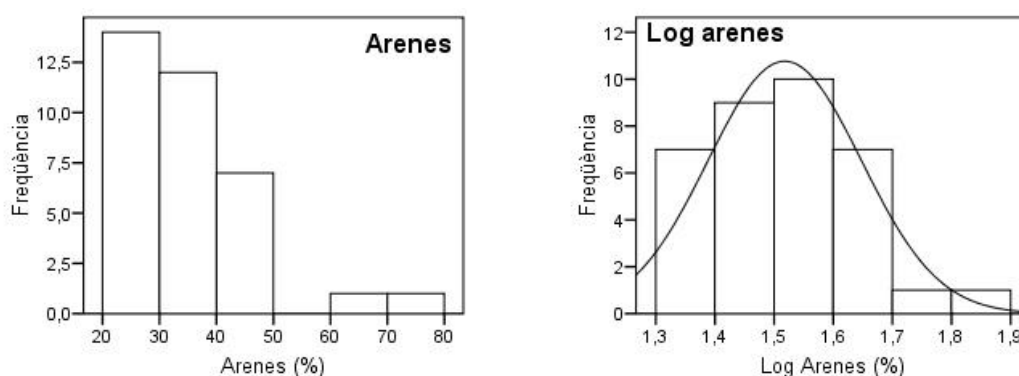


Figura 4.29 (cont.). Histogrames per les característiques físiques de la capa profunda. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats.

El contingut d'arenas obté un valor entre un 21,0% i un 78,0%, obtenint un valor mitjà del 34,5%. El valor màxim del percentatge d'arenas del 25% (p25) de les mostres de la capa profunda avaluades és del 27,0%, el del 50% (mediana) és del 33,0%, el del 75% (p75) és del 41,0%, el del 90% (p90) és del 47,4%, el del 95% (p95) és del 63,6% i el del 98% (p98) és del 78,0% (Taula 4.10). El diagrama de caixa mostra dos valors discordants, situats a l'extrem superior (Figura 4.30), representant un 5,71% del conjunt de mostres analitzades. Aquestes dues mostres pertanyen als municipis de Sa Pobla i Maó.

Pel que fa al percentatge de llims en la capa profunda, aquesta varia entre un valor mínim del 11,0% i un màxim del 55,0%, essent el valor mitjà del 36,6%. El valor màxim en contingut de llims pel 25% (p25) de les mostres és del 33,0%, el del 50% (mediana) és del 36,0%, el del 75% (p75) és del 41,0%, el del 90,0% (p90) és del 49,8%, el del 95,0% (p95) és del 52,6% i el del 98,0% (p98) és del 55,0% (Taula 4.10). El diagrama de caixa permet identificar un sol valor discordant, amb un valor superior al 53,0% de contingut de llims (Figura 4.30), procedent d'una parcel·la del terme municipal de Sant Llorenç.

En quant al contingut d'argiles, varia entre un 12,0% i un 56,0%, amb un valor mitjà del 37,4%. El contingut màxim d'argiles pel 25,0% (p25) de les parcel·les analitzades és del 23,0%, el del 50,0% (mediana) és del 29,0%, el del 75,0% (p75) és del 35,0%, el del

90,0% (p90) és del 40,4%, el del 95,0% (p95) és del 42,4% i el del 98,0% (p98) és del 44,0% (Taula 4.10). El diagrama de caixa de la població dels valors del continguts d'argiles no revela la presència de valors discordants (Figura 4.30).

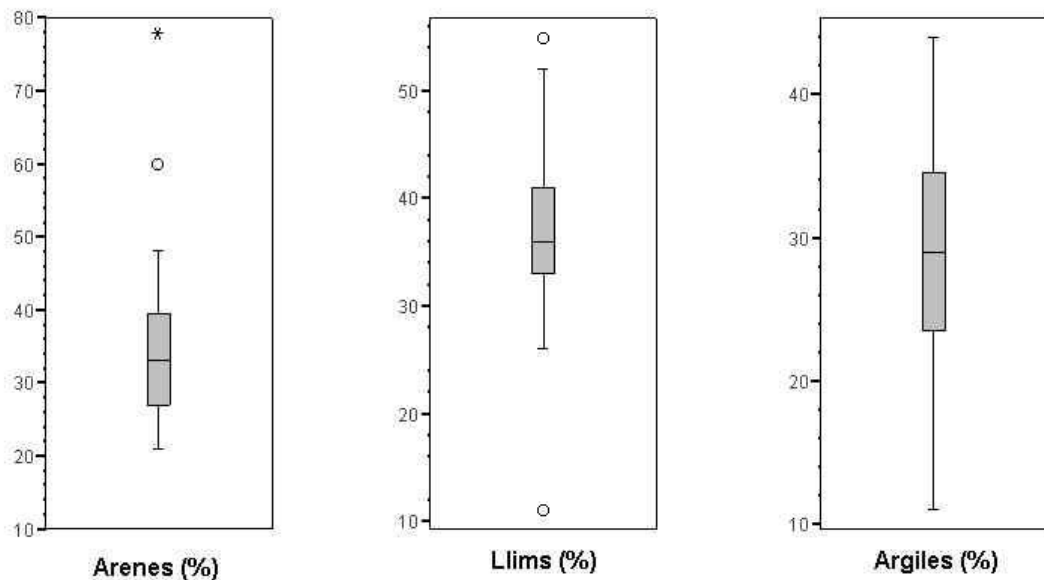


Figura 4.30. Diagrames de caixa pels continguts d'arenes, llims i argiles de la capa profunda. En cercles es representen els valors atípics (superen 1,5 cops el rang interquartílic) i en estrelles el valors extrems (superen en 3 cops el rang interquartílic).

Tenint en compte la classificació de les mostres per grups bàsics texturals que es presenta a la Figura 4.30, s'observa que predominen les textures fines, representant aquestes un 62,9% del conjunt de les mostres estudiades. Pel que fa referència al tipus de textura, la majoritària és la franca argilosa, amb un 51,4% del total avaluat (Figura 4.31), seguida de la franca i l'argilosa, amb un 17,1% i un 11,4% respectivament.

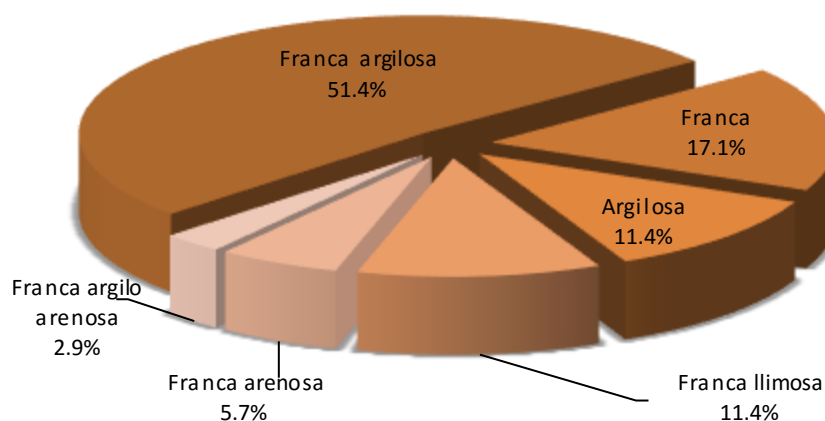


Figura 4.31. Distribució de les mostres de la capa profunda per tipus de textura (%).

4.4.2. Característiques químiques de la capa profunda

Els paràmetres estadístics descriptius de les propietats i característiques químiques es presenten a la Taula 4.13.

En l'estudi de la distribució de la població, representació dels histogrames (Figura 4.32) i valors del test de Shapiro-Wilk (Taula 4.12), del conjunt de les característiques químiques de la capa profunda avaluades, tan sols les poblacions de la CE_{ea 1:5}, calcària activa i C/N no s'ajusten a una distribució normal, tot i la transformació de les dades. En canvi, la resta (excepte el P i la MOT), segueix una distribució normal amb els valors absoluts.

Taula 4.12. Valor Z i nivell de significació (p) del test de Kolmogorov-Smirnov, asimetria i curtosi de les característiques químiques de la capa profunda, amb dades sense transformar i log-transformades.

	Z (K-S)*	p**	Asimetria	Curtosi		Z (K-S)*	p**	Asimetria	Curtosi
pH	0,98	0,66	-0,30	0,73					
CEea_{1:5}	0,89	0,00	1,36	2,14	Log(x+1) CEea_{1:5}	0,90	0,00	1,25	1,79
CCE	0,98	0,41	0,00	0,01					
Cal act	0,88	0,00	-0,52	-1,26	Log Cal act	1,67	0,01	-0,93	-0,43
MOT	0,93	0,01	0,96	1,26	Log(x+1) MOT	0,97	0,29	0,11	0,12
N total	0,95	0,06	0,79	1,21					
C/N	0,93	0,01	-0,58	2,26	Log(x+1) C/N	0,78	0,00	-2,49	10,10
P	0,73	0,00	2,61	8,93	Log P	0,56	0,91	-0,52	0,61
K	0,96	0,07	0,14	-1,6					
CIC	0,93	0,33	-0,46	-0,24					

Taula 4.13. Estadístics de les característiques químiques de la capa profunda

Estadístic	pH	CEea _{1:5} (dS m ⁻¹)	CCE (%)	Ca act (%)	MOT (%)	N total (%)	C/N	P (mg Kg ⁻¹)	K (meq 100g ⁻¹)	CIC (meq 100g ⁻¹)
n	48	48	48	48	48	47	47	48	48	48
Mediana	8,49	0,15	46,06	11,30	1,33	0,10	8,18	4,18	0,53	13,96
Mitjana	8,48	0,15	43,25	9,39	1,42	0,10	8,33	6,27	0,51	13,79
DE	0,17	0,04	16,98	4,03	0,77	0,05	2,09	6,96	0,29	4,29
DER (%)	2,06	28,46	39,27	42,85	54,38	45,92	25,10	110,99	56,57	31,12
Mínim	7,96	0,09	10,27	1,70	0,17	0,02	1,41	0,16	0,04	3,31
Màxim	8,83	0,30	86,78	15,35	3,64	0,24	12,39	38,03	38,03	1,06
P25	8,36	0,13	34,04	5,04	0,97	0,07	7,49	1,88	0,25	10,94
P75	8,60	0,17	53,19	12,53	1,71	0,12	9,45	9,12	0,77	17,07
P90	8,68	0,23	68,26	13,53	2,43	0,16	11,54	13,42	0,94	18,72
P95	8,82	0,26	71,17	14,25	3,36	0,19	12,29	22,23	1,00	19,72
P98	8,83	0,30	86,78	15,35	3,64	0,24	12,39	38,03	1,06	22,43

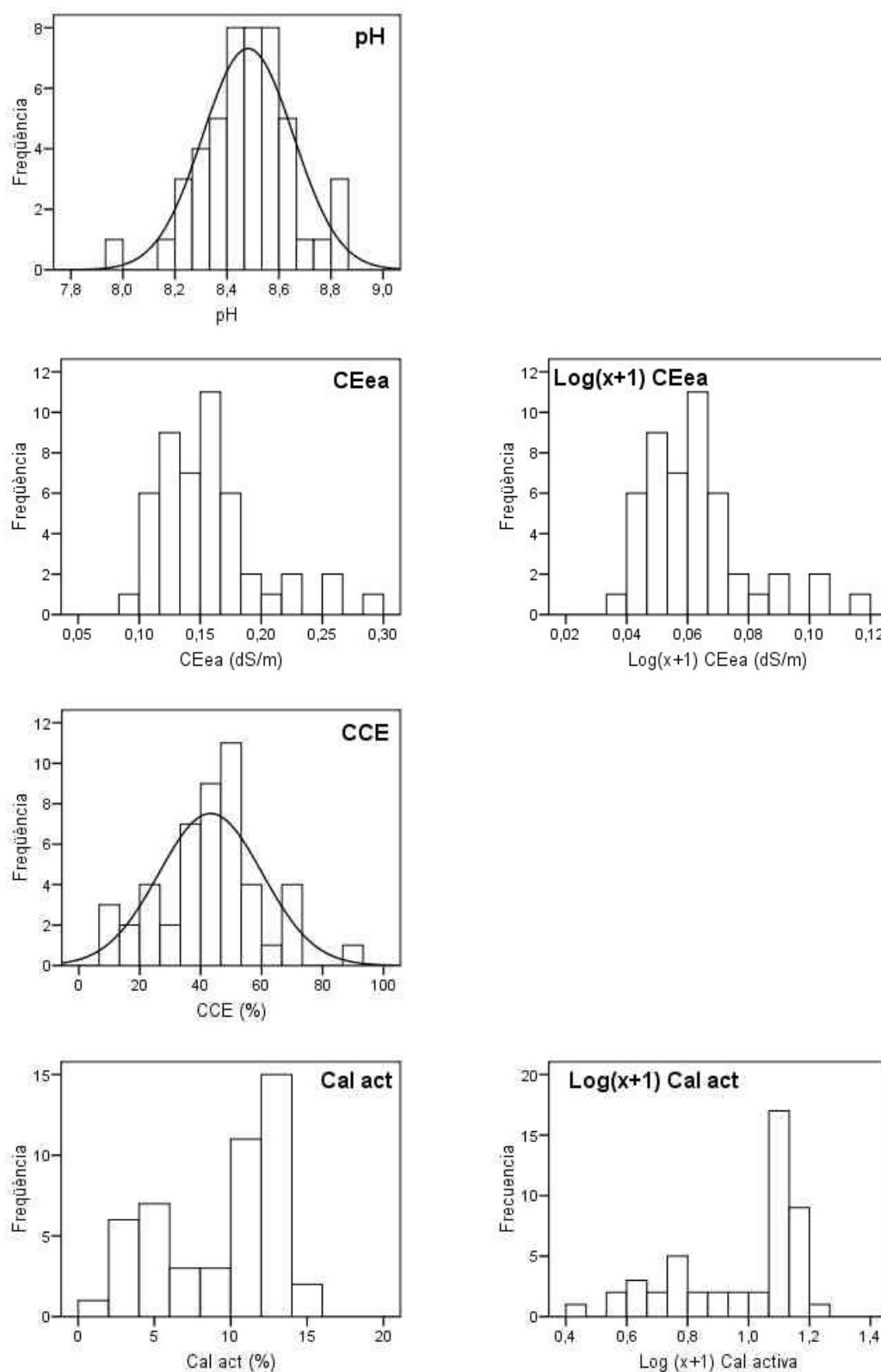


Figura 4.32. Histogrames per les característiques químiques de la capa profunda. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats.

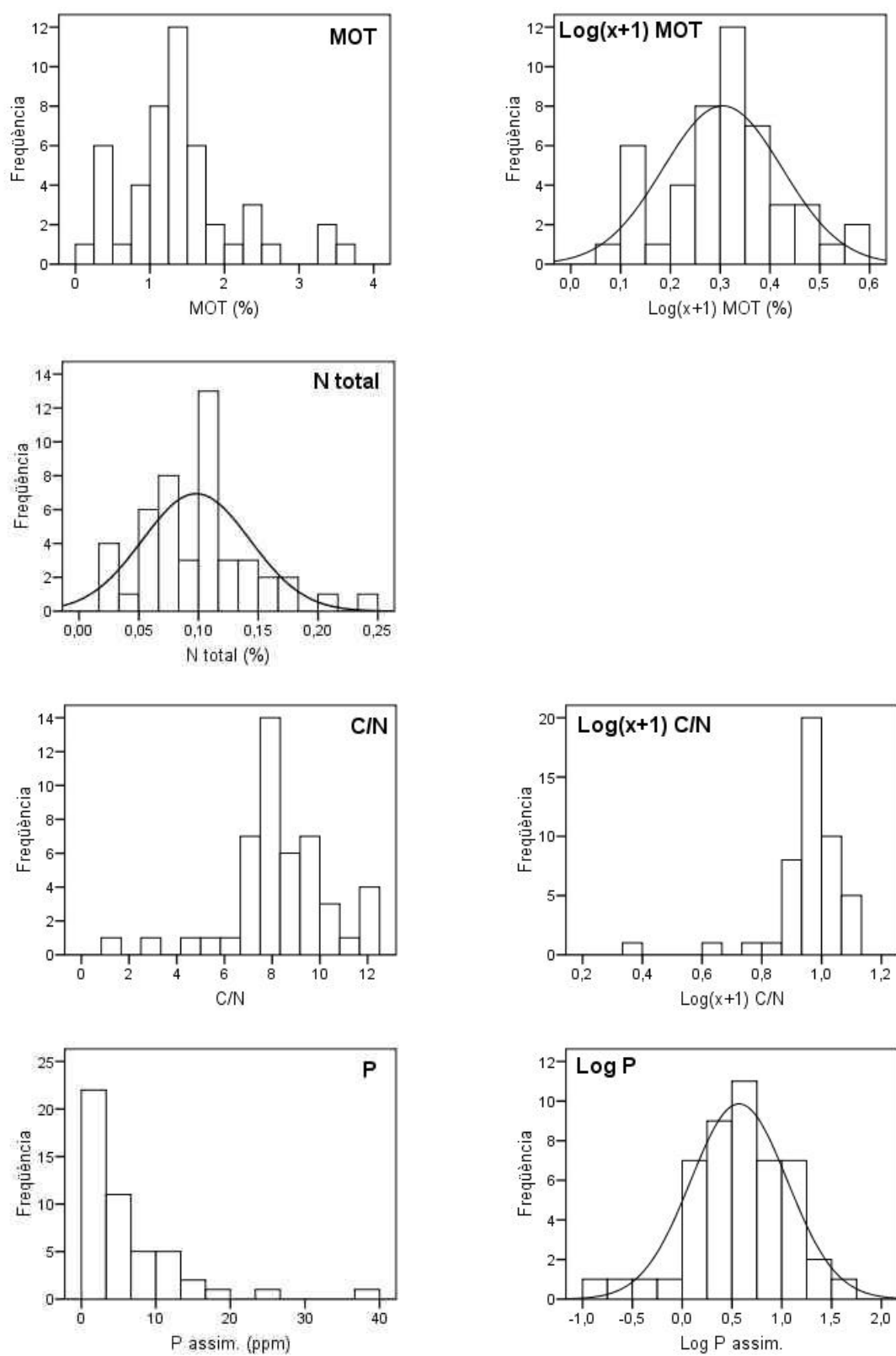


Figura 4.32 (cont.). Histogrames per les característiques químiques de la capa profunda. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats

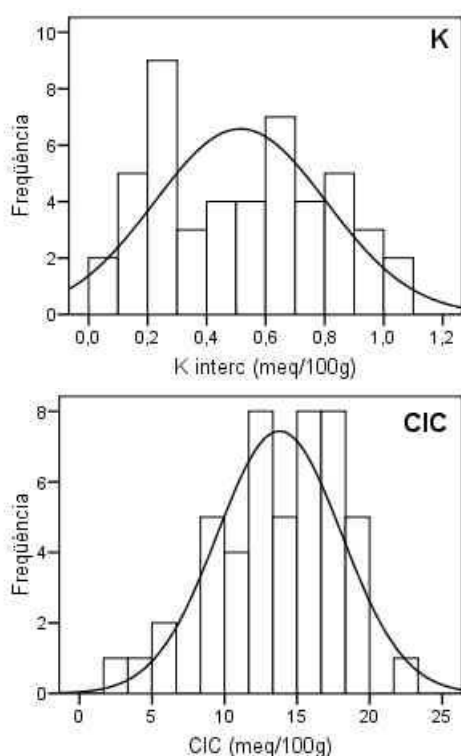


Figura 4.32 (cont.). Histogrames per les característiques químiques de la capa profunda. A l'esquerra es presenten d'acord amb els valors absoluts i a la dreta amb els valors transformats

4.4.2.1. pH

Segons la Taula 4.13, el valor de pH de la capa profunda de les mostres analitzades oscil·laren entre un valor mínim de 7,96 i un màxim de 8,83, registrant un valor mitjà de 8,48. El valor màxim del pH que presenta el 25% (p25) de les parcel·les analitzades és de 8,36, el del 50% (p50) és de 8,49, el del 75% (p75) és de 8,60, el del 90% (p90) és de 8,68, el del 95% (p95) és de 8,82 i el del 98% de casos és de 8,83. En el diagrama de caixa (Figura 4.45) s'observa un únic valor discordant en la part inferior, obtenint aquest un valor de 7,96.

Segons la interpretació de la mesura del pH (USDA), la majoria de les mostres analitzades (70,8 %) presenten un caràcter del sòl lleugerament alcalí (valors entre 8,4 i 9) (Figura 4.33).

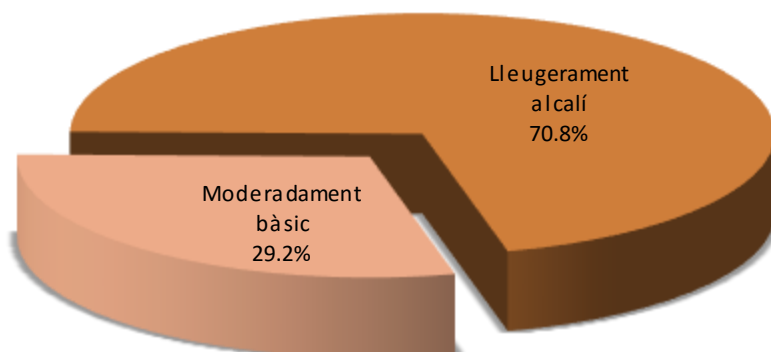


Figura 4.33. Classificació de les mostres de la capa profunda segons la mesura del pH de la solució del sòl (Elaborada a partir de l'USDA).

4.4.2.2. $CE_{ea1:5}$

El resultat obtingut per aquesta determinació manifesten que les parcel·les analitzades no presenten cap problemàtica per salinitat, donat que tots els valors són inferior a 0,50 dS/m. El valor de la $CE_{ea1:5}$ oscil·la entre un valor mínim de 0,09 i màxim de 0,30 dS/m, amb un valor mitjà de 0,15 dS/m (Taula 4.13). El valor màxim de la $CE_{ea1:5}$ obtinguda pel 25% dels casos (p25) és de 0,13 dS m⁻¹, el del 50% (mediana) és de 0,15 dS m⁻¹, el del 75% (p75) és de 0,17 dS m⁻¹, el del 90% (p90) és de 0,23 dS m⁻¹, el del 95% (p95) és de 0,27 dS m⁻¹ i el del 98% del casos (p98) es de 0,30 dS m⁻¹. El diagrama de caixa permet reconèixer dos valors discordants en la part superior (Figura 4.45), dels quals un és extrem (valor >0,29 dS m⁻¹), que pertany a una mostra procedent del municipi d'Andratx.

L'anàlisi de la relació entre la $CE_{ea1:5}$ i el comportament del sòl (Figura 4.34), indica que la majoria de parcel·les analitzades (85,4%) presenten uns valors òptims per al desenvolupament dels cultius, i tan sols un 14,6% d'aquestes obtenen valors que indiquen l'escassetat de nutrients.

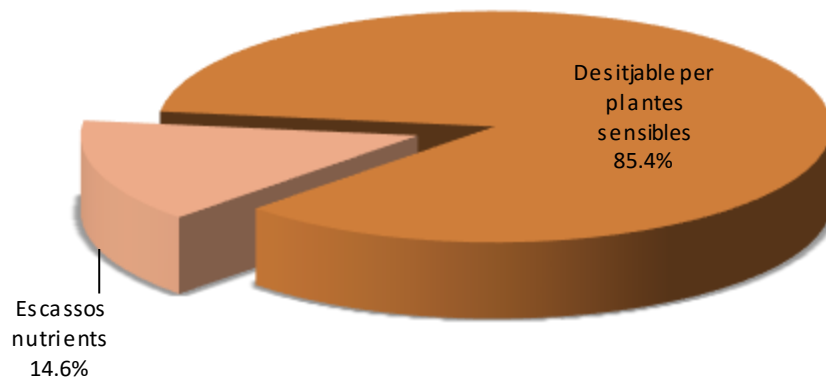


Figura 4.34. Classificació de les mostres de la capa profunda segons la relació entre la CEEa_{1.5} i el comportament del sòl (%) (Elaborada a partir de l'USDA).

4.4.2.3. CCE

L'amplitud de registres d'aquesta determinació, com també es mostra a la capa superficial, és molt elevada, obtenint des d'un valor mínim del 10,27% fins a un màxim del 86,78% (Taula 4.13). El valor mitjà registrat és del 43,25%. El màxim contingut en CCE que presenta el 25% de les parcel·les analitzades (p25) és de 34,04%, el del 50% (mediana) és de 46,06%, el del 75% (p75) de 53,19%, el del 90% (p90) 68,26%, el del 95% (p95) és 71,17% i el del 98% (p98) és de 86,78%. En el diagrama de caixa es visualitza un sòl valor discordant en la part superior (Figura 4.45), agafant aquesta condició quan supera el 81,90% en contingut de CCE.

En l'anàlisi de la distribució de les mostres estudiades segons la interpretació del contingut en CCE (Villar Mir *et al.*, 2008), s'observa que s'accentua el caràcter calcari mostrat a la capa superficial, assolint aquest caràcter un 92,7% del conjunt de parcel·les analitzades (un 13,9% superior al registrat per a la capa superficial) (Figura 4.35). Cal remarcar que un 60,4% de les mostres obtenen valors superiors al 41,0% en CCE.

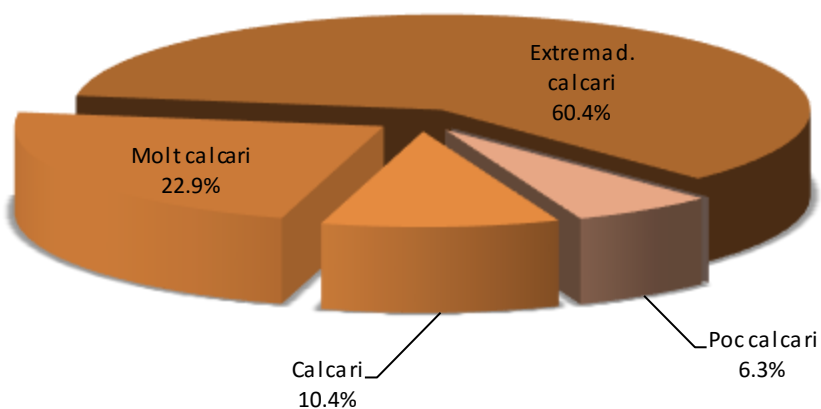


Figura 4.35. Classificació de les mostres de la capa profunda segons contingut en CCE (%) (Elaborat a partir de Villar Mir *et al.*, 2008).

4.4.2.4. Calcària activa

El contingut mitjà de calcària activa en la capa profunda és del 9,39%, presentant un valor mínim del 1,70% i un màxim del 15,35% (Taula 4.13). El valor màxim del percentatge de calcària activa del 25% (p25) de les parcel·les estudiades és de 5,04%, el del 50% (mediana) és del 11,30%, el del 75% (p75) és del 12,53%, el del 90% (p90) és de 13,53%, el del 95% (p95) és de 14,25% i el del 98% (98) és de 15,35%. El diagrama de caixa obtingut per a la població d'aquesta determinació no presenta cap valor discordant (Figura 4.45).

Tenint en compte els intervals per a la interpretació del contingut de calcària activa (Junta de Extremadura, 1992), un 61,7% de les mostres obtenen valors alts (>9%) (Figura 4.36). En aquesta determinació també s'observa un increment del seu contingut respecte les dades obtingudes per a la capa superficial, augmentant un 8,6% les mostres que han registrat nivells elevats. Els sòls amb alts continguts en calcària activa, tenen repercussions sobre cultius sensibles a la clorosi fèrrica (Tagliavini i Rombla, 2001).

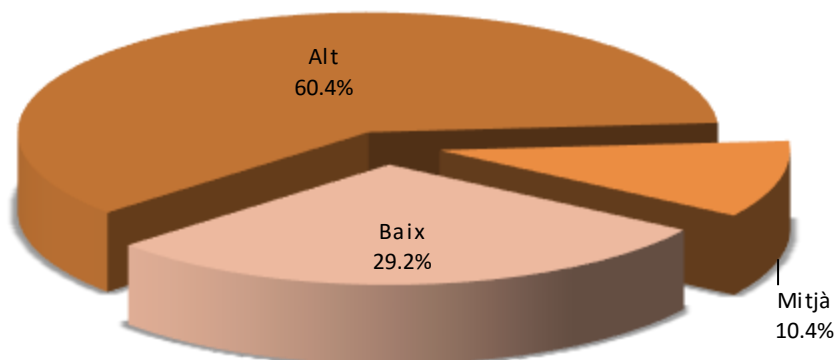


Figura 4.36. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut en calcària activa (%) (Elaborat a partir de Junta de Extremadura, 1992).

4.4.2.5. MOT

La Taula 4.13 mostra els resultats obtinguts del contingut de la capa profunda en MOT per al conjunt de parcel·les analitzades. Els valors oscil·len entre un valor mínim del 0,17% i un màxim del 3,64%, registrant un valor mitjà del 1,42%. El contingut màxim en MOT del 25% (p25) dels casos avaluats és de 0,97%, el del 50% (mediana) és de 1,33%, el del 75% (p75) és de 1,71%, el del 90% (p90) és de 2,43%, el del 95% (95) és de 3,36% i el del 98% (p98) és de 3,64%. El diagrama de caixa mostra 3 valors discordants (valors que superen el 2,82%), representant un 6,3% de la població estudiada (Figura 4.45).

En l'avaluació dels resultats obtinguts, seguint els criteris de Villar Mir *et al.* (2008), s'observa que un 35,4 % de les mostres analitzades donen valors molt baixos (<1,16%) (Figura 4.37). Comparant els registres de la capa profunda amb els de la capa superficial s'observa que el percentatge de parcel·les amb valors molt reduïts augmenta un 33,5%. Aquest valor reflexa la tendència a la disminució amb la profunditat del contingut en matèria orgànica, coincidint amb un estudi que determina que en els sòls europeus entre el 55 i el 70% de la matèria orgànica es troba en els primers 30 cm (Arrouays *et al.*, 1999).

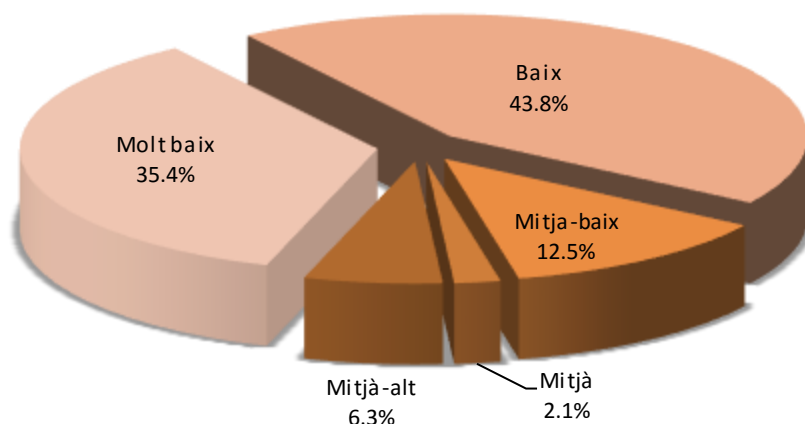


Figura 4.37. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut en MOT (%) (Elaborat a partir de Villar Mir *et al.*, 2008).

En la representació de la distribució de les mostres segons el contingut de matèria orgànica tenint en compte el tipus de textura del sòl (Figura 4.38) s'observa que els intervals majoritaris són els que representen les parcel·les amb baix i molt baix contingut, amb un 60,0% i un 22,9 %, respectivament.

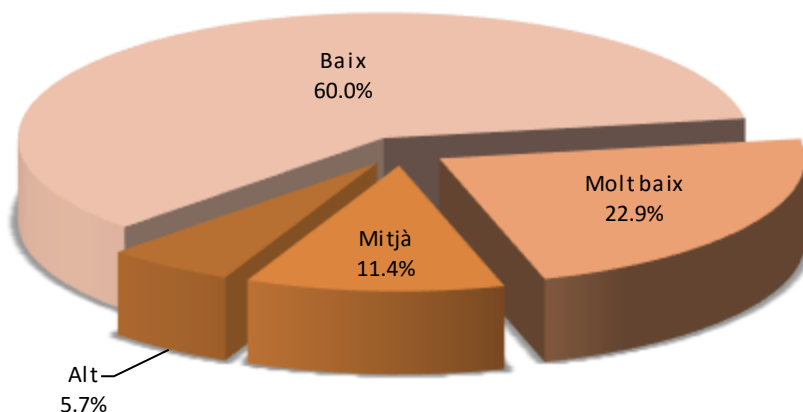


Figura 4.38. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut de MOT en funció de la textura (%) (Modificat a partir de Legaz i Primo Millo, 1988).

4.4.2.6. *N total*

Els valors de *N total* varien entre 0,02% i 0,24%, essent la mitjana de 0,10% (Taula 4.13). El màxim registre en *N total* que presenta el 25% (p25) de les mostres avaluades és de 0,07%, el del 50% (mediana) és de 0,10%, el del 75% (p75) de les mostres és de 0,12%, el del 90% (p90) és de 0,16, el del 95% (p95) és del 0,19% i el del 98% (p98) és del 0,24%. En el diagrama de caixa s'identifiquen 2 valors atípics en la part superior (Figura 4.45), representant un 4,3% del total de mostres avaluades. Es consideren valors atípics els que superen el 0,20%.

En la Figura 4.39 es representa la distribució de les mostres segons els intervals per a la interpretació del contingut de *N total* (Junta de Extremadura, 1992), on s'observa que els intervals majoritaris són els que corresponen als continguts mitjà ($\geq 0,095\%$ - $< 0,120\%$) i mitjà-baix ($\geq 0,07\%$ - $< 0,095\%$), amb un 27,1% i un 22,9%, respectivament.

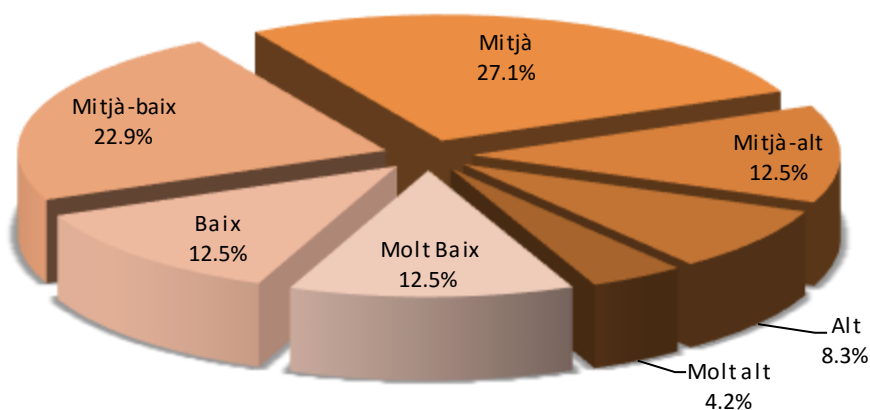


Figura 4.39. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el nivells de *N total* (%) (Elaborat a partir de Junta de Extremadura, 1992).

4.4.2.7. *C/N*

Els valors per a la relació *C/N* varien entre un registre mínim de 1,41 i un de màxim de 12,39, resultant un valor mitjà de 8,33 (Taula 4.13). El màxim valor de la relació *C/N* que presenta el 25% de les parcel·les analitzades (p25) és de 7,49%, el del 50%

(mediana) és de 8,18%, el del 75% (p75) és de 9,45%, el del 90% (p90) és de 11,54%, el del 95% (p95) és de 12,29% i el del 98% (p98) és de 12,39% (Taula 4.6). En el diagrama de caixa s'identifiquen 5 valors atípics, dels quals 3 estan situats en la part superior i 2 en la inferior (Figura 4.45), representant un 10,63% de total de mostres avaluades. Es consideren valor atípics els superiors al 12,40 i els inferiors al 4,54. En quant al registre de valors extrems, només n'hi ha un (2,13%), obtenint aquesta nominació els valors inferiors a 1,60.

Pel que fa a la distribució de les mostres segons el valor de la relació C/N (Figura 4.40), destaca la dada de les parcel·les on es produeix una excessiva alliberació de N, que assolix un 44,7% del total de les mostres avaluades. Si es realitza la comparació de les dades de la capa superficial amb les de la capa profunda, s'observa que es produeix un increment del 32,1% de les mostres que donen una alliberació excessiva de nitrogen, fet que és pot atribuir a la menor acumulació de matèria orgànica que es produeix en la capa profunda, obtenint valors de la relació C/N més baixos.

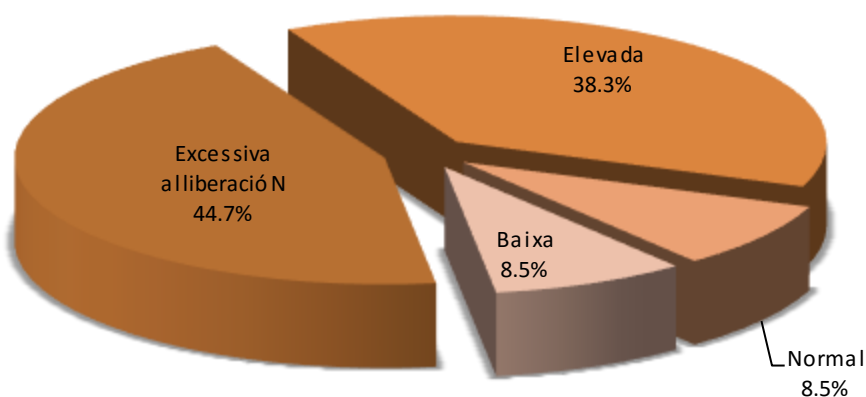


Figura 4.40. Classificació de les mostres de la capa profunda segons els valors d'alliberació de N estimada a partir de la relació C/N (%) (Elaborada a partir de la Junta de Extremadura, 1992).

4.4.2.8. *P assimilable*

La concentració en P assimilable de les mostres analitzades obtenen un valor mitjà de 6,27 mg Kg⁻¹, amb un registre mínim de 0,16 mg Kg⁻¹ i un màxim de 38,03 mg Kg⁻¹

(Taula 4.13). El contingut màxim en P registrat en el 25% (p25) de les mostres analitzades és de $1,88 \text{ mg Kg}^{-1}$, el del 50% (p50) és de $4,18 \text{ mg kg}^{-1}$, el del 75% (p75) és de $9,12 \text{ mg Kg}^{-1}$, el del 90% (p90) és de $13,42 \text{ mg Kg}^{-1}$, el del 95% (p95) dels casos és de $22,23 \text{ mg Kg}^{-1}$ i el del 98% (p98) és de $38,03 \text{ mg Kg}^{-1}$. En el diagrama de caixa dels valors de P assimilable s'identifiquen 3 valors discordants (valors que superen $19,98 \text{ mg kg}^{-1}$), dels qual un és extrem ($38,03 \text{ mg Kg}^{-1}$) (Figura 4.45).

En la distribució de les mostres segons el contingut en P assimilable (Figura 4.41), es pot observar que la majoria de parcel·les (85,7%) obtenen valors exigus, essent destacable que el 54,3% d'aquestes donen valors molt baixos.

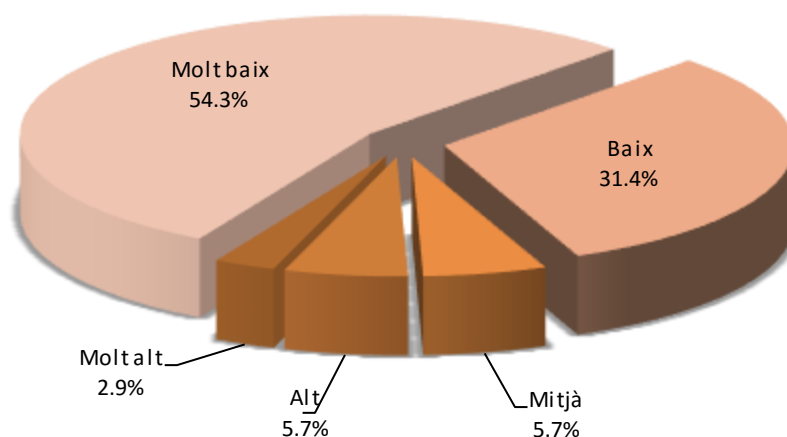


Figura 4.41. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut de P assimilable en funció de la textura (%) (Elaborata partir de Junta de Extremadura (1992)).

4.4.2.9. K intercanviable

A la capa profunda dels sòls avaluats, les concentracions de K intercanviable varien entre $0,4 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ i $1,06 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, obtenint un valor mitjà de $0,51 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ (Taula 4.13). La concentració màxima de K intercanviable en el 25% (p25) de les mostres avaluades és de $0,25 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 50% (mediana) és de $0,53 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 75% (p75) és de $0,53 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 90% (p90) és de $0,94 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 95% (p95) és de $1,00 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ i el del 98% (p98) és de $1,06 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$. La població no presenta cap valor discordant (Figura 4.45).

En la Figura 4.42 es representa la distribució de les mostres segon el contingut en K intercanviable en funció de la textura (Garcia Serrano *et al.*, 2010), on s'observa que la majoria de les mostres avaluades (60,0%) mostren un contingut acceptable, en front d'un 40,0% que el mostren reduït. El contingut en K intercanviable en la capa profunda, com ha succeït amb els altres elements nutritius avaluats, disminueix notablement respecte els valors obtinguts en la capa superficial. Mentre que en la capa superficial les parcel·les que mostren nivells reduïts representen un 6,2%, en la capa profunda aquest valor ascendeix fins a un 40,0% de les mostres analitzades.

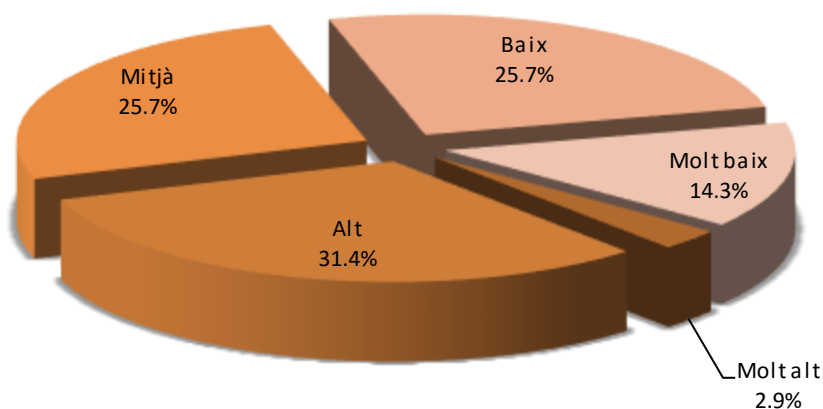


Figura 4.42. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el contingut de K intercanviable en funció de la textura (%) (Elaborat a partir de Garcia Serrano *et al.*, (2010)).

4.4.2.10. CIC

Els valors de la CIC a la capa profunda de les mostres avaluades presenten un registre mitjà de $13,79 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, amb un rang entre $3,31 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ i $12,39 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ (Taula 4.13). El màxim valor de la CIC que presenta el 25% de les parcel·les analitzades (p25) és de $10,94 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 50% (mediana) és de $13,96 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 75% (p75) de $17,07 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ el del 90% (p90) és de $18,72 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, el del 95% (p95) és de $19,72 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ i el del 98% (p98) és de $22,43 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$. El diagrama de caixa dels valors de la CIC analitzats no revela la presència de cap valor discordant (Figura 4.45).

En la Figura 4.43 es mostra la distribució de les mostres analitzades segons el nivell de la CIC (Vadell *et al.*, 1996), on es constata que la majoria de les parcel·les avaluades (66,7%) presenten un índex de fertilitat correcte, en front del 33,3% que el mostren baix.

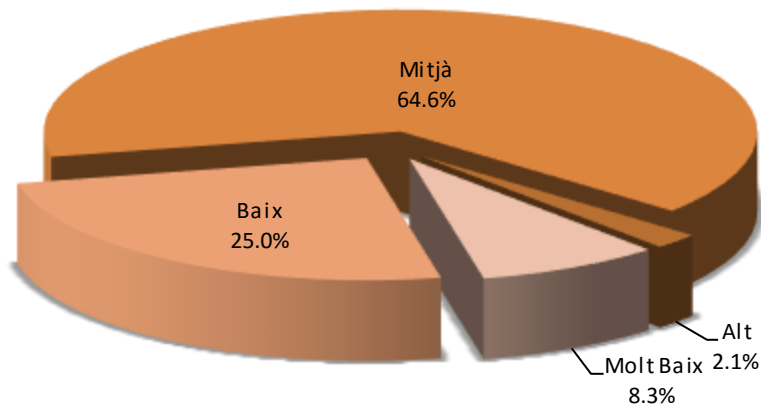


Figura 4.43. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el valor de la CIC (%) (Elaborat a partir de Vadell *et al.*, 1996).

En la classificació de les mostres segons el valor de la CIC tenint en compte la classe textural (Garcia Serrano *et al.*, 2010) que es representa en la Figura 4.44, s'observa que el nombre de parcel·les que registren un baix índex de fertilitat ascendeix fins al 94,3% del total de les mostres avaluades, quasi doblant el valor registrat en la capa superficial. Aquest important augment està relacionat principalment amb la disminució del contingut de matèria orgànica i també d'argila.

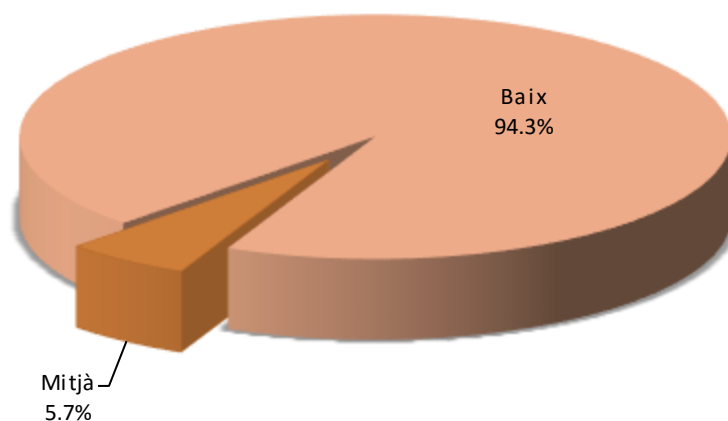


Figura 4.44. Classificació de les mostres de la capa profunda segons el valor de la CIC en funció de la textura (%) (Elaborat a partir de Garcia Serrano *et al.*, 2010).

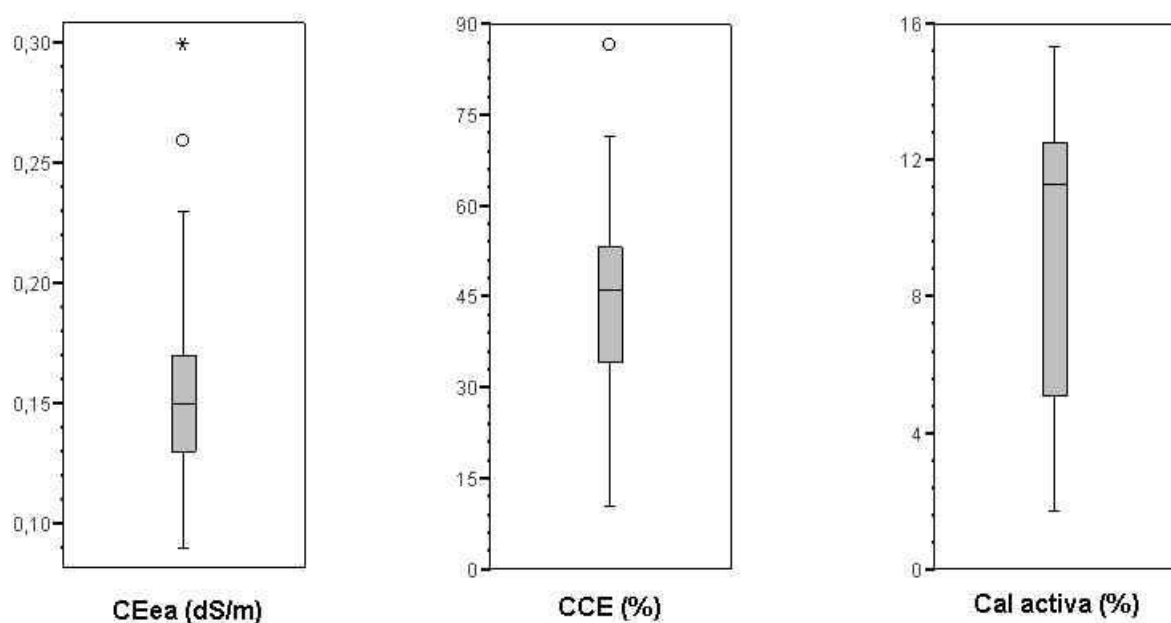


Figura 4.45. Diagrames de caixa per les característiques químiques de la capa profunda. En cercles es representen els valors atípics (superen 1,5 cops el rang interquartílic) i en estrelles els valors extrems (superen en 3 cops el rang interquartílic).

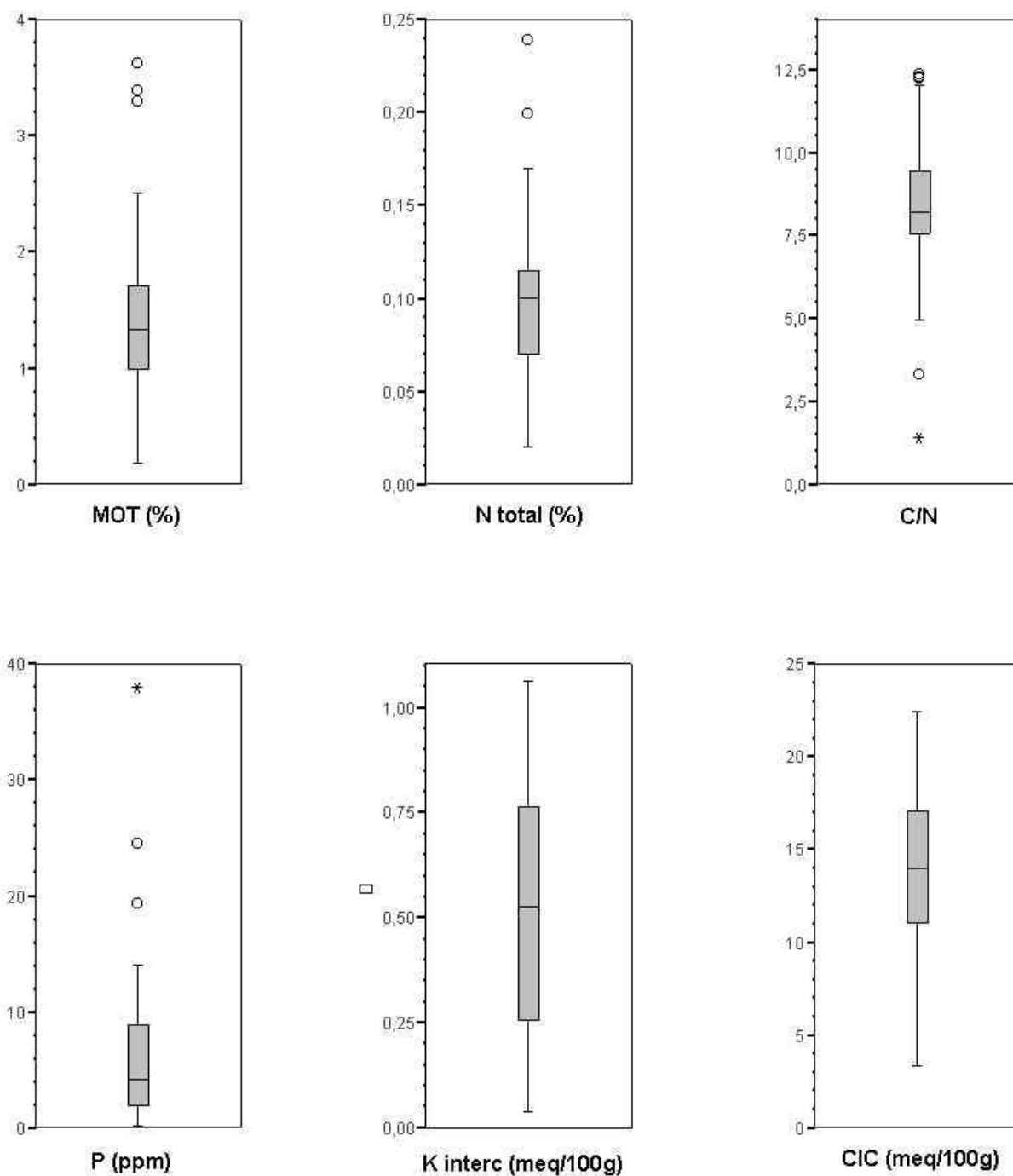


Figura 4.45 (cont.). Diagrames de caixa per les característiques químiques de la capa profunda. En cercles es representen els valors atípics (superen 1,5 cops el rang interquartílic) i en estrelles els valors extrems (superen en 3 cops el rang interquartílic).

4.4.3. Relacions estadístiques entre les diferents propietats i característiques edàfiques de la capa profunda

En la Taula 4.14 es mostren els coeficients de correlació i la significació entre les propietats i característiques edàfiques de la capa profunda. Tenint en compte els resultats obtinguts en l'anàlisi estadístic realitzat en els apartats anteriors, el coeficients de correlació es corresponen amb el coeficient de Pearson, excepte quan alguna de les variables enfrontades és la CEEa_{1:5}, la calcària activa, MOT, C/N, P o les arenes, per les quals es presenta el coeficient Rho d'Spearman.

A partir dels resultats obtinguts de la matriu de correlació cal destacar que no existeix una relació forta entre les diferents variables estudiades, ja que la majoria dels valors del coeficient de correlació són inferiors a 0,5 o, almanco, aquestes relacions no són lineals. A més, en comparació amb els resultats obtinguts per a la capa superficial, la significació de les correlacions avaluades és molt inferior.

A continuació es comenten els valors de les relacions més destacables:

El pH obté un nivell de correlació ($p < 0,001$) molt alt amb CCE, calcària activa i N total i alt ($p < 0,01$) amb la MOT, K i CIC. La relació amb el CCE i la calcària activa és directa, a mesura que augmenta el contingut d'aquestes dues determinacions el pH augmenta. Pel que fa a la relació amb la resta de variables, aquesta és inversa, el que implica que un augment del pH comporta una disminució dels contingut d'aquestes variables. El contingut en MOT obté un nivell de correlació molt alt ($p < 0,001$) amb la calcària activa, N total i CIC, resultant una relació inversa per a la primera variable, i directa per a les altres dues.

La CIC mostra una correlació altament significativa ($p < 0,001$) i positiva amb les argiles, MOT, N total i K. La matèria orgànica i el contingut d'argiles són els principals factors que determinen la CIC al sòl, és per això que s'espera una correlació elevada entre ells (Colombàs, 2014). L'equació de regressió obtinguda per la CIC de la capa profunda presenta valors similars a l'obtinguda per a la capa superficial, resultant la següent expressió:

$$\text{CIC} = 2,33 \text{ MOT} + 0,35 \text{ Argiles} + 0,15$$

$$R^2 = 0,88 \quad \text{Error estàndard de l'estimació (EEE)} = 1,38$$

La inclusió del contingut en llims en la recta de regressió, com ha succeït per a la capa superficial, no millora la variància explicada, obtenint el mateix valor tot i la seva inclusió. Altres autors (Micó, 2005; Farrús i Vadell, 2002) tampoc assoleixen millores del coeficients de determinació amb la inclusió dels llims en les equacions de regressió, en sòls de característiques similars de l'àmbit mediterrani. La inclusió de la calcària activa tampoc ha produït cap millora del coeficient de determinació de l'equació, tot i que Farrús i Vadell (2002) assoleixen un millor ajust de l'equació amb la seva introducció.

En referència a la relació de les propietats físiques amb les químiques, cal destacar que únicament les argiles obtenen un nivell de correlació molt alt ($p < 0,001$) amb el K i CIC, essent aquesta correlació directa. La correlació entre el contingut d'arenes i llims i la resta de propietats químiques és inexistent ($p > 0,05$).

Taula 4.14. Matriu de correlacions bivariades entre propietats i característiques edàfiques de la capa profunda, on es mostren els coeficients de correlació Rho d'Spearman o el de Pearson (CC), la significació de la correlació (sig.) i el nombre de mostres (n).

		Ar	Lli	Arg	pH	CEea 1:5	CCE	Ca act	MOT	N total	C/N	P	K
Lli	CC	-0,606 ^S											
	sig.	***											
	n	35											
Arg	CC	-0,633 ^S	-0,005 ^P										
	sig.	***	ns										
	n	35	35										
pH	CC	0,094 ^S	0,002 ^P	-0,392 ^P									
	sig.	ns	ns	*									
	n	35	35	35									
CEea1:5	CC	-0,158 ^S	-0,151 ^S	0,316 ^S	-0,442 ^S								
	sig.	ns	ns	ns	**								
	n	35	35	35	48								
CCE	CC	0,113 ^S	-0,044 ^P	-0,088 ^P	0,503 ^P	-0,354 ^S							
	sig.	ns	ns	ns	***	*							
	n	35	35	35	48	48							
Ca act	CC	-0,151 ^S	0,218 ^S	0,017 ^S	0,508 ^S	-0,367 ^S	0,818 ^S						
	sig.	ns	ns	ns	***	*	***						
	n	35	35	35	48	48	48						
MOT	CC	0,016 ^S	-0,269 ^S	0,178 ^S	-0,593 ^S	0,479 ^S	-0,522 ^S	-0,523 ^S					
	sig.	ns	ns	ns	***	*	***	***					
	n	35	35	35	48	48	48	48					
N total	CC	-0,202 ^S	-0,002 ^P	0,251 ^P	-0,495 ^P	0,479 ^S	-0,523 ^P	-0,519 ^S	0,900 ^S				
	sig.	ns	ns	ns	***	***	***	***	***				
	n	35	35	35	47	47	47	47	47				
C/N	CC	-0,084 ^S	-0,084 ^S	-0,138 ^S	-0,073 ^S	0,132 ^S	0,008 ^S	0,040 ^S	0,424 ^S	0,076 ^S			
	sig.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns			
	n	35	35	35	47	47	47	47	47	47			
P	CC	-0,125 ^S	-0,125 ^S	0,040 ^S	-0,060 ^S	0,466 ^S	-0,214 ^S	-0,148 ^S	0,0201 ^S	0,306 ^S	-0,088 ^S		
	sig.	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	*	ns		
	n	35	35	35	48	48	48	48	48	47	47		
K	CC	-0,400 ^S	-0,041 ^P	0,641 ^P	-0,473 ^P	0,544 ^S	-0,456 ^P	-0,379 ^S	0,501 ^S	0,494 ^P	-0,047 ^S	0,464 ^S	
	sig.	ns	ns	***	**	***	**	**	***	***	ns	**	
	n	35	35	35	48	48	48	48	48	47	47	48	
CIC	CC	-0,453 ^S	-0,021 ^P	0,808 ^P	-0,465 ^P	0,311 ^S	-0,384 ^P	-0,270 ^S	0,559 ^S	0,692 ^P	0,035 ^S	0,199 ^S	0,634 ^P
	sig.	ns	ns	***	**	*	**	ns	***	***	ns	ns	***
	n	35	35	35	48	48	48	48	48	47	47	48	48

* La correlació és significativa al $p < 0,05$; ** La correlació és significativa al $p < 0,01$; *** La correlació és significativa al $p < 0,001$;

^S coeficient Rho d'Spearman ; ^P coeficient de Pearson

4.4.4. Anàlisi factorial de les diferents propietats i característiques edàfiques de la capa profunda

Els resultats de l'anàlisi factorial sobre el conjunt de propietats i característiques edàfiques de la capa profunda estudiades (Taula 4.15), indiquen que el 58,98% de la variació total s'explica amb els dos primers components. El primer component recull el 41,87% de l'esmentada variació, on s'inclou la CIC, el K, les argiles i la CE_{Ea 1:5} com a variables que influeixen més en la seva definició, obtenint totes quatre una relació directa. El segon component explica el 17,12% de la variació, on s'inclou la calcària activa i la CCE, que influeixen positivament, i la MOT i N que intervenen amb signe negatiu.

Taula 4.15. Matriu de components rotats amb el mètode de rotació *varimax* amb normalització Kàiser per a les dades de la capa profunda.

Variables	Components Principals	
	C1	C2
pH	-0,558	0,501
CE _{Ea 1:5}	0,690	-0,197
Llims	0,061	0,151
Argiles	0,842	0,128
CCE	-0,162	0,854
Calcària activa	0,045	0,878
MOT	0,359	-0,749
N total	0,465	-0,725
P assimilable	0,379	0,199
K intercanviable	0,799	-0,213
CIC	0,863	-0,296
Autovalor	4,606	1,883
Variància explicada	41,87%	17,12%

A la figura 4.46 es mostra la representació gràfica dels diferents components identificats, on també s'identifiquen el dos grups observats per a la capa superficial. Per un costat, el grup relacionat amb la fertilitat química (MOT, N total, K, CIC i CE_{Ea 1:5}), i per l'altre, el grup que conté les variables relacionades amb el material originari (CCE i calcària activa).

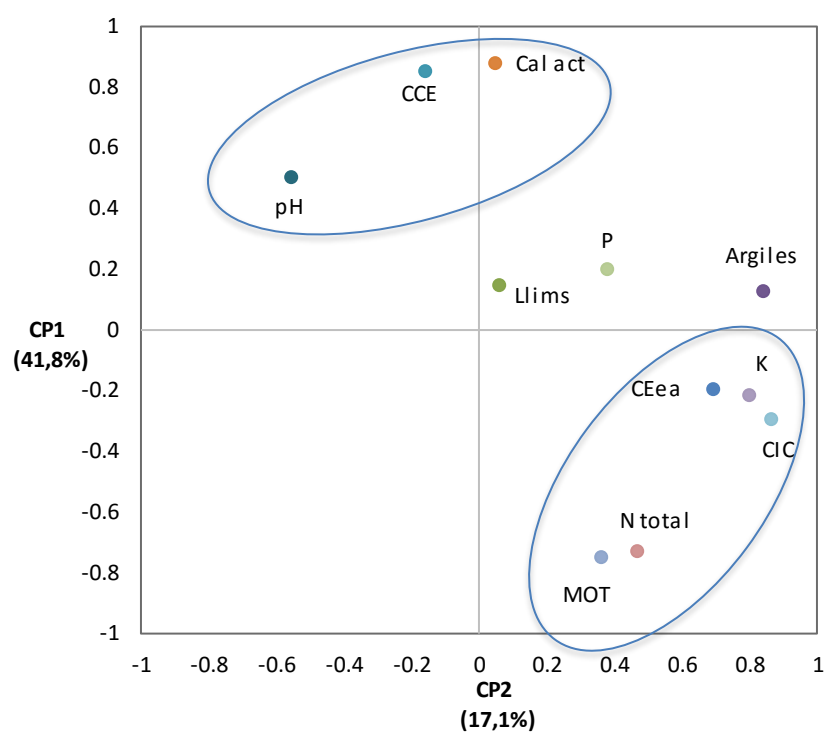


Figura 4.46. Representació gràfica dels components principals identificats per a la capa profunda.

4.5. ESTUDI DE LES PROPIETATS I CARACTERÍSTIQUES EDÀFIQUES EN FUNCIO DE LA PROFUNDITAT

En la Taula 4.16 es presenten els principals paràmetres estadístics per les característiques físiques de la capa superficial i la capa profunda de les parcel·les que tenen mostres de les dues capes. S'observa que mentre que el contingut d'arenes tendeix a augmentar amb la profunditat, el de llims i argiles disminueix lleugerament.

Taula 4.16. Estadístics de les característiques físiques de la capa superficial i profunda.

Capa	Estadístic	Arenes	Llims	Argiles
Superficial	n	40	40	40
	Mediana	28,0	39,0	31,5
	Mitjana	29,7	39,7	30,6
	DER	10,0	6,8	7,0
	Mínim	17,0	25,0	14,0
	Màxim	61,0	55,0	42,0
Profunda	n	35	35	35
	Mediana	33,0	36,0	29,0
	Mitjana	34,5	36,6	28,9
	DER	11,7	8,3	8,2
	Mínim	21,0	11,0	11,0
	Màxim	78,0	55,0	44,0

A les dades tractades en aquest apartat s'ha avaluat el tipus de distribució de les diferents poblacions mitjançant el test Shapiro-Wilk ($n < 50$), on s'ha pogut constatar que segueixen una distribució normal, tot i que en el cas del contingut en arenes s'ha hagut de realitzar la transformació logarítmica per assolir la normalitat de les dades d'aquesta variable. Per determinar l'existència de diferències estadístiques entre els valors de la primera i la segona capa s'ha realitzat el Test de la T d'Student per a mostres relacionades (Taula 4.17), el qual ha determinat que no existeixen diferències estadísticament significatives entre les dues capes per cap de les tres determinacions avaluades. Aquesta tendència obtinguda no coincideix amb el resultats obtinguts per Colombàs (2014) en una població més gran ($n = 320$), on s'observa que mentre que el contingut d'arenes i llims disminueix, el d'argiles augmenta amb la profunditat.

Taula 4.17. Diferències estadístiques per les característiques físiques avaluades entre les dues capes. Per una mateixa columna lletres diferents indiquen l'existència de diferències estadístiques ($p < 0,05$). La lletra a representa els valors més alts.

Capa	Arenes	Llims	Argiles
Superficial	a	a	a
Profunda	a	a	a

La Taula 4.18 recull els estadístics de les característiques químiques de les mostres de les parcel·les on s'ha realitzat anàlisi de la capa superficial i profunda.

Taula 4.18. Estadístics de les característiques químiques de la capa superficial i profunda.

Capa	Estadístic	pH	CE _{ea1:5}	CCE	Cal act	MOT	N	C/N	P	K	CIC
Superf.	n	48	48	48	48	48	47	47	48	48	48
	Mediana	8,32	0,15	30,05	7,39	2,16	0,15	8,71	6,41	0,81	18,82
	Mitjana	8,34	0,15	30,62	7,32	2,42	0,16	8,89	12,95	0,85	17,87
	DER	0,14	0,04	15,32	4,01	1,09	0,06	1,06	17,60	0,37	4,74
	Mínim	8,11	0,11	2,06	1,11	0,51	0,04	7,12	0,13	0,24	5,58
	Màxim	8,80	0,33	67,88	14,77	5,43	0,32	11,80	105,81	1,88	30,13
Prof.	n	48	48	48	48	48	47	47	48	48	48
	Mediana	8,49	0,15	46,06	11,30	1,33	0,10	8,18	4,18	0,53	13,96
	Mitjana	8,48	0,15	43,25	9,39	1,42	0,10	8,33	6,27	0,51	13,79
	DER	0,18	0,04	16,98	4,03	0,77	0,05	2,09	6,96	0,29	4,29
	Mínim	7,96	0,09	10,27	1,70	0,17	0,02	1,41	0,16	0,04	3,31
	Màxim	8,83	0,30	86,78	15,35	3,64	0,24	12,39	38,03	1,06	22,43

Per determinar l'existència de diferències estadístiques entre les dues capes s'ha avaluat la normalitat de les dades tractades mitjançant l'aplicació del test Shapiro-Wilk ($n < 50$). Segons els resultats obtinguts per a les dues poblacions, de totes les variables avaluades tan sols la CE_{ea1:5}, calcària activa, N total i la relació C/N no segueixen una distribució normal, encara que es realitzi la transformació logarítmica. Tenint en compte aquests resultats, s'ha aplicat el test T d'Student per a les variables que presentaven distribució normal i a la resta el test de rangs amb signe de Wilcoxon.

Segons els resultats obtinguts en l'aplicació d'aquests tests, la MOT, N, C/N, P, K i CIC obtenen valors significativament més elevats en la capa superficial, mentre que pH,

CCE i calcària activa presenten la tendència contrària. Pel que fa al valor de la $CE_{ea\ 1:5}$, no s'observen diferències significatives entre les dues capes analitzades (Figura 4.17).

L'increment de pH de la capa profunda s'explica per l'augment que també es produeix del contingut de CCE i calcària activa en profunditat, tenint en compte que la presència de carbonats condiciona el pH. Aquest increment del pH i disminució del contingut en matèria orgànica en fondària s'avenen amb els resultats obtinguts per Colombàs (2014).

La disminució del contingut del fòsfor en profunditat és deu a l'escassa mobilitat d'aquest element en el sòl i la seva vinculació al contingut de matèria orgànica, produint-se una clara diferenciació entre capes, assolint les superficials els valors més elevats. El potassi també mostra una disminució significativa de la seva concentració en la capa profunda, atribuïble als alts nivells que es registren en la capa superficial procedent de l'aplicació d'adobs potàssics. Colombàs (2014) obté disminucions del P estadísticament significatives entre horitzons quan es realitza la comparació entre dos i més de dos horitzons, però en canvi no les obté pel potassi.

Les diferències entre capes obtingudes per la MOT, N total, P i K coincideixen amb els resultats obtinguts a l'estudi "Caracterització analítica de les terres de cultiu de les finques d'Agricultura Ecològica" (Farrús *et al.*, 1996), on s'observa que la majoria de perfils profunds avaluats registren valors més alts de MOT, N total, P i K en la capa superficial. En canvi, els perfils avaluats de les finques ecològiques no mostren la tendència de l'augment dels valors del pH, CIC i calcària activa en fondària registrada en aquest treball.

Taula 4.19. Diferències estadístiques per les característiques químiques avaluades entre les dues capes. Per una mateixa columna lletres diferents indiquen l'existència de diferències estadístiques ($p < 0,05$). La lletra a representa els valors més alts.

Capa	pH	$CE_{ea\ 1:5}$	CCE	Cal act	MOT	N	C/N	P	K	CIC
Superficial	b	a	b	b	a	a	a	a	a	a
Profunda	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b

5. CONCLUSIONS

A partir dels resultats exposats anteriorment, a continuació es detallen les conclusions més rellevants obtingudes en l'anàlisi de les dades avaluades:

1. La població de les variables que defineixen les característiques físiques i químiques de la capa llaurable superficial no s'ajusten a una distribució normal (no s'ha aconseguit un ajust normal ni lognormal de les dades), excepte per la CIC, MOT, CEes i arenes.
2. La classe textural predominant a la capa superficial és la pesada, essent la textura franca argilosa la més freqüent, assolint aquest tipus un 56% de les mostres analitzades.
3. El 78,4% de les terres analitzades de la capa superficial presenten un pH bàsic (valors entre 7,4 i 8,4), degut als elevats continguts en carbonat càlcic i un 20,4% obtenen un pH lleugerament alcalí (valors entre 8,5 i 9).
4. El 96,1% de les mostres superficials analitzades no presenten problemes de salinitat ($CE_{ea1:5} < 0,5 \text{ dS m}^{-1}$) i tan sols un 3,9% la obtenen lleugerament alta (valors de $CE_{ea1:5} > 0,5 \text{ dS m}^{-1}$ i $< 1,0 \text{ dS m}^{-1}$). Tenint en compte aquests percentatges, la salinitat no constitueix un factor limitant de producció, però pot esdevenir un factor de risc a considerar a les terres on es desenvolupa una activitat agrícola molt intensiva.
5. Els valors de CCE de les mostres de la capa superficial oscil·len entre el 0,19% i el 79,9%. El 75,9% de les terres avaluades obtenen valors superiors al 16,0% (sòls calcaris), i un 19,4% superiors al 41,0% (sòls extremadament calcaris). El 4,1% de les mostres obté valors inferiors al 4,0% de CCE, indicant que es tracte de sòls descarbonatats.
6. El 53,1% de les mostres de la capa superficial obtenen un baix nivell (valors inferiors al 6%) en calcària activa, en front del 29,1% que presenten alt contingut (valors superiors al 9%).

7. El contingut en MOT a la capa llaurable superficial varia entre el 0,51% i el 7,07%, obtenint un valor medià del 2,82%. El 39,4% de les parcel·les analitzades obtenen un baix contingut (valors inferior a l'1,8%), mentre que el 20,3% obté un contingut mitjà (valors entre 1,8% i 2,5%), i el 40,3% restant presenta un alt contingut (valors superiors al 3,1%).

8. La concentració de N total a la capa superficial oscil·la entre un 0,03% i un 0,43%, obtenint un valor medià del 0,18%. El 88,6% de les mostres analitzades obtenen un alt contingut (valors $\geq 0,12\%$), mentre que just un 4,1% obté baixos registres (valors $< 0,095\%$).

9. El contingut medià obtingut pel P assimilable a la capa llaurable superficial ha estat de $21,77 \text{ mg kg}^{-1}$, amb un registre mínim de $0,13 \text{ mg kg}^{-1}$ i un màxim de $223,0 \text{ mg kg}^{-1}$. El 41,6% de les parcel·les avaluades obtenen una baixa concentració, en front d'un 49,9% que donen alts continguts.

10. Els valors del contingut de K intercanviable obtinguts a la capa superficial varien entre els $0,15 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ i els $3,85 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, obtenint un valor medià de $1,19 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$. El 81,7% de les mostres avaluades obtenen alt contingut d'aquest element, mentre que tan sols un 6,2% registren un baix nivell.

11. El valor mitjà obtingut de la CIC per a la capa llaurable superficial ha estat de $19,11 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$. El 94,0% de parcel·les estudiades obtenen valors que denoten un índex de fertilitat satisfactori.

12. Les característiques i propietats edàfiques de la capa llaurable superficial presenten un elevat nombre de correlacions significatives entre elles. Entre aquestes destaca la relació de la CIC amb el contingut d'argiles i MOT i, també la que relaciona el contingut en MOT amb els tres macroelements avaluats (N, P i K).

13. L'anàlisi factorial de components principals permet identificar dos grups diferenciats, per un costat les variables relacionades amb la naturalesa calcària del material originari (CCE i CA) i per l'altre, les variables relacionades amb la fertilitat química (argiles, matèria orgànica, CIC i potassi). A la vegada, el pH i els llims són dos paràmetres positivament relacionats amb el contingut en carbonats. En canvi, el

nitrogen està vinculat amb la fertilització orgànica i el fòsfor assimilable tant amb la fertilització orgànica com la mineral.

14. En la comparació de les característiques i propietats edàfiques de les dues capes avaluades, s'observa que es produeix un increment del valor del pH, CCE i calcària activa en profunditat. En canvi, el contingut en MOT, N total, P, K i CIC mostra una reducció significativa a la capa profunda, degut a que la fertilització es localitza en la capa llaurable superficial. En canvi, el contingut en arenes, llims i argiles i la CEEa_{1:5} no presenten diferències significatives entre les dues capes analitzades a les parcel·les on es disposa d'aquest doble mostreig.

6. BIBLIOGRAFIA

- Adrover, M.; Farrús, E.; Moyà, G.; Vadell, J. 2007. Presència de metalls pesants a terres agrícoles de Mallorca. Relació amb el reg amb aigües depurades. Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears, 50: 45-47.
- Adrover, M.; Sureda, B; Castillo, N; Vadell, J. 2009. Caracterización agroecológica de los suelos de Porreres (Mallorca). XV Jornadas Técnicas SEAE. Mallorca.
- Anderson, R.H.; Kravitz, M.J. 2010. Evaluation of geochemical associations as a screening tool for identifying anthropogenic trace metal contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167(1-4): 631-641.
- Andrades, M.; Martínez, M. 2014. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. [Recurso electrónico] . 3ª ed. Logroño: Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones. 29p.
- Arrouays, D., Deslais, W., Daroussin, J., Balesdent, J., Gaillard, J., Dupouey, J.L., Nys, C., Bateau, V. et Belkacem. 1999. Stocks de carbone dans le sols de France: quelles estimations? *Comptes Rendus Academie Agriculture de France*, 85(6): 278-292.
- Baioumy, H.M.; Attia, A.M.; Hassan, M.S.; Helmy, M.E. 2005. Rock composition and origin of the Duwi Formation calcareous rocks. Upper Egypt. *Chinese Journal of Geochemistry*, 24(4). 316-326.
- Baize, D. 1988. Guide des analyses courantes en pédologie. Choix–Expressions–Présentation–Interprétation. Institute National de la Recherche Agronomique. Paris. 172 p.
- Balland, D. 1984. Fertilisation phosphatée et potassiques des culture. Inst. Tech. Cereales et des Fourrages.
- Bauer, A.; Black, A.L. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science Society of America Journal*, 58(1): 158-193.

- Bell, M.A.; Van Keulen, H. 1995. Soil pedotransfer functions for four mexican soils. Soil Science Society of America Journal, 59(3): 865-871.
- Bingham, F.T. 1962. Chemical soil tests for available phosphorus. Soil Science, 94(2): 87-95.
- Bosch, A. D.; Porta, P., Torres, J. 2009. Treballar el sòl. Un art per descobrir. Edicions de la Universitat de Lleida. 228 p.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal, 54(5): 464-465.
- Brady, N.C.; Weil, R.R. 1996. The Nature and Properties of Soils. 14ª edició. Prentice-Hall Inc. 980 p.
- Campos, I. 1981. Suelos, abonos y fertilizantes: cómo mejorar la fertilidad del terreno. Ed. de Vecchi, S.A.U. 174 p.
- Colombàs, M. 2014. Nivells d'elements traça i macroelements als sòls de les Illes Balears. Tesi doctoral. Universitat de les Illes Balears. 302+47 p.
- Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient i Territori. 2015. Estadístiques de l'agricultura, la ramaderia i la pesca a les Illes Balears. Any 2014. SEMILLA. 90 p.
- Danés, R.; Teixidor, N. 1983. Normes per a la presa de mostres de terra amb la finalitat de realitzar estudis de fertilitat. Fulls d'informació núm. 11, DARP-Generalitat de Catalunya.
- Decroux, J. 1985. Le prélèvement des échantillons. Cultivar (dossier analyse), 88-101.
- De la Horra, J.L.; Serrano, F.; Carlevaris, J.J. 2008. Estudio de los suelos del campo de Calatrava (Ciudad Real) y sus condiciones de fertilidad. Ed. CSIC-CSIC Press. Vol. 32.
- Demolon, A. 1965. Principios de Agronomía (I): Dinámica del suelo. Ed. Omega

- Diab, M. 1991. L'échantillonnage d'un sol: une operation plus delicate qu'il n'y paraît. *Cultivar*, 289: 71-74.
- Dudka, S.; Ponce-Hernández, R.; Hutchinson, T.C. 1995. Current level of total element concentrations in the surface layer of Sudbury's soils. *The Science of the Total Environment*, 162, 161-171.
- Clarke, R.T. 1973. Mathematical models in hydrology. Irrigation and Drainage paper. FAO (19).
- Farrús, E.; Vadell, J. 2002. Relacions entre paràmetres de fertilitat química y retenció d'aigua en sòls desenvolupats sobre calcàries margoses y calcàries dures. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 45: 117-124.
- Farrús, E.; Viète, I.; Calafat, A.; Vadell, J. 2002. Toposequències de sòls desenvolupats sobre dues litologies contrastades: calcàries margoses i calcàries dures. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 45: 21-43.
- Fernández, R.; Trapero, A.; Domínguez, J. 2010. Experimentación en agricultura. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. 350 p.
- Field, A. 2000. *Discovering Statistics Using SPSS for Windows*. SAGE Publications Ltd.
- Fiol, L.A.; Fornós, J.J.; Gelabert, B.; Guijarro, J.A. 2005. Dust rains in Mallorca (Western Mediterranean): Their occurrence and role in some recent geological processes. *Catena*, 63(1): 63-84.
- Fuentes, J.L. 1997. *Manual Práctico sobre utilización de Suelo y Fertilizantes*. Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- García-Serrano, P.; Lucena, J.J.; Ruano, S.; Nogales, M. 2010. El suelo, los nutrientes, los fertilizantes y la fertilización. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España (Parte 1). Ministerio de Medio Ambiente y de Medio Rural y Marino. 119 p.

Gognard, J.; Huguet, C.; Ryser, J.P. 1988. Production integree en verger. L'analyse du sol et du vegetal dans la conduite de la fertilisation: le controle de la qualite des fruits. Org. Int. Lutte Biologique et Intégrée.

Guigou, B. 1985. Les constituents. Cultivar (spécial sols et sous-sols).

Hauser, G.F. 1980. Interpretación de los análisis de suelos al formular recomendaciones sobre fertilizantes. FAO.

Holmgren, G.G.S.; Meyer, M.W.; Chaney, R.L.; Daniels, R.B. 1993. Cadmium, lead, zinc, copper and nickel in agricultural soils of the United States of America. Journal of Environmental Quality, 22(2): 335-348.

Johnson, C.E., Ruiz-Méndez, J.J. y Lawrence, G.B. 2000. Forest soil chemistry and terrain attributes in a Catskills watershed. Soil Science Society of America. Journal, 64(5): 1804-1814.

Juárez, M; Sánchez, J; Sánchez, A. 2006. Química del suelo y medio ambiente. Universidad de Alicante. 744 p.

Junta de Extremadura. 1992. Interpretación de análisis de suelos, foliar y agua de riego. Consejo de abonado (Normas básicas). Coedición Junta de Extremadura. Consejería de Agricultura y Comercio y Ed. Mundi-Prensa. 280 p.

Legaz, F.; Primo-Millo, E. 1988. Normas para la fertilización de los agrios. Fullets Divulgació No. 5-88. Conselleria d'Agricultura i Pesca. Generalitat Valenciana, 29.

López Ritas, J.; López Mélida, J. 1990. El diagnóstico de suelos y plantas (métodos de campo y laboratorio). Ed. Mundi Prensa.

López, E.; Miñano, F. 1988. Métodos rápidos de análisis de suelos. Hojas divulgadoras 18/88. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Marañés, A., Sánchez, J. A., de Haro, S. T., del Moral, F. 1998. Análisis de suelos. Metodología e interpretación. Universidad de Almería.

- Micó, C. 2005. Estudio de metales pesados en suelos agrícolas con cultivos agrícolas de la provincia de Alicante. Tesis doctoral. Universitat de València. 483 p.
- Miller, J.C.; Miller, J.N. 2002. Análisis multivariante. In: Estadística y Quimiometría para Química Analítica, No. 543.063: 519.23 MIL.
- Miralles, I. 2006. Calidad de suelos en ambientes calizos mediterráneos: parque natural de Sierra María-Los Vélez. Tesis doctoral. Universidad de Granada. 558p.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1986. Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Navarro, S.; Navarro, G. 2003. Química Agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ed. Mundi-Prensa. 488 p.
- Olsen, S.R.; Cole, C.V.; Watanabe, F.S. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circular 939.
- Parkin, T.B.; Robinson, J.A. 1993. Statistical evaluation of median estimators for lognormally distributed variables. Soil Science Society of American Journal, 57(2): 317-323.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. 2ª edición. Editorial Agrícola Española S.A. 542p.
- Porta, J.; López-Acevedo, M.; Rodríguez R. 1986. Técnicas y experimentos en edafología. Col·legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. Barcelona. 283 p.
- Porta, J. et al. 1987. Introducció al coneixement del sòl: sòls dels Països Catalans. Vol. Recursos geològics i sòls, Història Natural PPCC. Enciclopèdia catalana. Barcelona.
- Porta, J., López-Acevedo, M.; Roquero, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 849 p.

- Porta, J.; López-Acevedo, M. 2005. Agenda de campo de suelos. Informació de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundiprensa. 541 p.
- Reaves, G.A.; Berrow, M.L. 1984. Total lead concentrations in Scottish soils. *Geoderma*, 32(1): 1-8.
- Reche, J. 2008. Agua, suelo y fertilización de cultivos hortícolas en invernadero. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid. 377 p.
- Reimann, C.; Filzmoser, P. 2000. Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environmental Geology*, 39(9): 1001-1014.
- Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science*, 78(2): 154.
- Richards, L.A. 1974. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Editorial Limusa, Mexico.
- Russell, E.W. 1973. Soil conditions and plant growth. Ed. Longman. Londres.
- Saña, J.; Moré, J.C.; Cohí, A. 1996. La gestión de la fertilidad de los suelos: fundamentos para la interpretación de los análisis de suelos y la recomendación de abonado. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 277 p.
- Shainberg, I. 1975. Salinity of soils. Effects of salinity on the physics and chemistry of soils. In: *Plants in saline environments*. Springer Berlin Heidelberg, 39-75.
- Shapiro, S.S.; Wilk, M.B. 1965. Analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52:591-611.
- Smirnov, N.V. 1948. Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *The Annals of Mathematical Statistics*, 19(2): 279-281.

- Soltner, D. 1990. Les bases de la production végétale, Tome I: le sol. 18^e édition, Collection Sciences et Techniques agricoles. Ed. Lavoisier. Paris. 472 p.
- Soriano, M.D.; Sancho, J.; Verdú, A.; Giner, J.; Pons V. 2004. Prácticas de diagnóstico y fertilidad de suelos. Editorial UPV. Valencia.
- Szalbolcsi, I. 1989. Salt-affected soils. CRC Press. Florida.
- Tagliavini, M.; Rombola, A.D. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *European Journal of Agronomy*, 15: 71-92.
- Tisdale, S.L.; Nelson, W. L.; Beaton J. D. 1985. Soil fertility and fertilizers (4^a ed.). Macmillan Publishing Co. New York. 754 p
- Tobías, F.J.; Bech, J.; Sánchez, P. 1997. Statistical approach to discriminate background and anthropogenic input of trace elements in soils of Catalonia. *Water, Air and Soil Pollution* 100(1-2): 63-78.
- Townend, J. 2002. Practical Statistics for Enviromental and Biological Scientist. John Wiley & Sons Ltd., Chichester. 276 p.
- Truog, E. 1937. Procedure for special type of mechanical and mineralogical soil analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 1(C): 101-112.
- U.S.D.A. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report Nº 42. Versión 3.0. Washington DC, United States of America.
- Vadell, J.; Farrús, E.; Viète, I.; Calafat, A.; Chuchosky, C. 1996. Caracterització analítica de les terres de cultiu de les finques d'Agricultura Ecològica. Treball intern de la Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern Balear. 182 p.
- Villar, P.; Arán, M. 2008. Guia d'interpretació d'anàlisis de sòls i plantes. Consell Català de la Producció Integrada. Lleida. 78p.

