

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Agroalimentària

Títol: Aplicació de diferents esmenes orgàniques en pomera per a la millora de les propietats del sòl.

Document: Memòria

Alumne: Marc Vila Poch

Tutora: Maria Assumpta Gispert Negrell

Departament: Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària.

Àrea: Edafologia i Química agrícola

Tutora externa: Glòria Àvila Casademont (IRTA-Mas Badia)

Convocatòria (mes/any): Febrer 2023

ÍNDEX

PARAULES CLAU.....	3
RESUM.....	4
1. INTRODUCCIÓ.....	6
1.1. EL CONREU DE LA POMERA	6
1.1.1. EL CONREU DE LA POMA A GIRONA.....	7
1.2. REQUERIMENTS I MANEIG.....	8
1.2.1. CLIMATOLOGIA.....	8
1.2.2. SÒLS.....	9
2. OBJECTIUS.....	10
3. MATERIALS I MÈTODES.....	11
3.1. ZONA D'ESTUDI.....	11
3.1.1. UBICACIÓ I DESCRIPCIÓ DE LA PARCEL·LA.....	12
3.2. DISSENY I DESENVOLUPAMENT DE L'ASSAIG.....	14
3.3. MÈTODES.....	17
3.3.1. DETERMINACIÓ VARIABLES FISCOQUÍMIQUES.....	17
3.3.2. DETERMINACIÓ VARIABLES BIOQUÍMIQUES.....	20
3.3.3. ANÀLISI ESTADÍSTIC.....	21
4. RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	23
4.1. CARACTERÍSTIQUES FISCOQUÍMIQUES.....	23
4.2. CARACTERÍSTIQUES BIOQUÍMIQUES.....	31
5. APLICABILITAT.....	40
6. CONCLUSIONS.....	41
7. BIBLIOGRAFIA.....	42

PARAULES CLAU

CONREU DE LA POMERA

FERTILITZACIÓ ORGÀNICA

ESTABILITAT DELS AGREGATS

GLOMALINA

ACTIVITAT RESPIRATÒRIA

SEGREST DEL CARBONI

RESUM

El cultiu de la pomera ocupa milions d'hectàrees de sòls agrícoles d'arreu del món. Europa és un gran productor de poma. A nivell català, les províncies de Lleida i Girona són les que en tenen més producció.

En el model de l'agricultura intensiva actual, degut a la globalització, ha deixat els sòls agrícoles en una situació difícil de gestionar. L'excessiva explotació dels recursos ha provocat una pèrdua de les propietats químiques, biològiques i estructurals del sòl. També s'han de sumar els efectes del canvi climàtic, que suposen una altra càrrega als sòls agrícoles.

Degut a aquests efectes s'ha de buscar noves tècniques i estratègies per tal de conservar i millorar les propietats del sòl envers el seu esgotament. Cal millorar l'estructura del sòl, l'estabilitat dels agregats, el contingut en matèria orgànica i la capacitat de segrestar carboni.

L'objectiu d'aquest treball és establir l'efecte de l'aplicació de diferents esmenes orgàniques, en la millora de les propietats físiques i bioquímiques del sòl.

Per aconseguir establir l'efecte d'aquestes esmenes en el sòl, s'han analitzat les següents variables: classe textural, capacitat de retenció hídrica, l'estabilitat dels agregats, la densitat aparent, el carbonat càlcic equivalent, el contingut en glomalina total i la fàcilment extractable, la respiració potencial, el coeficient de mineralització i les diferents formes del carboni (carboni total, carboni oxidable i carboni actiu).

La parcel·la on es du a terme l'estudi es troba a l'estació experimental de l'IRTA-Mas Badia, ubicat a la Tallada d'Empordà (Baix Empordà). A la parcel·la s'han aplicat 4 esmenes diferents, que són la mineral (control), l'orgànica-mineral (2 t/ha), l'orgànica (4 t/ha) i la fracció sòlida de purí (12-17 t/ha). Les tres primeres es van començar a aplicar anualment l'estiu del 2018 fins l'estiu del 2022. La quarta esmena es va començar a aplicar anualment l'estiu del 2019 fins l'estiu del 2022.

De les quatre esmenes es van fer 4 repeticions de a l'atzar de la parcel·la, a més es varen prendre 2 submostres per repetició. En total es van obtenir 32 mostres de sòl.

Es va seguir amb la determinació dels paràmetres fisicoquímics i bioquímics que s'han esmentat anteriorment. Un cop recollides totes les dades, aquestes es van tractar amb el programa IBM SPSS Statistics per observar l'efecte de les diferents aplicacions en els paràmetres estudiats. A més per corroborar els resultats, s'ha realitzat un anàlisi factorial.

Pel que fa als resultats, s'observa que en paràmetres com la classe textural, el pH, la conductivitat elèctrica, el carbonat càlcic i la densitat aparent es manté igual o del mateix ordre a les quatre tipus de fertilitzacions.

En el cas de la retenció hídrica s'han pogut observar diferències entre els diferents tractaments, essent els tractaments amb esmena orgànica i fracció sòlida de purí els que presenten una capacitat de retenció d'aigua disponible més elevada.

Pel que fa a l'estabilitat estructural els resultats donen una millor estabilitat als sòls amb esmenes mineral i orgànica mineral.

La fertilització orgànica presenta, envers els altres tractaments, diferències significatives en contingut de glomalina total i extractable, en activitat respiratòria, en el contingut en carboni oxidable (SOC), carboni actiu (AOC) i capacitat de segrest de carboni al sòl.

1. INTRODUCCIÓ

1.1 EL CONREU DE LA POMERA

La pomera és un arbre caducifoli de la família de les rosàcies (Rosaceae). Presenta entre 45 i 55 espècies, a més d'un gran nombre d'híbrids. La pomera comuna (*Malus domestica*) n'és l'espècie més coneguda (Robinson et al.,2001)

El seu fruit, la poma, té una alta demanda tant a nivell nacional com internacional degut al seu valor nutricional i al sabor.

Com es pot observar en la figura 1, es van trobar els primers exemplars de pomeres al Kazajstán, a l'Àsia central a l'est del Mar Caspi. La seva capital, Alma Ata, significa "ple de pomes". Cap a l'any 1500 a.C., les llavors de poma s'havien transportat per tot Europa. Els espanyols van fer arribar el cultiu a Amèrica (Woodier, 2001).



Figura 1. Cronografia del cultiu de la poma (Font: Elaboració pròpia, 2023)

Pel que fa la producció a nivell mundial, de mitjana entre els anys 1994 i 2021, en primer lloc s'hi troba Àsia i en segon lloc Europa (Figura 2).

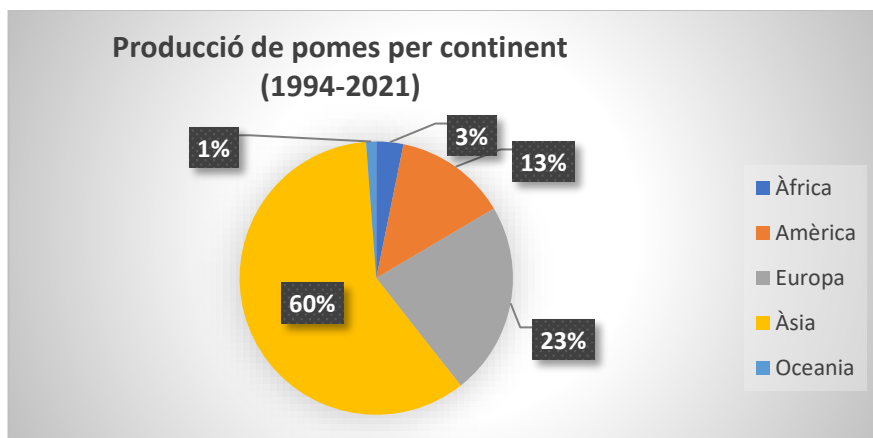


Figura 2. Proporció de producció de pomes per regions continentals (Font: FAOSTAT, 2023).

Segons l'Oficina d'estadística de la Unió Europea (EUROSTAT, 2019), a la Unió Europea el 2017 hi havia cultivades unes 473.500 ha en pomeres. El país que té una major àrea dedicada al cultiu de la poma és Polònia amb el 34% de les hectàrees del total de la Unió europea. Espanya es troba a la sisena posició amb el 6% del total de superfície del cultiu a Europa (Figura 3)

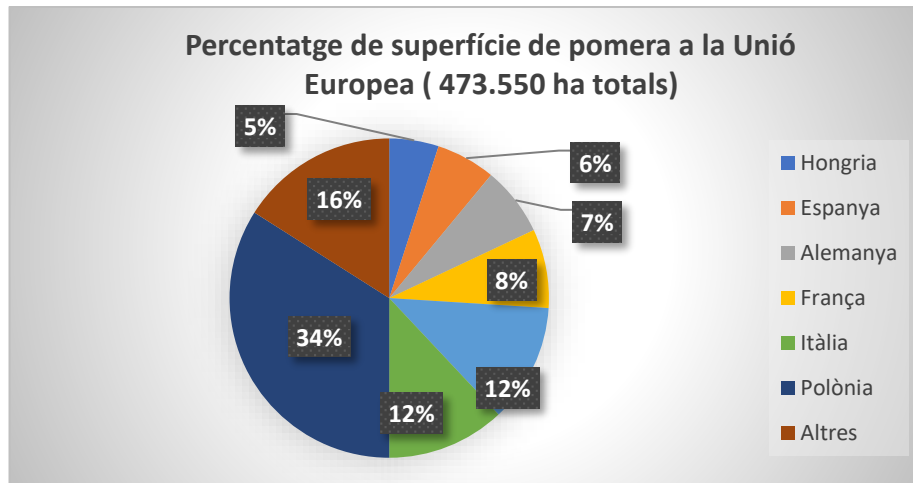


Figura 3. Superfície total de plantació de pomera a la Unió Europea el 2017 (Font: Eurostat 2019)

1.1.1 EL CONREU DE LA POMA A GIRONA

El conreu de la poma és el principal conreu fruïter de la província de Girona. La superfície productiva, a finals de 2011 era d'unes 2.293ha aproximadament (Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural, 2012) havent incrementat la seva superfície al 2021 fins a 2720ha (IDESCAT, 2021). El 92,6 % de la superfície productiva es concentra a les comarques de l'Alt i Baix Empordà (Figura 4)

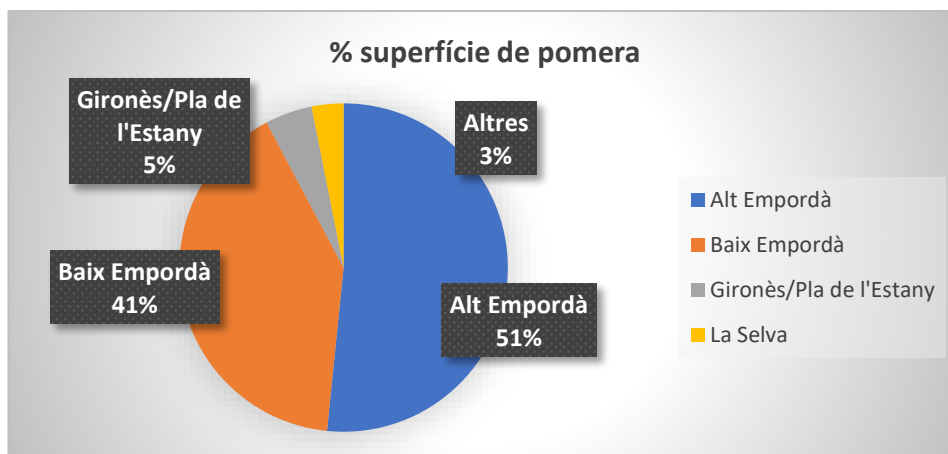


Figura 4. Superfície total de conreu de pomera a la demarcació de Girona (IDESCAT, 2021).

1.2 REQUERIMENTS I MANEIG

1.2.1 CLIMATOLOGIA

La pomera és un cultiu de fulla caduca, per això la latència és un mecanisme fisiològic important, ja que fa que l'arbre deixi de créixer i es mantingui inactiu durant condicions climàtiques desfavorables per tal de protegir el teixit (Faust et al., 1997). Des de l'inici de la latència fins la floració, els arbres experimenten modificacions fisiològiques complexes desencadenades per temperatures fredes i càlides (Luedeling et al., 2013)

Segons Lang et al.,(1987) el període de latència es pot dividir en 2 subetapes:

- Endolatència: coneguda com el veritable estat de latència i regulada per temperatures fredes.
- Ecolatència: condicions favorables a la brotada.

Per superar la latència i reprendre el creixement la temporada següent, la pomera ha de complir amb un requisit de fred específic del genotip entre finals de tardor i principis de primavera (Campoy et al., 2011; Luedeling, 2012). En climes temperats d'hivern, l'acumulació insuficient de fred durant la latència pot conduir a diferents trastorns fenològics, com un desenvolupament desigual, avortament de gemmes, un quallat deficient, provocant una reducció del rendiment i la qualitat finals.

Per explicar el procés d'acumulació de fred hivernal en arbres fruiters de fulla caduca, s'han desenvolupat diversos models. En el cas d'àrees d'hivern suau es fa servir el Model Dinàmic (Erez et al., 1990). A la taula 1 podem veure que en pomera les hores de fred poden variar entre les 200 i 800 hores amb un màxim de 1700 hores. Hi ha un rang ampli perquè depèn de la varietat en necessitarà més o menys.

Taula 1.Hores de fred segons el model dinàmic. (Font: Fitocuiran, 2013)

Especie	Mínimo	Máximo
Almendro	100	500
Avellano	800	1600
Ciruelo europeo	700	1600
Ciruelo japonés	100-600	1000
Albaricoquero	200-500	900
Melocotonero**	100-400	1100
Cerezo	500-800	1500
Manzano	200-800	1700
Membrillero	100	500
Nogal*	400	1500
Peral	500	1500
Vid	100-500	1400

**Las variedades californianas tienen requerimientos de 300 HF

* Las más difundidas entre 600-800 HF

1.2.2 SÒLS

En els últims 50 anys s'ha incrementat un 12% la superfície cultivada. També ha augmentat l'ús de conreus de regadiu, incrementant la necessitat de més recursos hídrics. La humanitat depèn molt de les produccions en camps de conreu, per això cal fer el possible per mantenir-ne la viabilitat.

La degradació d'aquests espais suposa una amenaça per la viabilitat (Panagos et al.,2020). L'erosió n'és un dels principals resultats de la degradació. Aquesta erosió ve en bona part per les polítiques d'un model d'agricultura intensiva, juntament amb la globalització, que posen en perill la seguretat i independència alimentària (Franco i Almeida, 1999)

A casa nostra, el principal tipus d'erosió és la hídrica que es dona en sòls que per diferents raons (abandonament, incendis, pendent,...) que com a conseqüència farà que hi hagi una reducció de la producció d'aliments en el futur.

El canvi climàtic, la concentració de les precipitacions, l'augment de les temperatures, l'augment poblacional, les tècniques de maneig utilitzades en l'agricultura convencional, entre d'altres, fa que s'hagi generat un esgotament del sòl agrícola. Com a conseqüència s'ha produït una reducció de la matèria orgànica, una reducció de la fertilitat del sòl, una reducció del segrest de carboni i una menor estabilitat estructural del sòl.

Donades aquestes conseqüències, sorgeix la necessitat de millorar l'emmagatzematge d'aigua al sòl, l'augment de la capacitat de segrest de carboni al sòl, la disponibilitat de nutrients i la disminució de l'ús de productes fitosanitaris. Aquesta millora es pot aconseguir millorant l'estructura del sòl, augmentant els continguts de matèria orgànica i augmentant l'estabilitat dels agregats davant l'acció de l'aigua (Gispert et al. 2020).

L'augment dels continguts de matèria orgànica és important per tenir una millor estructura del sòl i un segrest de carboni positiu. El carboni és el major component de la matèria orgànica, per això és important augmentar-ne els continguts, ja que el segrest de carboni està relacionat amb la respiració de la planta i el carboni del sòl. Per tenir un balanç positiu de segrest de carboni, el balanç de carboni emès per la planta a l'atmosfera, en forma de diòxid de carboni, ha de ser menor al carboni que conté el sòl.

2. OBJECTIUS

L'objectiu d'aquest treball és establir l'efecte de l'aplicació de diferents esmenes orgàniques en la millora de les propietats físiques i bioquímiques del sòl.

Per assolir aquest objectiu, s'han pres mostres de sòl d'un assaig d'aplicació d'esmenes orgàniques per la fertilització d'arbres de pomera situat a l'IRTA de Mas Badia, iniciat al 2018.

Els tractaments que es duen a terme són:

1. Mineral (tradicional)
2. Organo-mineral
3. Orgànic
4. Fracció sòlida compostada de purí

Es disposa de mostres dels diferents tractaments passats 5 anys d'aplicació en el cas del tractament mineral, organo-mineral i orgànic. En el cas de la fracció sòlida compostada de purí es disposa de les mostres passats 4 anys de l'aplicació.

Per determinar l'efecte dels tractaments en el sòl s'ha determinat:

- Estabilitat dels agregats 0.25 a 2 mm (WSA 0.25-2)
- Estabilitat dels agregats 2 a 5.6 mm (WSA 2-5.6)
- Densitat aparent (Da)
- Carboni total (TOC)
- Carboni oxidable (Walkley Black) (SOC)
- Carboni actiu (AOC)
- Contingut en glomalina (total (GT) i fàcilment extractable (EEG))
- Activitat respiratòria potencial
- Coeficient de mineralització
- Capacitat de segrest del carboni

3. MATERIALS I MÈTODES

3.1. ZONA D'ESTUDI

La zona d'estudi es troba a la Tallada d'Empordà, comarca del Baix Empordà (Figura 5). És una comarca banyada pel mar Mediterrani, al nord limita amb l'Alt Empordà, a l'oest amb el Gironès i al sud amb la Selva. De la seva orografia destaquen dos sistemes muntanyosos, el Montgrí i les Gavarres, i els penya-segats que conformen el paisatge de la Costa Brava. El riu més important és el Ter, que rep les aigües del riu Daró.



Figura 5. Situació geogràfica del Baix Empordà a Catalunya (Font: www.wikiwand.com)

La Tallada d'Empordà (Figura 6) és un municipi format per quatre pobles: La Tallada d'Empordà, Canet de la Tallada, Marenyà i Tor. Tots ells es troben situats a la Plana del Baix Ter.



Figura 6. Situació geogràfica de la Tallada d'Empordà (Font: www.municat.gencat.cat)

3.1.1 UBICACIÓ I DESCRIPCIÓ DE LA PARCEL·LA

Aquest treball s'ha dut a terme a l'estació experimental de Mas Badia (Figura 7)



Figura 7. Mas Badia (Font: IRTA)

L'IRTA Mas Badia és un centre consorciat amb l'IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària). Es tracta d'una estació experimental de recerca agrícola concertada amb l'IRTA, l'Associació Poma de Girona, la Cambra Agrària de Girona, l'Ajuntament de la Tallada d'Empordà, la Diputació de Girona, el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (DARP), el Consell

Comarcal del Baix Empordà, el Patronat de l'Escola Politècnica Superior, l'Associació de Frisona de Girona, La Universitat de Girona (UdG) i l'Associació Empresarial de Fruita de Catalunya (AFRUCAT).

Té com a objectiu la realització d'activitats d'experimentació agrícola que permetin millorar i orientar l'agricultura a la província de Girona.

Les activitats de l'IRTA Mas Badia són l'agronomia, la producció ecològica i la bioenergia, la fisiologia post collita, l'entomologia, la fitopatologia i l'ús eficient d'aigua i fertilitzants.

La parcel·la on s'ha realitzat l'assaig (Figura 8) es troba a les coordenades 42° 3' 10.005''N, 3° 3' 43.961'' E. Té una superfície de 0.329 ha. L'any 2015 es va realitzar la plantació de les pomeres amb la varietat 'Annaglo' seguint un marc de plantació de 3 x 1,2 m.



Figura 8. Parcel·la on s'ha dut a terme l'estudi (Font: Google Earth 2022)

Es tracta d'una zona de clima CSA (Köppen-Geiger, 1918) típic mediterrani, semiàrid, caracteritzat per estius secs i calorosos i hiverns humits amb temperatures suaus. La temperatura mitjana anual és d'uns 15°C i la precipitació anual de la zona és de 700-800 mm.

3.2 DISSENY I DESENVOLUPAMENT DE L'ASSAIG

Aquest assaig s'inclou dins un projecte que duu a terme a l'IRTA Mas Badia. El disseny consisteix en l'aplicació de 4 estratègies de fertilització diferenciades (Taula 2). La mineral no s'afegeix cap tipus de esmena orgànica i es considera la tesi control. L'orgànica-mineral anualment es reparteix manualment arbre per arbre un total de 2 t/ha. L'orgànica també es reparteix anualment amb un total de 4 t/ha. Per últim, la fracció sòlida de purí de porc compostada que s'aplica anualment un total d'entre 12-17 t/ha. Tots s'apliquen de forma localitzada sota la fila dels arbres en una franja de 50-60 cm d'ample.

Taula 2. Informació de les esmenes aplicades a l'assaig.

TESIS	PRODUCTE	DOSI	ANY APLICACIÓ
1	MINERAL	-	-
2	ORGÀNIC-MINERAL	2 t/ha	2018- 2022
3	ORGÀNIC	4 t/ha	2018-2022
4	FRACCIÓ PURÍ	12-17 t/ha	2019-2022

A la tesi mineral s'apliquen fertilitzants químics per assolir les unitats fertilitzants de 80 N – 30 P i 100 K per hectàrea. El N s'aplica repartit en 3 fraccionaments: el 60% a sortida d'hivern, el 20% a primavera i el 20% restant a postcollita i s'utilitza el producte Novatec 21. El P s'aplica tot a sortida d'hivern a base de superfosfat càlcic i el K a primavera amb sulfat de potassa.

La tesi orgànic-mineral es basa en l'aplicació del fertilitzant FORTEC FR 4-2-7 de l'empresa Inprog (<https://inprog.es/gama-fortec/>). Es tracta d'un fertilitzant amb alt contingut de microelements, amb una alliberació de nitrogen controlada en el temps. Es tracta d'un fertilitzant que a la matèria orgànica se li afegeix una NPK mineral per satisfer les necessitats del conreu.

La tesi orgànica es compon d'un compost de l'empresa Fervosa (www.fervosa.com), el Fervohumus, producte de naturalesa totalment orgànica i biogènica. Es compon de fems, productes orgànics i biomassa vegetal estructurant.

Els fems són bàsicament procedents d'explotacions bovines properes a la planta de compostatge. Pel que fa a la biomassa vegetal prové de treballs de poda, jardineria i desbrossament de boscos de l'entorn.

A la taula 3A es poden veure les característiques físico-químiques de l'esmena, segons el fabricant.

Taula 3A. Característiques físico-químiques “Fervohummus”. Font: Fervosa

Paràmetre	Registre
Nitrogen total	3 % sms
Anhídric fosfòric	3 % sms
Òxid de potassi	2 % sms
Unitats fertilitzants totals	8 % sms
Matèria orgànica total	58 % sms
Humitat	< 40 %
pH	7.5
Conductivitat elèctrica	10
Relació C/N	19.9
Carboni orgànic	28 % smf
Àcids húmics i fúlvics	6 % smf
Granulometria	90% Ø<25 mm

La Fracció Sòlida de purí de porc té origen a la Granja l'Alovet de Granges Terragrisa ubicada a Sant Bartomeu del Grau. És una granja de producció i reproducció amb 2.484 truges en etapa de transició i 7.350 garrins fins a 16 kg. El sistema de tractament de les dejeccions és un sistema de separació S/L mitjançant centrífuga sense ús d'additius. El compostatge es realitza a la mateixa granja amb ventilació forçada per aspiració a la fase de descomposició durant un període de 1.5 mesos i, en pila voltejada a la fase de maduració durant 1.5-2.5 mesos. A la taula 3B es poden observar les característiques físico-químiques d'aquest compost.

Taula 3B. Característiques físico-químiques mitjanes (anys 2019-2020 i 2021) del compost de fracció sòlida de purí de porc. Font: IRTA

Paràmetre	Registre
Matèria seca	36.9 % smf
pH	7.3
CE	3.4dS/m
Matèria orgànica	64.0 % sms
N	2.4 % sms
P	5.2 % sms
K	0.7 % sms
C/N	20.2

En la figura 9 es pot veure la distribució de les diferents esmenes. S'ha realitzat un disseny aleatori per la ubicació de les diferents repeticions, excepte en la tesi FS-Purí que s'ha realitzat en una sola fila.

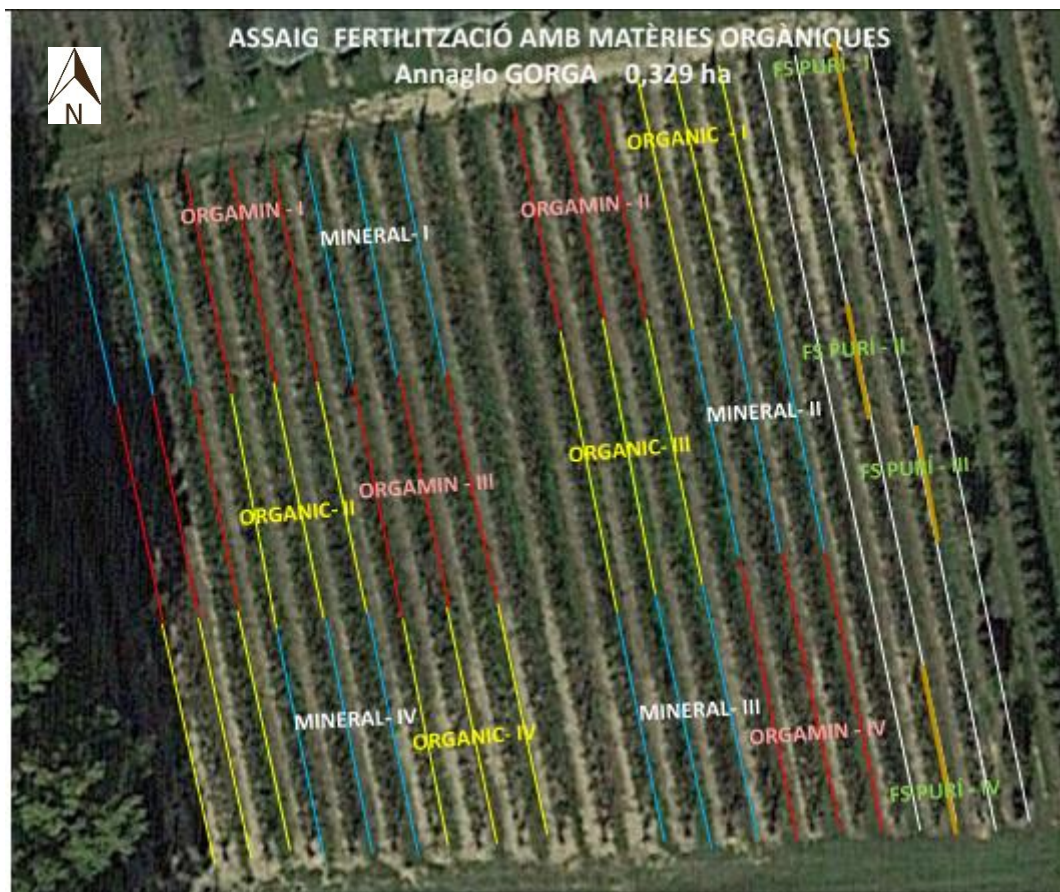


Figura 9. Distribució de l'aplicació de les diferents esmenes (Font: IRTA)

De les 4 esmenes se'n han fet 4 repeticions de 4 punts diferents de la parcel·la. A més s'agafen 2 submostres per cada repetició, és a dir, s'obtenen un total de 32 mostres.

Les submostres s'obtenen amb 3 punxades amb la barrina Edelman entre 0-30 cm de profunditat. Es duen a terme entre 2 arbres i a uns 0,4 m de l'arbre. Abans de cada punxada es desinfecta el material amb etanol 70%. Per cada mostra s'agafa aproximadament 1 kg de material.

L'inici de l'assaig va començar fa 5 anys, incorporant les esmenes orgànica-mineral i orgànica. Un any més tard, es va incorporar l'esmena de fracció sòlida de purí (lleugerament compostada).

L'estiu del 2022 es recullen les mostres per poder fer les determinacions al laboratori.

3.3. MÈTODES

Els paràmetres fisicoquímics del sòl com el carboni orgànic total (TOC), el carboni oxidable (SOC), l'equivalent de carbonat càlcic (CaCO_3), el percentatge de llims, sorres i argiles, la retenció hídrica d'aigua a saturació (WR_{SAT}) i a capacitat de camp (WR_{WP}) han estat analitzades usant els processos estàndard de caracterització de sòls (ISRIC, 2002). Per l'estabilitat estructurals dels agregats s'ha utilitzat la Wet Sieving Apparatus of Eijkelkamp Agriresearch Equipment (Gispert et al., 2020). El carboni actiu es va determinar segons el mètode proposat per Bongiorno et al. (2019)

Els paràmetres bioquímics s'han determinat seguint diferents mètodes. El mètode descrit per Wright i Upadhyaya (1996) ha servit per determinar la glomalina total (GRSP) i la glomalina fàcilment extractable. A partir del mètode d'Alef i Nannipieri (1998) s'ha determinat la respiració potencial dels sòls (RP) que permet avaluar l'emissió de diòxid de carboni pel sòl. En aquest mètode s'utilitza soda lime (Edwards, 1982; Keith & Wong, 2006). El coeficient de mineralització (Q_{min}) s'obté a través de la relació entre C-CO_2 (de la respiració potencial) i el SOC.

De cada mostra que va arribar de Mas Badia, una part es van fer passar per el tamís de 0.25-2 mm i de 2-5.6 mm de diàmetre per poder estudiar la estabilitat dels agregats davant l'aigua. La resta de la mostra es va tamisar amb un sedàs de 2mm i es considera terra fina (<2 mm). Aquesta part, ens servirà per a realitzar les determinacions de les variables fisicoquímiques i bioquímiques.

3.3.1 DETERMINACIÓ VARIABLES FISICOQUÍMIQUES

Classificació granulomètrica i classe textural

La classe textural del sòl s'ha obtingut a partir de les diferents fraccions granulomètriques que es van classificar en funció de la seva mida en sorres grosses (2-0.2mm \emptyset), sorres fines (0.2-0.02mm \emptyset), llims (0.02-0.002mm \emptyset) i argiles (<2 $\mu\text{m}\emptyset$). Aquest mètode (ISRIC, 2002) es basa en la separació de les sorres grolleres amb tamís i la quantificació de les fraccions restants en funció de la velocitat de sedimentació de les partícules del sòl dispersades i posades en suspensió i que dependrà del seu radi i la densitat del líquid. El mètode es va realitzar mitjançant una pipeta de Robinson, on es van obtenir els percentatges de les diferents fraccions granulomètriques. En el procés, es molt important la individualització de les partícules (dispersió amb polifosfat sòdic), a més de la prèvia destrucció de la matèria orgànica (amb H_2O_2).

Densitat aparent

La densitat aparent es determina a partir d'una mostra inalterada de sòl amb un volum conegut. Es seca la mostra a 105°C i es relaciona el pes obtingut amb el volum ocupat.

Aigua retinguda a saturació (WR_{SAT})

L'aigua retinguda pel sòl a saturació es determina a partir de la diferència de pesos entre el sòl saturat d'aigua i el sòl sec, d'un volum de sòl conegut. El sòl es satura en aigua per capil·laritat en un recipient en aigua i amb el drenatge tancat.

L'aigua retinguda a saturació presenta un potencial matricial que tendeix a 0 KPa, tots els porus del sòl es troben plens d'aigua. Els resultats s'expressen com a aigua volumètrica ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ sòl).

Aigua retinguda a capacitat de camp (WR_{CC})

L'aigua retinguda pel sòl a capacitat de camp és l'aigua retinguda en els microporus, l'aigua útil per a les arrels de la planta.. Per aconseguir saber l'aigua retinguda a capacitat de camp es satura la mostra de sòl i es deixa drenar durant 48 hores i es pesa. Es considera que passat aquest temps tenim l'aigua retinguda a capacitat de camp. Es determina per la diferència de pes entre el sòl a capacitat de camp i el sòl sec, d'un volum determinat de sòl

S'expressa en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ sòl. Es considera que el potencial hídic d'un sòl a capacitat de camp és de -33 KPa.

Aigua retinguda a punt de marcimnt (WR_{pm}) i corbes de retenció hídrica

L'aigua retinguda al punt de marcimnt és l'aigua que queda als ultramicroporus del sòl. Aquesta aigua és inaccessible per les arrels de la planta degut a l'elevat potencial hídic que té (-1500 KPa). Per determinar l'aigua retinguda al punt de marcimnt s'ha extrapolat de les corbes de retenció hídrica obtingudes amb l'instrument WP4.

Corbes de retenció hídrica

S'han determinat amb el WP4 (DECAGON). Aquest aparell permet mesurar el potencial hídic del sòl en continguts molt baixos d'aigua, a partir de la mesura de la humitat relativa de l'aire sobre una mostra en un espai tancat.

Per realitzar aquesta determinació es van agafar 5 g de sòl de cada un dels diferents tractaments de fertilització sense i amb l'addició de quantitats creixents d'aigua, és a dir, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.00 i 1.25 cm^3 , per tal d'avaluar patrons de retenció d'aigua del sòl a diferents potencials matricials en els diferents tractaments. Els valors del potencial matricial s'han expressat en Mega

Pascal (MPa). A partir dels resultats obtinguts s'han pogut elaborar les corbes de retenció hídrica de cadascun dels tractaments. A partir de les equacions obtingudes s'ha determinat altres punts característics de l'aigua en el sòl com l'aigua a punt de marciment permanent (PMP).

Estabilitat dels agregats

L'estabilitat dels agregats del sòl és una mesura de la seva resistència respecte les forces capil·lars de l'aigua. Per tal de determinar l'estabilitat dels agregats a l'aigua (WSA) es segueix el mètode descrit per Kemper i Rosenau (1986) utilitzant el model d'aparell de tamisat humit 08.13 d'Eijkkelkamp (<https://www.royaleijkkelkamp.com/products/soil-lab-testing-equipment/soil-physical-research/aggregate-stability/>).

Es va determinar la WSA en dues mides d'agregats de sòl: entre 0,25 i 2 mm i entre 2 i 5,6 mm de diàmetre. Els agregats del sòl es van sotmetre a un tamisat oscil·latori vertical durant 3 minuts de cicle d'immersió-emersió en recipients amb aigua destil·lada. Cada cicle d'immersió-emersió van durar 1,67 segons. En total va haver-hi 102 cicles en els que els agregats estaven sotmesos a les forces dispersives de l'aigua. Els agregats del sòl que van sobreviure a la ruptura i al despreniment es van assecar a 105°C i després es van pesar.

Carboni orgànic total (TOC)

El carboni orgànic total (TOC) s'ha determinat per calcinació d'una quantitat coneguda de mostra de sòl (pesada amb precisió de 0.0001g en una mufla a 400°C "over night". Per a quantificar-lo es resta del total del sòl el pes de les cendres (contingut mineral).

Carboni oxidable (SOC)

L'anàlisi del carboni oxidable amb el mètode Walkley-Black (ISRIC, 2002) consisteix en un mètode d'oxidació per via humida amb dicromat potàssic 1N afegit en excés a una mostra de sòl i diluït en calent amb àcid sulfúric concentrat al 96%. Per a la valoració de l'excés d'àcid cròmic s'ha utilitzat sal de Mohr 0.5N i l'indicador de difenilamina en solució sulfúrica, per tal d'observar el canvi de color en el punt de viratge.

Pel càlcul de la matèria orgànica es pot utilitzar el factor de conversió 1,724 (100/58) ja que es considera que el carboni oxidable representa el 58% de la matèria orgànica.

Carboni actiu (AOC)

L'anomenat carboni actiu seria una part del considerat carboni làbil del sòl i que pot ser un indicador de símptomes de degradació del sòl o de resposta a un maneig (Weil et al. 2003). Per a la determinació del carbó actiu s'ha utilitzat el mètode proposat per Bongiorno et al. (2009) utilitzant el permanganat potàssic per a oxidar aquesta fracció del carboni. Breument, el mètode consisteix en prendre 2.5g de sòl, afegir 18ml d'aigua destil·lada i 2ml de K_2MnO_4 0.2M. S'agita la suspensió 2 minuts a 120rpm i es deixa reposar 8 minuts. Se'n pren una alíquota que es dilueix (1:100) per fer una lectura a l'espectrofotòmetre a una λ de 550nm. Es realitza una corba patró amb diferents concentracions de permanganat per a extrapolar la concentració de carboni actiu de les mostres.

Carboni dissolt (DOC)

El contingut de carboni dissolt en aigua (Alef i Nannipieri, 1998) s'ha obtingut a partir d'una alíquota d'un extracte de sòl en aigua amb una relació 1:10. Aquestes mostres es varen sotmetre a una oxidació per via humida (Walkley Black), amb dicromat potàssic 66.7mM diluït en una barreja 2:1 d'àcid sulfúric i àcid fosfòric afegit en excés, i una digestió de 30 minuts a 60°C. Per a la valoració de l'excés d'àcid cròmic s'ha utilitzat sal de Mohr 0.04N, utilitzant com a indicador una solució de ferroïna (0.025M) per tal d'observar el canvi de color en el punt de viratge.

3.3.2 DETERMINACIÓ VARIABLES BIOQUÍMIQUES

Glomalina total (GT)

S'ha obtingut la glomalina total o també anomenada Glomalin Related Soil Protein (GRSP) (Wright and Upadhyaya, 1996), per extracció del sòl (1g.) amb una solució de citrat sòdic 50mM (8mL) 60 minuts a 121°C a 1atm. en autoclau. Posteriorment es centrifuga l'extracte i es reserva. Es repeteix el procés fins a que l'extracte és de color palla. La glomalina continguda en l'extracte, s'ha determinat pel mètode Bradford. S'ha realitzat una corba patró obtenint l'absorbància (a λ 595nm) de concentracions conegudes d'una proteïna (BSA-Bovine Serum Albumin) per a extrapolar el valor de la concentració de glomalina total.

Glomalina fàcilment extractable (EEG)

La glomalina fàcilment extractable (EEG) o també nomenada Easy Extractable Glomalin Related Soil Protein (EE-GRSP) s'ha extret pel mateix mètode descrit anteriorment, fent una única extracció amb citrat sòdic 20mM, 30 minuts a 121°C a 1atm. en autoclau. Per a quantificar la glomalina

continguda als extractes s'ha utilitzat el mètode Bradford. S'ha realitzat una corba patró obtenint l'absorbància (a λ 595nm) de concentracions conegudes d'una proteïna (BSA-Bovine Serum Albumin) per a extrapolar el valor de la concentració de glomalina fàcilment extractable.

Activitat respiratòria (RP)

Per a determinar la respiració potencial s'ha emprat el mètode proposat per Alef i Nannipieri (1998) utilitzant soda lime (Edwards, 1982) per a quantificar l'emissió de diòxid de carboni de les mostres de sòl (100g). Les mostres es van incubar en un recipient hermètic durant 10 dies, en condicions de foscor, temperatura (25 °C) i humitat controlades (2/3 de capacitat de camp). La soda lime té capacitat d'absorbir el CO₂, el que es reflecteix en un augment de pes després de la incubació. Aquest increment corregint l'estequiometria de la reacció (Keith and Wong, 2006) es considera el valor de respiració potencial.

Coeficient de mineralització o flux de carboni (Qmin)

Aquest paràmetre relaciona el carboni del CO₂ emès respecte el contingut de carboni orgànic que conté la mostra. El coeficient de mineralització és un paràmetre que pot ser indicador del potencial de la capacitat de segrest del carboni que presenta el sòl (Gispert et al. 2020).

Aquest coeficient s'obté del quocient entre el carboni de la CO₂ de la respiració potencial de la mostra i el carboni orgànic, expressades amb les mateixes unitats (mgC-CO₂/g·dia).

3.3.3 ANÀLISI ESTADÍSTIC

Els valors obtinguts de les variables determinades, es van tractar amb el programa estadístic IBM SPSS Statistics per observar l'efecte en les diferents tesis en els paràmetres dels sòls estudiats. Prèviament a realitzar les ANOVA, es va comprovar la normalitat de les dades mitjançant la prova de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$ per complir la normalitat) i la homogeneïtat de la variància amb la prova de Tukey ($p < 0,05$ per complir la homogeneïtat de la variància). A continuació, es va realitzar un anàlisi de la variància (ANOVA) d'un factor (factor tractament) per determinar la diferència entre tractaments.

Per afermar els resultats, s'ha realitzat un anàlisi factorial per a l'extracció dels components principals (PCA), pel qual s'ha utilitzat el programa STATISTICA 7.1 de Stat-Soft Inc. (USA). S'ha triat una estructura de dos factors (components principals, PC1, PC2) per identificar les variables que mostren una correlació significativa amb cada un dels

factors i que expliquen el major pes de la variància entre les variables mesurades i incorporades en cada factor.

En general, aquest tipus d'anàlisi dona una evidència estadística calculant la variància total de totes les variables d'un determinat emplaçament i els relatius usos del sòl, i es basa en obtenir el major pes de variància total associat a un factor determinat i les variables associades amb aquest factor (Paniagua et al., 1999).

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1. CARACTERÍSTIQUES FÍSICOQUÍMIQUES

Principals característiques físico-químiques

Pel que fa a les característiques físiques, a la taula 4A podem veure que les quatre esmenes tenen un alt contingut en sorres. Si utilitzem el diagrama de la classe textural de USDA de la Figura 10 podem veure que les 4 tesis presenten una classe textural franco-arenosa.

Taula 4A.- Taula de resultats de la determinació de la classe textural de les diferents esmenes aplicades al sòl. Font: pròpia.

Fertilització	Argila (%)	Llim fi (%)	Llim gros (%)	Arena (%)	Textura
Mineral	7	12.7	12	68.3	Franco-arenosa
Orgànica-mineral	8.2	13.4	12.7	65.8	Franco-arenosa
Orgànica	8.4	13.2	13.2	65.2	Franco-arenosa
FS Purí	5.7	10.8	10.8	70.7	Franco-arenosa

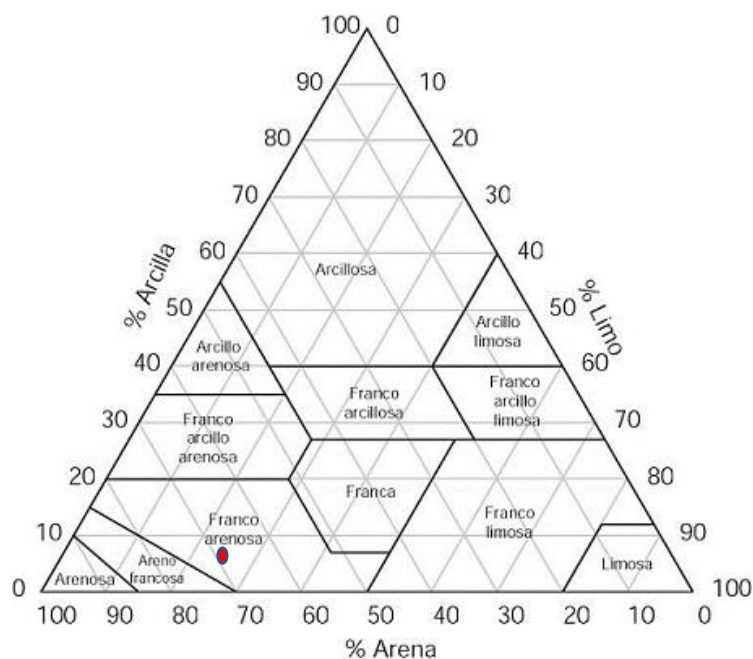


Figura 10.- Diagrama USDA per determinar la classe textural a través del percentatge de sorres, llims i argiles. Font: USDA, 1999.

A la taula 4B es troben els resultats del pH, la CE (dS/m) i el CaCO₃ (%) per les diferents esmenes aplicades al sòl.

Pel que fa al pH veiem que es manté al voltant de 8 en totes les tesis, per tant, es considera un sòl amb pH bàsic. A un pH d'aquest tipus es redueix la solubilitat dels micronutrients com el ferro, el zinc, el coure i el manganès. Les condicions de pH també poden influir sobre el creixement de les plantes per l'efecte que poden tenir sobre els microorganismes que es troben al sòl (Porta et al. 2019).

La conductivitat elèctrica (CE) és un indicador de la quantitat de sals solubles presents al sòl. Per mesurar-la normalment s'utilitza una prova prèvia de salinitat ja que és un diagnòstic ràpid per veure si hi ha presència de sals en un extracte de sòl: aigua en la relació 1:5. En cas d'obtenir un indicador de quantitat de sals força elevat es procedeix a fer un estudi específic de la salinitat per quantificar i tipificar les sals. Aquest estudi es coneix com a extracte de pasta saturada. En el sòl on s'ha dut a terme l'estudi s'ha realitzat el diagnòstic ràpid i s'ha vist que el resultat global de les quatre esmenes és inferior a 0,5 dS/m. Un valor inferior a 0,5 dS/m es considera no limitant.

El carbonat càlcic equivalent s'ha determinat per volumetria a través del calcímetre de Bernard. A les 4 esmenes incorporades al sòl es dona un percentatge de carbonats del 9%. Donat el contingut en carbonats i el pH, es pot considerar un sòl calcari.

Taula 4B.- Taula de resultats del pH, la CE (dS/m) i el CaCO₃ (%) de les 4 esmenes. . A la taula es mostren les mitjanes i les desviacions estàndard. Font: pròpia.

Fertilització	pH	CE (dS/m)	CaCO₃ (%)
Mineral	8.13±0.15	0.17±0.01	9.29±0.13
Orgànica-mineral	8.00±0.08	0.23±0.03	9.34±0.19
Orgànica	7.98±0.10	0.21±0.03	9.38±0.28
FS Purí	8.00±0.06	0.20±0.02	9.34±0.20

A la taula 4C es poden veure els resultats obtinguts a partir de les determinacions de N total (%), P soluble (mg/kg) i K (mg/kg). Pel que fa el nitrogen en les quatre esmenes es manté el mateix percentatge. En relació al fòsfor, el sòl amb aplicació de fracció sòlida de purí es més elevat envers les altres aplicacions, amb una gran diferència a la mineral. Aquest fet s'atribueix a que la dosificació es fa en funció del nitrogen (per assolir les mateixes unitats que la tesi mineral) pel que aquest element (P) queda descompensat i en excés En el potassi es pot observar un contingut més elevat en l'aplicació del fertilitzant orgànic-mineral.

Taula 4C.- Contingut en N, P i K en el diferents tractaments de fertilització del sòl de Mas Badia. Font: Eurofins

Fertilització	N (%)	P (mg/kg sms)	K (mg/kg sms)
Mineral	0.110±0.024	35.08±21.53	95.75±47.766
Orgànica-mineral	0.125±0.030	41.78±4.80	167.75±55.307
Orgànica	0.133±0.017	71.58±23.11	146.50±59.344
FS Purí	0.110±0.042	110.28±7.77	67.50±7.767

Densitat aparent

S'ha determinat la densitat aparent en el sòl en els diferents tractaments relacionant el volum que ocupa una massa de sòl (Taula 5). Aquesta determinació s'ha fet en les mostres de sòl corresponents a la terra fina.

Taula 5.- Densitat aparent en el diferents tractaments de fertilització del sòl de mas Badia.

Fertilització	Densitat aparent g.cm ⁻³
Mineral	1.22±0.08
Orgànica-mineral	1.27±0.05
Orgànica	1.28±0.07
FS-purí	1.21±0.07

Corbes de retenció hídrica WP4

S'han realitzat amb el WP4-T (Dewpoint PotentialMeter, DEcagon Devices Inc.) les corbes de retenció hídrica, relacionant diferents continguts d'aigua volumètrica amb valors de potencial matricial del sòl. Les corbes s'obtenen a partir dels 8 punts a diferents continguts hídrics de les diferents tesis com mostra la figura 11.

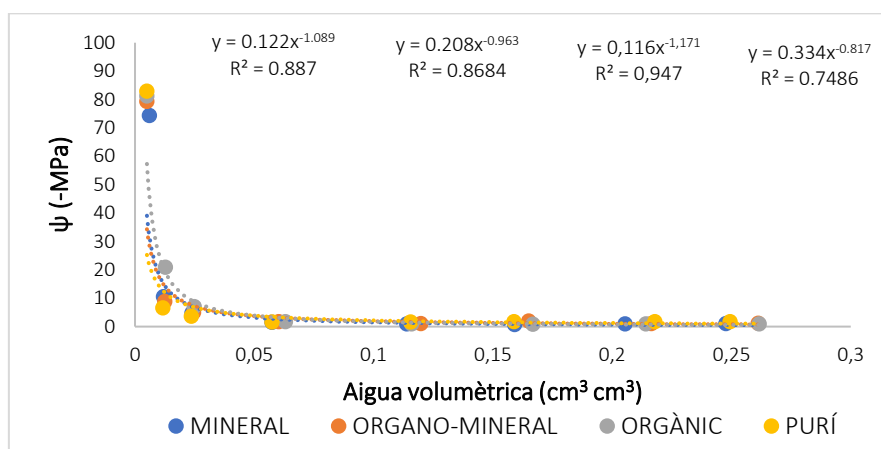


Figura 11. Corbes de retenció hídrica de les diferents esmenes.

A nivell de funcionalitat dels microorganismes (fongs, micorriza) i solubilitat dels nutrients és important establir més acuradament el comportament hídric del sòl i l'efecte dels diferents tractaments a alts potencials hídrics.

Els microorganismes presenten millor activitat a potencials hídrics de -10KPa (Papendick i Campbell, 2015). En potencials hídrics molt elevats (-20MPa) es facilita la solubilitat dels nutrients i l'activitat de les micorrizes. Mantenir l'activitat micorrízica mitjançant la translocació directa d'aigua podria millorar potencialment l'estat dels nutrients de les plantes d'arrel profunda durant els períodes en què el sòl és sec (Querejeta et al., 2003). En les corbes del WP4 es pot apreciar que en el tractament amb compost orgànic la corba es lleugerament diferent, presentant millor contingut d'aigua per un mateix potencial (-20MPa).

Capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD)

Pel que fa als valors a les variables relacionats amb la retenció hídrica del sòl, a la Taula 6 es mostren els valors d'aquestes. L'aigua a capacitat de camp s'ha obtingut deixant saturar d'aigua, per capil·laritat, una massa coneguda de sòl i pesant la diferència (respecte al sòl sec) després deixar-lo drenar 48h. En el cas del contingut d'aigua retinguda al punt de marciment s'ha obtingut a partir de les corbes hídriques generades pel WP4 que es comentaran més endavant (Pardini et al. 2013).

Taula 6.- Mitjanes de les variables de retenció hídrica obtingudes per a cada tractament. CC: Capacitat de camp; PMP: Punt de marciment permanent; CRAD: Capacitat de retenció d'aigua disponible *Valors en $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O} \cdot \text{cm}^{-3} \text{sòl}$.

Fertilització	H₂O a CC*	H₂O a PMP*	CRAD*
Mineral	0.385	0.142	0.243
Orgànica - mineral	0.425	0.159	0.267
Orgànica	0.434	0.100	0.334
FS purí	0.373	0.089	0.284

Pel que fa a la retenció hídrica a capacitat de camp (CC) i punt de marciment permanent (PMP), s'han pogut observar diferències entre els diferents tractaments. Essent els tractaments amb fertilització orgànica i FS-purí, els que presenten una capacitat de retenció d'aigua disponible (CRAD) més elevada.

Estabilitat dels agregats

A la Taula 7A es poden observar els valors obtinguts de l'estabilitat dels agregats (WSA) de les dues mides (0.25 -2mm i 2-5.6mm). Els valors son la mitjana de dues repeticions. En la taula 7B s'hi troben els resultats de fer la mitjana i desviació Standard per cada tractament.

Taula 7A.- Estabilitat dels agregats a l'aigua (WSA) després dels diferents tractaments de fertilització

FERTILITZACIÓ	Repetició	Submostra	WSA,% (0,25-2)	WSA,% (2-5.6)
MINERAL	1	a	4,936	58,806
		b	4,886	86,012
	2	a	4,907	87,961
		b	4,130	86,913
	3	a	4,575	26,958
		b	4,818	14,996
	4	a	4,355	33,356
		b	4,888	27,853
ORG-MINERAL	1	a	4,206	60,829
		b	4,706	84,701
	2	a	4,762	43,651
		b	4,566	75,304
	3	a	4,748	69,609
		b	4,623	74,763
	4	a	4,992	68,709
		b	5,374	43,778
ORGÀNICA	1	a	4,244	43,057
		b	4,183	41,346
	2	a	4,272	62,957
		b	4,236	34,088
	3	a	3,969	74,748
		b	4,230	72,400
	4	a	4,136	64,851
		b	4,838	37,272
FS-PURÍ	1	a	5,106	44,799
		b	4,695	30,454
	2	a	4,448	40,061
		b	4,353	25,543
	3	a	4,989	43,587
		b	4,652	40,497
	4	a	4,524	24,873
		b	4,048	51,414

Taula 7B.- Mitjanes i Desviació Standard de l'estabilitat dels agregats en els diferents tractaments. Les lletres indiquen diferències significatives pel factor tractament.

FERTILITZACIÓ	%WSA Ø 0.25-2mm	%WSA Ø 2-5.6mm
MINERAL	4,678±0.38 a	52,856±30,82
ORG-MINERAL	4,747±0.36 a	65,168±14,67
ORGÀNICA	4,263±0.34 b	53,940±18,40
FS-PURÍ	4,601±0.37 ab	37.65±1,48
<i>p-values</i>	0.019	0.068

L'estabilitat dels agregats de la fracció de Ø 0,25-2 mm davant l'aigua han resultat ser molt baixos, fet que seria d'esperar en un sòl sorrenc (Porta et al., 2019), però ha presentat diferències significatives en el factor tractament. No ha estat així en el cas de l'estabilitat dels agregats de la fracció de Ø 2-5,6 mm. També s'ha pogut observar una gran variabilitat dins del tractament mineral en aquesta fracció d'agregats. El tractament amb la FS de purí és el que presenta una estabilitat més baixa, essent el tractament orgànic mineral el que presenta una millor estabilitat dels agregats de les dues fraccions estudiades.

Amb el mètode emprat s'han evidenciat algunes dificultats en seguir els procediments pel fet de que el sòl tingui un elevat contingut en sorres grosses (2-0.2mm) que tenen una mida corresponent al límit del tamís (0.25mm).

Caracterització del carboni del sòl

Pel que fa a l'efecte de la incorporació al sòl de diferents esmenes en les diferents formes de carboni orgànic del sòl, carboni orgànic total per calcinació (TOC), carboni oxidable per via humida (SOC), carboni actiu obtingut per oxidació amb permanganat (AOC) i el carboni soluble (DOC) podem observar els resultats a la taula 8A.

En la taula 8B s'hi presenten les mitjanes i Desviacions Standard dels paràmetres relacionats amb les formes de carboni del sòl abans esmentats (TOC, SOC, AOC i DOC)

Taula 8A.- Carboni orgànic total (TOC), Carboni oxidable (SOC), Carboni actiu (AOC) i Carboni soluble a l'aigua (DOC) en els diferents tractaments de fertilització.

FERTILITZACIÓ	Repetició	Submostra	TOC mg/g	SOC mg/g	AOC mg/g	DOC (mg/g)
MINERAL	1	a	26,84	7,835	0,120	0,0074
		b	28,26	7,129	0,117	0,0197
	2	a	34,15	6,847	0,123	0,0197
		b	25,00	6,141	0,121	0,0148
	3	a	20,40	6,282	0,121	0,0222
		b	24,68	5,435	0,123	0,0321
	4	a	26,58	6,988	0,119	0,0271
		b	25,37	6,282	0,121	0,0148
ORG-MINERAL	1	a	27,30	8,259	0,122	0,0123
		b	40,55	8,118	0,125	0,0123
	2	a	24,38	4,447	0,119	0,0173
		b	34,27	7,129	0,119	0,0543
	3	a	28,46	8,682	0,118	0,0296
		b	30,93	7,412	0,121	0,0222
	4	a	35,44	7,553	0,121	0,0025
		b	20,14	4,447	0,121	0,0099
ORGÀNICA	1	a	35,09	5,012	0,123	0,0099
		b	32,03	9,106	0,125	0,0099
	2	a	30,70	10,094	0,128	0,0197
		b	29,77	8,541	0,123	0,0123
	3	a	31,60	9,953	0,129	0,0148
		b	34,77	9,529	0,128	0,1308
	4	a	31,60	10,376	0,125	0,0567
		b	25,02	8,824	0,118	0,0296
FS-PURÍ	1	a	20,88	6,706	0,120	0,0222
		b	27,64	8,118	0,123	0,0074
	2	a	31,70	10,235	0,118	0,0493
		b	29,38	7,835	0,116	0,0419
	3	a	32,38	9,812	0,122	0,0419
		b	31,64	10,235	0,123	0,0370
	4	a	25,29	4,165	0,118	0,0173
		b	32,50	9,529	0,122	0,0222

Taula 8B.- Mitjanes i desviació Standard del Carboni orgànic total (TOC), Carboni oxidable (SOC), Carboni actiu (AOC) i Carboni soluble a l'aigua (DOC) en els diferents tractaments de fertilització. Les lletres indiquen diferències significatives pel factor tractament

FERTILITZACIÓ	TOC (mg.g ⁻¹)	SOC (mg.g ⁻¹)	AOC (mg.g ⁻¹)	DOC (mg.g ⁻¹)
MINERAL	23,380±8,82	6,618±0,74 b	0,1205±0,002 b	0,0197±0,008
ORG-MINERAL	30,184±6,83	7,006±1,66 ab	0,1207±0,002 b	0,0200±0,016
ORGÀNICA	31,323±3,14	8,929±1,71 a	0,1217±0,003 a	0,0355±0,042
FS-PURÍ	28,927±4,13	8,329±2,11 ab	0,1209±0,003 b	0,0299±0,015
<i>p-value</i>	0.194	0.027	0.006	0.480

Els valors del TOC han estat obtinguts per calcinació a 400°C “over night”. A aquestes temperatures hi ha la possibilitat de que es mineralitzin els carbonats secundaris que es troben en el sòl. S’ha determinat el carbonat càlcic equivalent present en les diferents tesis de tractament essent aquests del 9.29%±0.13 corroboren la presència d’aquest component. Aquest fet justificaria que els valors obtinguts en els TOC siguin superiors als del carboni oxidable.

Els valors obtinguts pel que fa al contingut en carboni oxidable (SOC) són els esperats en els sòls de la zona (Gispert et al. 2020). Es pot observar que les tesis amb fertilització orgànica són les que presenten, de forma significativa, un major contingut de SOC i de AOC mentre que no s’observen diferències en els continguts de carboni soluble en funció del tractament. Els continguts de AOC són del mateix ordre en tots els tractaments i es poden considerar valors baixos respecte als trobats per altres autors (Bongiorno et al. 2019). Aquest fet, ens permetria establir la qualitat de la matèria orgànica afegida, essent aquesta no fàcilment oxidable pels microorganismes.

Segrest de carboni

Els continguts de carboni orgànic (SOC) de la tesi mineral i la tesi amb esmena orgànica, després de 5 anys de tractament són 6.6mg/g de C i 8.9mg/g de C respectivament. Si tenim en compte la densitat aparent del sòl i la profunditat en que han estat preses els mostres, tindriem que:

$$\text{Segrest de carboni} = \frac{8.9g - 6.6g}{Kg} * \frac{1.280Kg}{m^3} * \frac{3000m^3}{Ha} = \frac{8820Kg}{Ha}$$

El sòl amb fertilització orgànica és la que presenta una més alta capacitat de segrest del carboni. Ha segrestat 8.82 tones de carboni respecte al sòl sense aquest tractament.

Seguidament es troba la fertilització amb fracció sòlida de purí, que ha segrestat 6,17 tones de carboni respecte el sòl mineral.

Per últim la fertilització orgànica mineral segresta 1,52 tones de carboni respecte el sòl mineral. Aquest resultat ens suggereix que la quantitat i tipus de matèria orgànica al sòl està directament relacionada amb la quantitat de carboni que un sòl pot segrestar.

4.2. CARACTERÍSTIQUES BIOQUÍMIQUES

Contingut en Glomalina

A la taula 9A es poden observar els valors obtinguts de les variables glomalina fàcilment extractable (EEG), glomalina total (GT) i la relació entre elles (EEG/GT). En la taula 9B s'hi presenten les mitjanes i desviacions Standard d'aquestes variables. La glomalina es relaciona amb l'agregació del sòl, amb l'activitat enzimàtica i amb el creixement de les plantes (Emran et al. 2012, a).

La glomalina és una glicoproteïna produïda per fongs micorrízics arbusculars que formen associacions mutualistes amb al voltant del 70% de les famílies de plantes i són abundants en els principals biomes terrestres (Treseder i Turner, 2007). Aquests fongs produeixen aquesta glicoproteïna dins de les seves hifes (Wright i Upadhyaya, 1996). A mesura que les hifes es tornen senescentes, la glomalina es diposita en el sòl, on s'acumula fins a representar fins a un 5% del C i N d'aquest, pel que podria constituir un important reservori global de C i N.

Franca viglia et al (2017) suggereixen que la formació de glomalina afavoreix la fertilitat biològica i el cicle dels nutrients, contribueix a la diversitat de la microbiota i a la qualitat del sòl.

Diversos autors (Rillig, 2004; Emran et al. 2012,a), han relacionat l'efecte positiu de la glomalina amb l'estabilitat dels agregats. S'ha pogut observar diferències significatives entre els tractaments pel que fa al contingut en glomalina, tant la total com el fàcilment extractable. El tractament que presenta nivells més elevats d'aquesta glicoproteïna és el tractament amb fertilització orgànica. Els valors de glomalina obtinguts en els diferents tractaments son de l'ordre dels obtinguts per altres autors en sòls de la zona (Gispert et al. 2018).

De la relació EEG/GT, la fertilització orgànica és la que presenta un valor significativament més elevat a les altres tesis, aquest fet ens podria indicar que el tipus de matèria orgànica d'aquest compost és més làbil i per tant més accessible pels microorganismes (Emran, et al. 2012a).

Taula 9A.- Valors de, glomalina total (GT) glomalina fàcilment extractable (EEG) i el seu quocient (EEG/GT) en els diferents tractaments

FERTILITZACIÓ	Repetició	Submostra	GT mg/g	EEG mg/g	% EEG/GT	
MINERAL	1	a	1,109	0,179	16,12	
		b	1,065	0,161	15,16	
	2	a	1,187	0,214	18	
		b	1,198	0,248	20,73	
	3	a	1,109	0,144	12,98	
		b	1,047	0,179	17,07	
	4	a	1,100	0,113	10,24	
		b	0,967	0,161	16,69	
ORG-MINERAL	1	a	0,976	0,154	15,82	
		b	1,669	0,377	22,59	
	2	a	1,109	0,245	22,07	
		b	1,367	0,269	19,69	
	3	a	1,358	0,189	13,93	
		b	1,180	0,314	26,64	
	4	a	1,109	0,189	17,06	
		b	0,976	0,158	16,19	
	ORGÀNICA	1	a	1,447	0,356	24,61
			b	1,323	0,241	18,25
2		a	1,367	0,217	15,88	
		b	1,269	0,294	23,13	
3		a	1,296	0,269	20,77	
		b	1,367	0,360	26,31	
4		a	1,305	0,255	19,57	
		b	1,296	0,255	19,7	
FS-PURÍ	1	a	0,834	0,154	18,52	
		b	1,180	0,193	16,32	
	2	a	1,234	0,255	20,69	
		b	1,154	0,210	18,21	
	3	a	1,456	0,193	13,23	
		b	1,109	0,221	19,88	
	4	a	0,887	0,151	17,02	
		b	1,349	0,255	18,92	

Taula 9B.- Mitjanes i desviació Standard de la glomalina fàcilment extractable (EEG), glomalina total (GT) i el seu quocient (EEG/GT) en els diferents tractaments

FERTILITZACIÓ	EEG mg/g	GT mg/g	EEG/GT %
MINERAL	0,175±0,04 b	1,098±0,07 b	15,872±3,18 b
ORG-MIN	0,237±0,08 ab	1,218±0,25 ab	19,248±4,28 ab
ORGÀNICA	0,281±0,05 a	1,334±0,06 a	21,026±3,45 a
FS-PURÍ	0,204±0,04 b	1,150±0,21 ab	17,850±2,34 ab
<i>p-value</i>	0.005	0.045	0.034

Activitat respiratòria i coeficient de mineralització

Pel que fa a la respiració potencial (RP), els valors obtinguts es poden observar a la Taula 10A, així com el coeficient de mineralització (Q_{min}), obtingut a partir del quocient entre el carboni de la CO_2 emès en la respiració potencial i el carboni orgànic tant el TOC com el SOC. En la taula 10B s'hi troben el valors de les mitjanes i desviacions Standard d'aquests paràmetres. S'assumeix que els tractaments amb els Q_{min} més baixos són els que presenten una major capacitat de segrest de carboni.

Els tractaments que han presentat una major activitat respiratòria són els fertilitzats amb components orgànics (Orgànica i FS de purí). El flux de carboni (carboni emès respecte al contingut de carboni), es presenta com a coeficient de mineralització (Q_{min}).

Els valors d'activitat respiratòria (tot i que és una respiració potencial) es poden considerar molt baixos respecte als trobats per altres autors en sòls de la zona (Gispert et al. 2020, Emran et al. 2012b). Els coeficients de mineralització, a la vegada, també són molt baixos, essent la FS- de purí el que el presenta més elevat.

El coeficient de mineralització ens dona la idea del flux del carboni en un moment determinat. Ens pot donar una idea del comportament del sòl i ens és útil per a comparar tractaments.

Tot i que el tractament amb compost orgànic és el que presenta una major respiració potencial, s'ha pogut constatar un increment del carboni orgànic significatiu (respecte al tractament amb fertilització mineral) després dels 5 anys de tractament. Aquest fet ens ha permès establir que hi ha hagut segrest de carboni efectiu d'aquest tractament (Orgànic) respecte a una fertilització mineral.

Taula 10A.- Respiració potencial (RP) en mgCO₂/g·d i coeficient de mineralització Q_{min} obtingut en relació al TOC Q_{min}-TOC i al SOC, Q_{min}-SOC)

FERTILITZACIÓ	Repetició	Submostra	RP	%Q _{min} TOC	%Q _{min} SOC
MINERAL	1	a	0,083	0,084	0,288
		b	0,136	0,130	0,516
	2	a	0,135	0,107	0,532
		b	0,081	0,087	0,356
	3	a	0,073	0,097	0,314
		b	0,113	0,124	0,563
	4	a	0,074	0,075	0,284
		b	0,095	0,101	0,410
ORG-MINERAL	1	a	0,084	0,083	0,276
		b	0,119	0,079	0,396
	2	a	0,101	0,112	0,615
		b	0,101	0,080	0,383
	3	a	0,078	0,074	0,243
		b	0,077	0,067	0,279
	4	a	0,084	0,064	0,301
		b	0,069	0,093	0,421
ORGÀNICA	1	a	0,151	0,116	0,813
		b	0,131	0,111	0,389
	2	a	0,124	0,109	0,332
		b	0,137	0,124	0,432
	3	a	0,142	0,122	0,386
		b	0,125	0,097	0,353
	4	a	0,157	0,134	0,409
		b	0,165	0,178	0,504
FS-PURÍ	1	a	0,116	0,151	0,469
		b	0,136	0,133	0,451
	2	a	0,219	0,187	0,579
		b	0,104	0,096	0,360
	3	a	0,162	0,135	0,446
		b	0,182	0,155	0,480
	4	a	0,159	0,170	1,032
		b	0,152	0,126	0,430

Taula 10B.- Mitjanes i desviacions Standard dels valors de Respiració potencial (RP) en mgCO₂/g·d i coeficient de mineralització Qmin obtingut en relació al TOC Qmin-TOC i al SOC, Qmin-SOC)

FERTILITZACIÓ	RP	Qmin-TOC (%)	Qmin-SOC (%)
MINERAL	0,099±0,03 b	0,101±0,02 c	0,4079±0,115
ORG-MIN	0,089±0,02 b	0,082±0,02 bc	0,3642±0,120
ORGÀNICA	0,142±0,02 a	0,124±0,02 ab	0,4524±0,155
FS-PURÍ	0,154±0,04 a	0,144±0,03 a	0,5308±0,211
<i>p-value</i>	0.001	0.001	0.194

En la taula 11 es pot observar la matriu de correlació entre els paràmetres estudiats.

Taula 11. Matriu de correlació dels paràmetres estudiats

	WSA 0.25-2 mm	WSA 2-5.6 mm	SOC	TOC	AOC	DOC	RP	TG
WSA 2-5.6 mm	-0.026							
SOC	-0.382	0.092						
TOC	-0.548*	0.560*	0.510*					
AOC	-0.483*	0.197	0.383	0.405				
DOC	-0.394	0.026	0.564*	0.243	0.250			
CO ₂	-0.449	-0.279	0.648**	0.357	0.142	0.421		
TG	-0.653**	0.542*	0.579**	0.836***	0.521*	0.354	0.384	
EEG	-0.703**	0.442	0.458	0.805***	0.532*	0.419	0.316	0.914***

WSA : Estabilitat dels agregats en aigua en dues fraccions; SOC: Carboni orgànic; TOC: Carboni total; AOC: Carboni orgànic actiu; DOC: Carboni orgànic soluble; RP: Respiració del sòl; TG: Glomalina total; EEG: Glomalina fàcilment extractable.

*p<0.05; **p<0.01; ***p<0.00

En aquestes correlacions queda evidenciada la correlació positiva entre el contingut en glomalina total i l'estabilitat dels agregats de 2-5.6mm. i amb les diferents formes de carboni del sòl (Emran et al 2012, Pardini et al 2013) excepte amb el carboni soluble.

Anàlisi factorial

L'anàlisi factorial de components principals (PCA) té com a objectiu identificar noves variables, o factors, que puguin explicar la configuració de les correlacions dins d'un conjunt de variables analitzades. Aquest tipus d'anàlisi s'utilitza en la simplificació de les dades per a identificar un reduït nombre de noves variables o factors que englobin grups de variables i que mostrin la majoria de la variància observada. El factor que mostra més variància dins del grup de variables associades té més importància en la explicació del procés que es vol analitzar. Per tant aquesta anàlisi es pot utilitzar per a formular hipòtesis relacionades amb els mecanismes causals de la resposta obtinguda de les variables originals.

En el desenvolupament d'aquesta anàlisi s'han utilitzat 16 casos i 9 variables. Els 16 casos representen per a cada una de les 4 tesis dels tractaments de fertilització dels sòls aplicats la mitjana de les mostres a i b de les 4 repeticions. Les 9 variables analitzades són l'estabilitat estructural dels agregats (WSA) del sòl en la fracció 0.25-2 mm i 2-5.6 mm, el carboni orgànic (SOC), el carboni total (TOC), el carboni actiu (AOC), el carboni soluble (DOC), la respiració potencial (CO_2), la glomalina total (TG) i la glomalina fàcilment extractable (EEG). L'estructura factorial ha explicat el 68.99% de la variància de totes les variables (Taula 12).

Taula 12. Relació de les variables analitzades amb els dos factors extrets en la PCA. La correlació establerta entre variables i factors es >0.500 .

Variables	Factor 1	Factor 2
WSA0.25-2 (%)	-0.554	-0.542
WSA2-5.6 (%)	0.718	-0.446
SOC (mg g^{-1})	0.371	0.730
TOC (mg g^{-1})	0.846	0.259
AOC (mg g^{-1})	0.593	0.237
DOC (mg g^{-1})	0.217	0.663
CO_2 ($\text{mg g}^{-1}\text{dia}^{-1}$)	0.052	0.881
TG (mg g^{-1})	0.849	0.388
EEG (mg g^{-1})	0.892	0.314
Variància absoluta (%)	51.09	17.90
Variància acumulada (%)	51.09	68.99

S'han generat 2 factors associats a les variables analitzades.

El factor 1 explica el 51.09% de la variància total i incorpora TOC, TG i EEG amb una correlació positiva força alta mentre que WSA 2-5.6 mm i AOC mostren correlacions positives inferiors. La WSA 0.25-2 mm presenta una correlació baixa i negativa.

El factor 2 amb un 17.90% de la variància total associa WSA 0.25-2 mm amb signe negatiu i DOC, SOC i CO₂ amb correlacions positives essent la RP la més alta (Taula 9). Si es considera que el primer factor té un pes de variància 2.9 vegades més alt (+185%) les variables associades amb aquest factor tindrien una major importància estadística en la explicació del conjunt dels tractaments aplicats.

La disposició de les variables associades als factors es pot observar en la Figura 12.

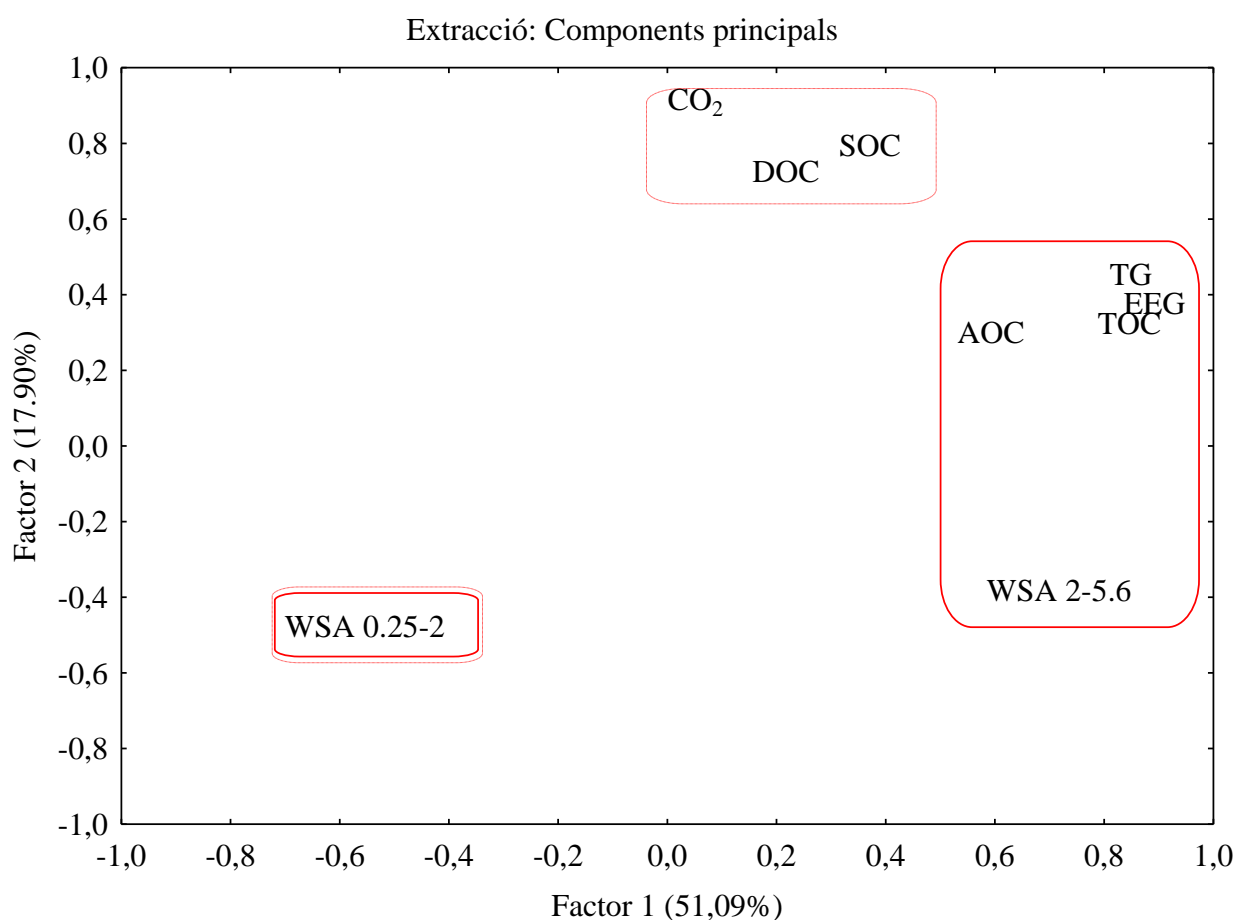


Figura 12. Diagrama factorial bidimensional que mostra la disposició de les variables analitzades.

L'anàlisi factorial pot proporcionar una evidència estadística de l'habilitat dels factors per resumir el rol de les variables dins de cada factor (Paniagua et al., 1999).

Alguns autors (Shukla et al., 2006) han suggerit utilitzar els factors com a indicadors de propietats associades a la qualitat del sòl. El factor 1 de la taula 12, podria anomenar-se "estructura, matèria orgànica i glomalina" i indicar que una bona estructura està associada al contingut de matèria orgànica i glomalina. El factor 2 es podria definir com "carboni orgànic i

pèrdua de carboni com C-CO₂". Aquestes hipotètiques assumpcions poden tenir una certa lògica si es pensa que la relació agregació de sòl i glomalina ha estat comentada per diversos autors (Rillig et al., 2003; Gispert et al., 2018). A més, també té lògica que la glomalina estigui estrictament relacionada amb el TOC, donat que el contingut de glomalina sembla incorporar diferents components aromàtics del carboni més recalcitrant (Gispert et al., 2018). Per altra banda, en el factor 2 la pèrdua de carboni per emissió de CO₂ no sembla ser rellevant donat la reduïda importància estadística d'aquest factor. L'anàlisi de components principals (PCA) identifica casos (tesis) relacionats amb el factor 1 amb contribució positiva a un bon funcionament del sòl, o menys eficients (negativa) en el conjunt dels tractaments de fertilització del sòl (Taula 13).

Taula 13. Avaluació de la relació variables-tractaments mitjançant la puntuació factorial.

Tractaments	Factor 1	Factor 2
MIN-I	-0.449	-0.940
MIN-II	0.800	-1.185
MIN-III	-1.479	-0.131
MIN-IV	-1.308	-0.377
MIN+ORG-I	1.438	-0.742
MIN+ORG-II	0.269	-0.671
MIN+ORG-III	0.713	-0.949
MIN+ORG-IV	-0.544	-1.649
ORG-I	1.068	0.225
ORG-II	0.678	0.524
ORG-III	1.715	1.136
ORG-IV	0.011	1.266
FS-PURI-I	-1.343	-0.048
FS-PURI-II	-0.686	1.549
FS-PURI-III	-0.212	1.397
FS-PURI-IV	-0.672	0.595

En la figura 13 s'hi troba representada gràficament la puntuació factorial.

Es pot observar que el factor 1 identifica el tractament amb fertilització orgànica totalment positiu, mentre el purí es totalment negatiu. En els altres tractaments s'obtenen un resultat entremitjos.

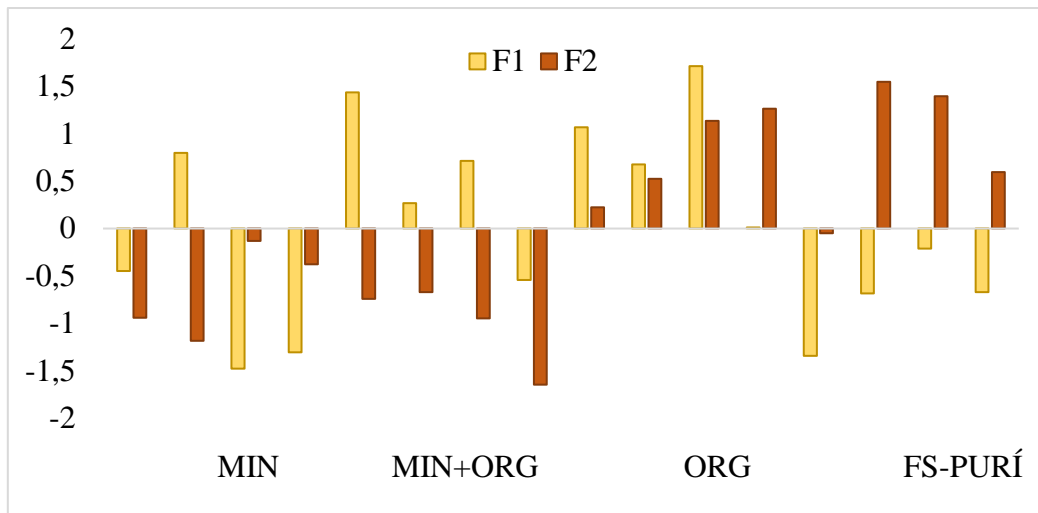


Figura 13. Resolució gràfica de la puntuació factorial o score (casos associats a factors+variables).

Pel que fa al factor 2, probable pèrdua de carboni orgànic, el tractament amb fertilització orgànica seria el més sensible juntament amb el purí, encara que el baix pes d'aquest factor (17.90%) semblaria tenir poca rellevància en les pèrdues de carboni.

5. APLICABILITAT

Aquest treball té una aplicabilitat en la manera de millorar i gestionar els sòls agrícoles millorant la qualitat del sòl. Un altre aspecte important és l'aprofitament de residus orgànics per a la fertilització de fruiters, contribuint al segrest del carboni per part del sòl així com en l'economia circular del nostre país

Pot tenir la utilitat per presentar els resultats als agricultors i anar conscienciant cada vegada més que la utilització de la fertilització orgànica és important per mantenir i millorar les propietats fisicoquímiques i bioquímiques del sòl.

6. CONCLUSIONS

- 1) La classe textural del sòl es manté en les quatre esmenes diferents.
- 2) El contingut en carbonat càlcic , la densitat aparent, el pH i la conductivitat elèctrica es mantenen molt semblants en les 4 aplicacions.
- 3) No s'ha pogut demostrar una millor estabilitat estructural amb el tractament orgànic. Els tractaments amb millor estabilitat estructural de la fracció 0.25-2 mm són el mineral i l'orgànic-mineral.
- 4) La fertilització orgànica té una major retenció hídrica a alts potencials.
- 5) La capacitat de retenció d'aigua disponible és major en el tractament orgànic.
- 6) Les fertilitzacions amb fracció sòlida de purí i l'orgànica són les que tenen una major activitat respiratòria.
- 7) S'ha observat que el tractament orgànic presenta una major quantitat de carboni oxidable (SOC) i de carboni actiu (AOC)
- 8) La fertilització orgànica és la que presenta una major quantitat de glomalina total i glomalina fàcilment extractable.
- 9) El tractament que presenta una major capacitat de segrest de carboni és la fertilització orgànica.
- 10) El tractament amb fertilització orgànica, és el que presenta una millora significativa en les propietats bioquímiques i biològiques del sòl.

7. BIBLIOGRAFIA

Alef, K., Nannipieri, P. (1998). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. (2a ed.). San Diego: Academic Press.

Anderson J., Richardson E., Kesner C. (1986). *Validation of chill unit and flower bud phenology models for Montmorency sour cherry*. Acta Hort. 184: 71-78.

Atkinson C., Brennan R., Jones H. (2013). *Declining chilling and its impact on temperate perennial crops*. Environmental and Experimental Botany 91: 48-62

Bongiorno, G., Bünemann, E.K., Oguejiofor, Ch.U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussard, L., de Goede, R. (2019) *Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe*. Ecological indicators 99, 38-50.

Campoy, J., Ruiz, D., Egea, J. (2011). *Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: a review*. Scientia Horticulturae, 130(2), 357-372.

Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural de la Generalitat de Catalunya (2012). *Aforaments de collita de poma de Girona per a la campanya 2012*. https://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de02_estadistiques_observatoris/02_estructura_i_produccio/02_estadistiques_agricoles/03_fulls_de_previsio_collita/arxius_estatics/fpc_2012/2013_01_03_girona_poma_definitius.pdf

Edwards, N.T. (1982). *The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial Systems*. Pedobiologia vol. 28, 321-330
Emran, M., Gispert, M., Pardini, G. (2012a) *Patterns of soil organic carbon, glomalin and structural stability in abandoned Mediterranean terraced lands*. European Journal of Soil Science 63: 637-649

Emran, M., Gispert, M., Pardini, G. (2012b). *Comparing measurements methods of carbon dioxide fluxes in a soil sequence under land use and cover change in North Eastern Spain*. Geoderma, 170, 176-785

Erez, A.; Fishman, S. (1997). *The dynamic model for chilling evaluation in peach buds*. In IV International Peach Symposium 465 (pp. 507-510).

EUROSTAT (2019). *Agricultural production-orchards*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agricultural_production_-_orchards#Apple_trees

FAOSTAT, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, División de Estadística, ed. (2022). *Promedio de producción de manzana entre 1994-2022; Cultivos/Regiones mundiales/Cantidad de producción»*

Faust, M., Erez, A., Rowland, L. J., Wang, S., Norman H. (1997). *Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release*. HortScience, 32(4), 623-629.

Fishman S., Erez A., Couvillon G. (1987). *The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Mathematical analysis of a 2 step model involving a cooperative transition*. Journal of Theoretical Biology. Vol. 124:473-483

Franca Viglia, R., Renzi, G., Doro, L. (2017). *Organic carbon pools and soil biological fertility affected by land use intensification in Mediterranean ecosystems in Sardinia (Italy)*. Science of the Total Environment. 599-600: 789-796

- Franco, J., Almeida, F. (1999). «Un nuevo enfoque económico». En: Solidaridad y Ciudadanía (varios autores), Sevilla, Cooperación Internacional, pp. 64-71
- Gispert, M., Pardini, G., Emran, M., Doni, S., Masciandaro, G. (2018). *Seasonal evolution of soil organic matter, glomalin and enzymes and potential for carbon storage after land abandonment and renaturalization processes in soils of NE Spain*. *Catena* 162, 402-413.
- Gispert, M., Phang, Ch., Carrasco-Barea, L. (2020). *The role of soil as a carbon sink in Coastal salt-marsh and agropastoral Systems at La Pletera, NE Spain*. *Catena* 185 (104331)
- ISRIC. (2002). Procedures for soil analysis. Van Reeuwijk, L.P. (ed) International Soil Reference and Information Center. (6a ed.). FAO, Wageningen, NL.
- Keith, H., Wong, S.C. (2006). *Measurement of soil CO₂ efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable*. *Soil Biology and Biochemistry* 38(5), 1121-1131.
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C. (1986). *Aggregate stability and size Distribution*. In: Methods of soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods- Agronomy Monograph n°9 American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Lang G., Early J., Martin G., Darrell R. (1987). *Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research*. *HortScience* 22: 371-377.
- Luedeling, E (2012). *Climate change impacts on winter chill for temperature fruit and nut productions*. *Scientia Horticulturae*, 144, 218-229.
- Lundin, L.C., Halldin, S., Nord, T., Etzalmüllers, B. (1999) System information in NOPEX – retrieval, use, and query of climate data. *Agricultural and Forest Meteorology* I Vol: 98-99 Page: 33-42
- Panagos, P., Borrelli, P. & Robinson, D. *La FAO pide acciones para reducir la erosión global del suelo*. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 25, 789-790 (2020).
- Paniagua, A., Kammerbauer, J., Avedillo, M., Andrews, A.M. (1999). *Relationship of soil characteristics to vegetation succession on a sequence of degraded and rehabilitated soils in Honduras*. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 72, 215-225.
- Papendick, R. I., & Campbell, G. S. (2015). Theory and Measurement of Water Potential. En *Water Potential Relations in Soil Microbiology* (pp. 1-22). John Wiley & Sons, Ltd.
- Pardini, G., Gispert, M., Jordana, R. & Velayos, J. (2013) *Experimental Use of Composted Grape Seed And Olive Mill Residues for Amelioration of Fertility And Structural Stability of Soils* . *Compost Science and Utilization*, 61-68
- Porta, J.; López Acevedo, M.; Poch, R.M. (2019) *Edafología: Uso y protección del suelo*. Mundi Prensa.
- Querejeta, J.I.; Egerton-Warburton, L-M.; Allen, M, (2003) Direct nocturnal water transfer from oaks to their mycorrhizal symbionts during severe soil drying *Oecologia* 134:55–64
- Rillig, M.C. (2004). *Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation*. *Can. J. Soil Science*. 84, 355-363.
- Rillig, M.C., Maestre, F.T., Lamit, L.J. (2003). *Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes*. *Soil Biol. Biochem.* 35, 1257-1260.

Robinson, J., Harris, S., & Juniper, B. (2001). *Taxonomy of the genus Malus Mill. (Rosaceae) with emphasis on the cultivated apple, Malus domestica Borkh.* PLANT SYSTEMATICS AND EVOLUTION, 226(1-2), 35-58.

Shukla, M.K., Lal, R., Ebinger, M. (2006) *Determining soil quality indicators by factor analysis.* Soil Tillage Research 87, 194-204.

Treseder, K.K.; Turner, K.M. (2007) *Glomalin in ecosystems.* Soil Sci. Soc. Am. J. 71, 1257-1266.

Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M.A., Gruver, J.B., Samson-Liebig, S.E. (2003) *Estimating active carbon for soil quality: A simplified method for laboratory and field use.* American Journal of Alternative Agriculture. Vol. 18 (1): 3-17.

Woodier, Olwen. *Apple Cookbook.* Clarksburg, MA: Storey Publishing LLC., 2001. Recuperat de: <https://historicsites.nc.gov/all-sites/horne-creek-farm/southern-heritage-apple-orchard/apple-history/origins-apples>

Wright, S.F., Upadhyaya, A. (1996). *Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphan protein of arbuscular mycorrhizal fungi.* Soil science 161, 575-586