

Títol del treball:

Avaluació de l'efecte de diferents esmenes orgàniques en la microbiota i la capacitat de segrest de carboni en diferents sòls agrícoles

Nom estudiant: Maria Pamies Vallvé

Correu electrònic: u1955459@campus.udg.edu

Grau en: Biologia i Ciències Ambientals

Nom del tutor: Maria Gispert Negrell

Correu electrònic: maria.gispert@udg.edu

Agraïments

Agraeixo el gran suport rebut per la meva tutora, la Maria Gispert, sense la seva ajuda, la seva gran dedicació i el seu coneixement no hauria estat possible la realització d'aquest projecte. Agrair també al Giovanni Pardini i a la Lorena Carrasco per la seva ajuda en la part estadística del treball. Així mateix, agrair a l'Helga Sumyatina la seva gran ajuda en la realització de la part experimental. I al Josep Pereda per ajudar-me en la realització del sensor pel seguiment de la temperatura i la humitat i en tota la realització del bioassaig. També agrair a l'Ana i a la Berta per ser la meva companyia durant la redacció d'aquest treball i per l'ajuda mútua que ens hem anat proporcionant.

A l'Albert Domingo per obrir-me camí de cara a aquest projecte i per facilitar-me els contactes amb les persones dels diferents camps mostrejats. Gràcies també per proporcionar-me les diferents esmenes orgàniques i tota la informació relacionada a aquestes. També agrair al Vladimir Baulin per proporcionar-me l'anàlisi de la coberta vegetal.

Finalment, agrair a la meva família tot el suport rebut durant el transcurs de la carrera i d'aquest treball. I no oblidar-nos de la meva segona família de Girona, les wixis, que sempre m'han recolzat a cada pas que he fet durant la carrera.

Moltes gràcies a tots i a totes.

Resum

Degut a l'actual context climàtic, s'estan cercant formes de disminuir o mitigar les emissions de gasos d'efecte hivernacle. Els sòls han començat a agafar importància gràcies a la seva capacitat d'emmagatzemar carboni i, per tant, mitigar el canvi climàtic. Tot i així, des de la revolució industrial, s'ha pogut observar una decadència de les reserves originals de carboni dels sòls degut a pràctiques d'agricultura insostenibles. A causa d'aquesta problemàtica, s'està intentant anar cap a noves tècniques de maneig sustentable que puguin mantenir la funcionalitat dels sòls.

El projecte sorgeix enfront a aquesta preocupació, centrant-se en la importància de l'addició de compostos orgànics al sòl en quan al seu paper en la millora de la qualitat del sòl i dels serveis ecosistèmics relacionats.

L'objectiu principal del projecte ha estat determinar l'efecte de diferents esmenes orgàniques en els paràmetres de qualitat, la microbiota i la capacitat de segrest de carboni en sòls representatius de la província de Tarragona.

Els sòls escollits han estat: sòl de cereals (Conca de Barberà), sòl de vinya (Priorat) i sòl d'horta (Baix Camp). I les esmenes han estat un inòcul fúngic creat a partir del "Biologically Enhanced Agricultural Management" (BEAM), un compost orgànic obtingut a través de la carbonització microbiana (CM) i la barreja d'ambdós.

Per a portar a terme aquest estudi, s'ha dissenyat un bioassaig per tal d'establir com actuen els compostos orgànics en els diferents tipus de sòls agrícoles. A més, s'ha mostrejat un camp experimental de cereals on se li havien aplicat les mateixes esmenes orgàniques que al bioassaig. D'aquesta manera s'ha pogut observar l'efecte de les esmenes *in vitro* i *in vivo*.

S'ha procedit a fer una caracterització fisicoquímica i bioquímica de les mostres de sòl i una anàlisi del material vegetal del bioassaig. S'ha realitzat una anàlisi estadística ANOVA dels resultats obtinguts per veure si hi ha diferències significatives entre sòls o tractaments i s'ha complementat amb un test *post hoc* de Tukey. A més, s'ha fet una anàlisi de components principals per saber el pes de la variància de cada variable en cada sòl. Per l'assaig experimental amb cereals, s'han analitzat les variables que han presentat diferències significatives pel tractament en el bioassaig.

En el bioassaig, s'ha pogut observar que l'aplicació dels tractaments de CM i BEAM+CM ha comportat un augment d'algunes propietats importants dels sòls com: la capacitat d'intercanvi catiònic i els elements minerals essencials per les plantes (N, P i K). A més, s'ha vist que augmenten totes les variables que es poden relacionar amb el factor "reserva orgànica": carboni orgànic oxidable, carboni orgànic total, CaCO₃, glomalina (total i fàcilment extraïble) i biomassa vegetal.

Pel que fa a l'estudi en el camp experimental, no s'han pogut observar diferències significatives respecte al mostreig inicial. S'ha vist que amb l'aplicació de CM i BEAM+CM, el carboni orgànic oxidable i l'estabilitat dels microagregats (0.25-2 mm) ha augmentat.

Resumen

Debido al actual contexto climático, nuevas formas de disminución o mitigación de los gases de efecto invernadero se están buscando. Los suelos han empezado a tomar importancia gracias a su capacidad de almacenar carbono y, por lo tanto, mitigar el cambio climático. Aun así, desde la revolución industrial, se ha podido ver la decadencia de las reservas originales de carbono debido a prácticas de agricultura insostenibles. Debido a esta problemática, se está intentando ir hacia nuevas técnicas de manejo sostenible que puedan mantener la funcionalidad de los suelos.

El proyecto surge frente a esta preocupación, centrándose en la importancia de la adición de compuestos orgánicos en los suelos. Los cuales conllevan una mejora de las cualidades de los suelos y los servicios ecosistémicos relacionados.

El objetivo principal del proyecto ha sido determinar el efecto de distintas enmiendas orgánicas en los parámetros de calidad, la microbiota y la capacidad de secuestro de carbono en suelos representativos de la provincia de Tarragona.

Los suelos escogidos han sido: suelo de cereales (Conca de Barberà), viña (Priorat) y huerta (Baix Camp). Las enmiendas utilizadas han sido un inóculo fúngico creado a partir del "Biologically Enhanced Agricultural Management" (BEAM), un compuesto orgánico obtenido a partir de la carbonización microbiana (CM) y la mezcla de ambos.

Este estudio se ha dividido en dos partes. En primer lugar, se ha diseñado un bioensayo para determinar cómo actúan los compuestos orgánicos en los distintos suelos agrícolas. Además, se ha muestreado un campo experimental de cereales en donde se le habían aplicado las mismas enmiendas orgánicas que en el bioensayo. Así se ha podido observar el efecto de las enmiendas *in vitro* e *in vivo*.

Se ha realizado la caracterización fisicoquímica y bioquímica de las muestras de suelo y un análisis del material vegetal del bioensayo. Se ha llevado a cabo un análisis estadístico ANOVA de los resultados obtenidos con el objetivo de ver si hay diferencias significativas entre suelos o tratamientos y se ha complementado con un test *post hoc* de Tukey. Asimismo, se ha realizado un análisis de componentes principales para saber el peso de la varianza de cada variable en cada suelo. Para el ensayo experimental con cereales, se han analizado las variables que han presentado diferencias significativas en el bioensayo.

En el bioensayo se ha podido observar que la aplicación de los tratamientos de CM y BEAM+CM presentan un aumento de algunas de las propiedades generales de los suelos como: la capacidad de intercambio catiónico y los elementos minerales esenciales para las plantas (N, P i K). Además, ha comportado un aumento de las variables relacionadas con el factor de "reserva orgánica": carbono orgánico oxidable, carbono orgánico total, CaCO_3 , glomalina (total y fácilmente extraíble) y biomasa vegetal.

En cuanto al estudio en el campo experimental, no se han podido observar diferencias significativas respecto al muestreo inicial. Se ha visto que con la aplicación de CM y BEAM+CM, el carbono orgánico oxidable y la estabilidad de los microagregados (0.25-2 mm) ha aumentado.

Abstract

On behalf of the actual climatic context, it is needed to find new ways to decrease or mitigate the greenhouse gases (GHG). For this, soils are of great importance, due to their ability to sequester carbon and thereby mitigate climate change. However, since the industrial revolution, there has been a decline on the original soil's carbon reserves as a consequence of unsustainable agriculture practices. That is why it is needed to implement new sustainable soil management in order to maintain soil's functionality.

This project arises from this mentioned problem and it is focused on the importance of adding organic composts to the soil. These compounds can contribute to ameliorating the soil's quality and its related ecosystem's services.

The main goal has been to determinate the effect of the different organic composts on the quality parameters, the microbiome and the sequestering capacity of representative soils from the Tarragona's province.

The chosen soils have been: cereal field (Conca de Barberà), vineyard (Priorat) and vegetable patch (Baix Camp). The added composts have been a fungi inoculum made through the Biologically Enhanced Agricultural Management (BEAM), an organic compost made from microbial carbonization (CM) and the mix of both.

In order to accomplish the goal, the study has been divided in two parts. First of all, there has been done a bioassay with the aim of seeing how the different organic composts effect in the different agricultural soils. Secondly, it has been sampled an experimental cereal field where these same different composts were applied. So that, it has been possible to see the composts effect *in vitro* and *in vivo*.

A physicochemical and a biochemical characterization of the soil's samples and a plant analysis of the bioassay have been done. It has been conducted an ANOVA statistical analysis of the obtained results in order to see if there are significant differences between soils or treatments. Moreover, a Tukey's *post hoc* test and a principal component analysis have been carried out. Cereal's field only the variables that present significant difference for the treatment factor in the bioassay have been analysed.

On the bioassay it has been possible to see that the application of the CM and the BEAM+CM treatments has implied an increase on some of the soil's analysed characteristics such as the cationic exchange capacity and the most essential minerals for plants (N, P and K). Furthermore, an increase of the variables related with "organic reserve": oxidizable organic carbon, total organic carbon, CaCO₃, glomalin (total and easily extracted) and vegetal biomass.

Regarding the results of the experimental field, it has not been possible to see significant differences compared to the initial sampling. An increase of the oxidizable organic carbon and the microaggregates stability (0.25-2 mm) has been seen due to the application of the CM and the BEAM+CM composts.

Índex

1. Introducció	2
2. Objectius	5
3. Zona d'estudi.....	5
4. Plantejament experimental.....	9
4.1 Estudi 1: Bioassaig	10
4.2 Estudi 2: Proves de camp	11
5. Metodologia.....	11
5.1 Caracterització fisicoquímica dels sòls	12
5.2 Caracterització bioquímica dels sòls	16
5.3 Caracterització del material vegetal (part aèria).....	18
5.4 Anàlisi estadística	18
6. Resultats i discussió	19
6.1 Estudi 1: Bioassaig	22
6.2 Estudi 2: Proves de camp.....	34
7. Conclusions.....	35
8. Aspectes ètics i de sostenibilitat	36
9. Bibliografia.....	37

1. Introducció

El canvi climàtic s'ha convertit en un dels problemes més desafiants per la humanitat. Des de l'Acord de París del 2015 (United Nations, 2015), l'emissió de gasos d'efecte hivernacle (GHG) dels països adherits és estrictament controlat per tal de limitar l'escalfament global a 2°C (respecte als nivells pre-industrials), intentant aconseguir limitar-ho a 1.5°C pel 2050. Per tal d'assolir aquesta fita, l'Unió Europea va fixar com a objectiu disminuir un 20% dels GHG pel 2020, un 40% pel 2030 i aconseguir un economia de zero emissions netes pel 2050 (European Environment Agency, 2019). Per complir amb aquests propòsits s'han de cercar formes de mitigació d'aquestes emissions, aquí és quan pren importància el paper dels sòls que pot jugar un rol important en el segrest del carboni (Amundson & Biardeau, 2018; Brevik, 2012).

El sòl: el nostre aliat amagat

Un sòl saludable emmagatzema més carboni que el que és emmagatzemat a l'atmosfera i a la vegetació en conjunt (Sabine et al., 2013). El carboni total en ecosistemes terrestres és d'aproximadament 3170 GT, dels quals un 80% (2500 GT) es troben emmagatzemats als sòls. El carboni dels sòls inclou 1550 Gt de carboni orgànic (SOC) i 950 Gt de carboni inorgànic (SIC) (Lal, 2004a; Ontl & Schutle, 2012).

Tot i així, des de la revolució industrial, els sòls cultivats han perdut del 25 al 75% de les seves reserves originals de carboni a causa de pràctiques de maneig insostenibles (FAO, 2020). El carboni és una de les principals fonts d'energia en les xarxes tròfiques, per tant, pèrdues de carboni comporten un impacte als diferents serveis ecosistèmics del sòl i en redueixen la seva biodiversitat (Stottle et al., 2016).

La recarbonització dels sòls

La major part de carboni als sòls és aportat per l'obtenció i fixació de CO₂ per part de les plantes i per la posterior incorporació dels residus d'aquestes plantes al sòl (Lal, 2004b). Una part de les molècules de carboni obtingudes són utilitzades per les plantes per tal de generar energia i l'altre part és incorporada al sòl i és font de nutrients i energia pels microorganismes que donen funcionalitat als sòls (Brady, N.C. & Weil, R.R., 2008).

La matèria orgànica incorporada als sòls pot patir dos processos: la mineralització i la humificació. La mineralització comporta la degradació completa dels teixits pels microorganismes d'aquest component i, per tant, la generació de CO₂ (que és alliberat cap a l'atmosfera) i diferents compostos

minerals (que són absorbits per les plantes). La humificació, en canvi, consisteix en la transformació i emmagatzematge de la matèria orgànica en forma d'humus al sòl. Aquest humus presenta uns components molt estables amb càrrega que li confereixen la capacitat d'adsorbir nutrients, i que aquests estiguin disponibles per reaccions d'intercanvi i/o adsorció pels organismes del sòl i les plantes (Berg, B. & McClaugherty, C., 2014).

Entre aquestes substàncies húmiques hi ha la fracció humina on s'hi troba una glicoproteïna de gran importància coneguda com a glomalina (Hayes et al., 2017). Aquesta glicoproteïna és produïda per les hifes i les espores dels fongs micorrízics arbusculars (AMF) classificats com a Glomerycota i va ser identificada per Wright i Upadhyaya (1996). És una proteïna amb propietats recalcitrants i hidrofòbiques que fan que sigui molt estable i que permeti aportar unes característiques úniques als sòls. Actua unint les partícules del sòl i, per tant, augmentant-ne l'agregació i permetent incrementar la infiltració i retenció de l'aigua així com millorant l'intercanvi de gasos. Aquests beneficis permeten que els sòls siguin més fèrtils. A més, durant la generació d'aquests agregats també es retenen als sòls altres components rics en carboni, per tant, és un component clau per a la recarbonització del sòl (Holátko et al., 2021; Vlček & Pohanka, 2020).

Els múltiples beneficis de la recarbonització

El carboni pot ser potencialment segrestat al sòl però per això és necessari actuar i implementar pràctiques de maneig sustentable dels sòls (MSS) (FAO, 2020; Lal, 2004b). Amb aquestes noves pràctiques no només s'aconseguirà la recarbonització dels sòls. A més, pot aportar altres beneficis com: millorar la seguretat alimentària, els ingressos dels agricultors, reduir la pobresa i malnutrició i produir sistemes ecosistèmics essencials (ex. regulació del clima i l'aigua, manteniment de la biodiversitat i del cicle dels nutrients). Tot això pot contribuir a assolir alguns dels Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) i crear resiliència envers a esdeveniments extrems (FAO, 2020; Amelung et al., 2020).

Iniciatives polítiques que promouen el canvi de paradigma en l'agricultura

L'agenda ambiental global va ser llençada per primera vegada a la United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) al 1992. A partir d'aquesta agenda ambiental es van organitzar diferents convencions on es començar a parlar de la conservació, el maneig sustentable i el canvi d'ús dels sòls. De totes maneres, no va ser fins al protocol de Kyoto dut a terme l'any 1997 (iniciat a desenvolupar-se al 2005) que se li va començar a donar gran importància als sòls en termes de recarbonització del planeta (FAO, 2015).

A partir d'aquí han anat sorgint diferents iniciatives com el "4p1000 initiative" presentada a la Conferència Internacional sobre el Canvi Climàtic organitzada a París (COP21), que defensa que amb un creixement anual de només el 0,4% de les existències mundials de carboni orgànic als sòls, es tindria suficient potencial per contrarestar l'augment actual de CO₂ atmosfèric (Rumpel et al., 2020). Així mateix, actualment la Comissió Europea està promovent l'agricultura regenerativa com la base de la seva nova estratègia coneguda com "Farm to Fork", que té com a objectiu aconseguir que el sistema alimentari sigui just, sa i respectuós amb el medi ambient (European Union, 2020). La darrera iniciativa implementada ha estat la de RECSOIL, promoguda per la Food Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) que pretén aconseguir la recarbonització dels sòls (FAO, 2020).

El missatge de totes aquestes iniciatives és complementari i simple: un increment de carboni orgànic als sòls pot mitjanament mitigar les emissions de carboni i, al mateix temps, és indispensable per l'adaptació dels sistemes d'agricultura al canvi climàtic (Amelung et al., 2020).

Tècniques a aplicar per la transició cap a una agricultura regenerativa

Aquest nou sistema d'agricultura és conegut com a agricultura regenerativa i té per objectiu dissenyar sistemes productius d'agricultura que actuïn com a ecosistemes naturals i doncs, siguin capaços de generar els seus propis nutrients (Kastner, 2016). Per tal de transicionar cap a aquest nou sistema, caldrà implementar noves pràctiques. Primer de tot, amb l'abandonament de treballs mecànics, es podrà disminuir la pertorbació dels sòls. D'aquesta manera l'estructura del sòl es manté intacta i el carboni orgànic roman emmagatzemat al sòl. A més, els microorganismes poden continuar formant relacions de simbiosi amb les arrels de les plantes tot creant nutrients pels cultius i segrestant més carboni. Les arrels també permeten millorar l'estructura dels sòls i, per tant, incrementar la infiltració de l'aigua i evitar l'erosió dels sòls (Schjonning et al., 2015; Kastner, 2016; UNEP, 2020). El fet de no utilitzar maquinària també ajuda a reduir les emissions de CO₂ emeses per aquesta (Brevik, 2012).

En el marc de l'agricultura regenerativa, l'aplicació de coberta vegetal permet una millor conservació dels sòls, de l'aigua, del reciclatge dels nutrients, del control de plagues i millora les activitats microbianes (Baliagar & Fageria, 2007; Dabney et al., 2001). De fet, l'informe de l'International Panel on Climate Change (IPCC) del 2019 menciona que la implementació de cobertes vegetals podria aportar un segrest de carboni de 0.44 GtCO₂/any si aquesta tècnica s'apliqués al 25% de cultius globals. També té gran importància la rotació de cultius tot evitant els monocultius. Com més biodiversitat, més immunitat adquireixen les plantes contra plagues i malalties (Gomiero et al., 2011; LaCanne & Lundgren, 2018; Schreefel et al., 2020).

L'aplicació de fems i altres compostos orgànics és una altra estratègia per l'augment de segrest de carboni orgànic al sòl. Diversos estudis han demostrat que l'aplicació de compostos orgànics permet un percentatge de segrest de carboni més elevat que l'aplicació de fertilitzants químics (Lal, 2008). Els compostos orgànics permeten incrementar la matèria orgànica del sòl, component essencial per permetre totes les interaccions que s'hi donen (Siedt et al., 2021). Com que els microorganismes del sòl depenen de la matèria orgànica, els compostos orgànics podran protegir la biodiversitat del sòl. Conseqüentment, protegiran als serveis ecosistèmics del sòl que permetran incrementar la productivitat dels conreus, per tant, reduir la necessitat d'ús de pesticides i fertilitzants minerals (Arif et al., 2020; Siedt et al., 2021).

A part de la gran importància dels compostos orgànics com a esmena per incrementar el contingut de carboni als sòls, actualment hi ha un creixent interès en els beneficis que aporten els microorganismes del sòl. Aquests, permeten un increment de la fertilitat i la salut del sòl, la reducció de fertilitzants químics, la promoció de la nutrició de les plantes i l'obtenció d'aliment sa i d'alta qualitat (Philippot et al., 2013). Dins d'aquest microbioma trobem els fongs micorrízics arbusculars (AMF) que representen un grup molt important que participa en els cicles dels nutrients, el segrest de carboni, la glomalina i en proporcionar a les plantes factors de creixement i mecanismes de control contra els patògens (Giovannini et al., 2020; Trivedi et al., 2020).

2. Objectives

To determine the effect of the application of different organic compounds on the quality parameters, the microbiome and the carbon sequestration capacity of three different agricultural soils from Tarragona's region.

3. Zona d'estudi

S'han escollit tres sòls agrícoles i cultius representatius de la província de Tarragona: sòl de vinya al Priorat, sòl d'horta al Baix Camp i sòl de cereals a la Conca de Barberà (Figura 1).

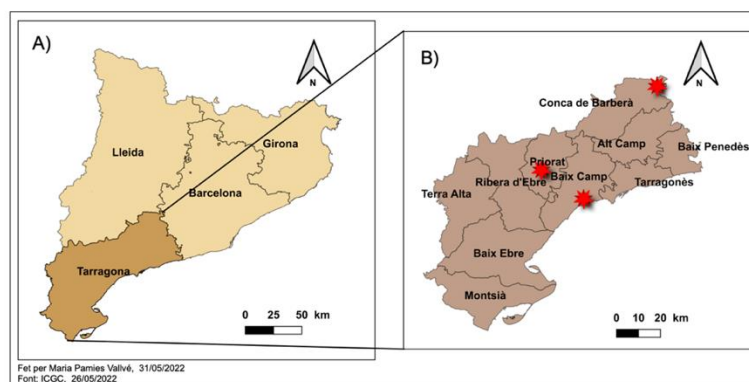


Figura 1. Mapa (A) localització de la zona d'estudi a Catalunya. Mapa (B) localització dels camps mostrejats a les comarques de Priorat, Baix Camp i Conca de Barberà.

Conca de Barberà: Sòl de cereals

El sòl de cereals es localitza a la comarca de La Conca de Barberà, exactament al terme municipal de Santa Coloma de Queralt (coordenades 41°32'20"N, 1°23'51"E). Es tracta d'un camp experimental cedit per la cooperativa de Coperal (Figura 2).

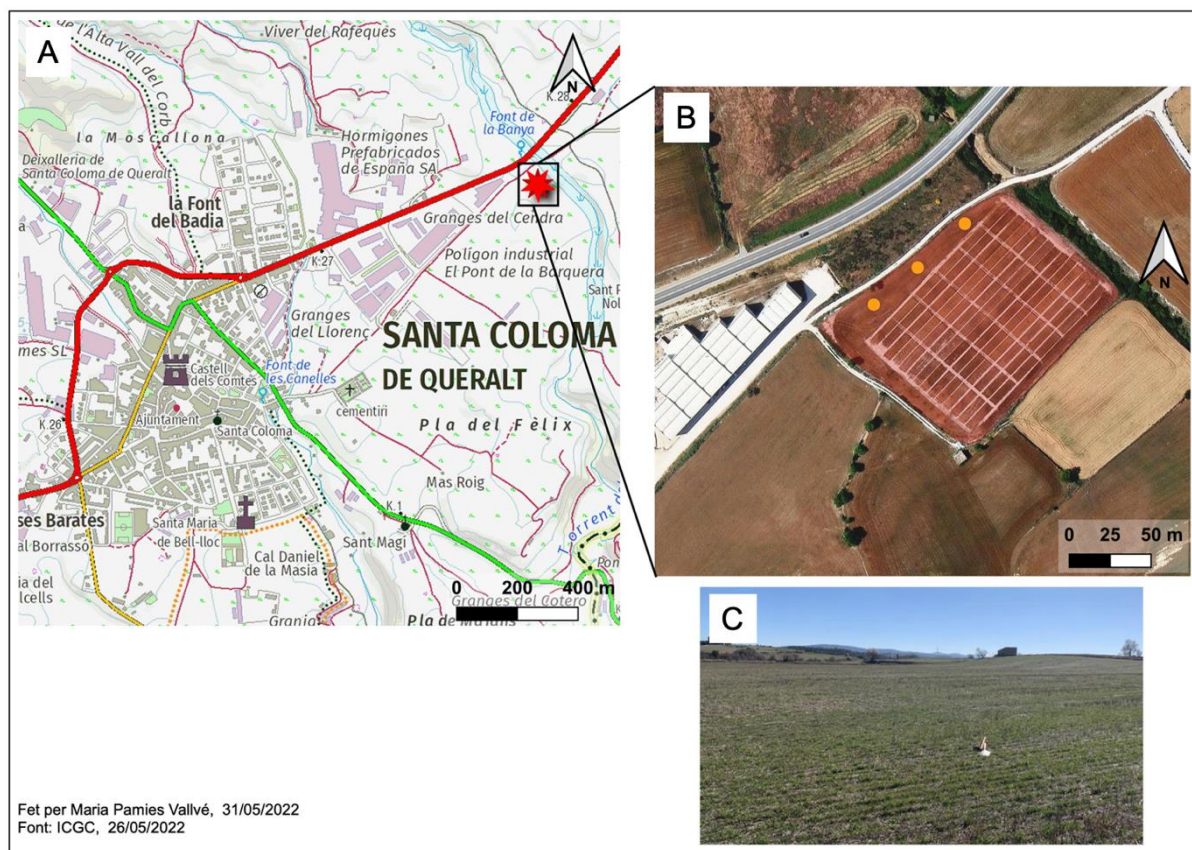


Figura 2. Mapa de localització del sòl de cereals a Santa Coloma de Queralt (A). Mapa de la finca mostrejada amb els punts de mostreig duts a terme (B). Fotografia del terreny mostrejat (C).

Segons el Mapa de sòls 1:250000 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (MSC250M, 2019), el sòl de cereals és classificat per Soil Taxonomy (SSS, 2014) com a *Xerorthents* típics i *Haploxerepts* càlcics i per la World Soil Reference for Soil Resources (WRB, 2014) com a *Calcaric Leptic Regosols* i *Calcaric Leptic Cambisols (Protocalcic)*. Aquests sòls es desenvolupen sobre gresos i lutites i sobre els dipòsits procedents de la seva meteorització de vessants de pendent suau i moderat de diverses àrees de Catalunya amb règim xèric d'humitat. N'hi ha de superficials a profunds i estan ben drenats, amb textures mitjanes o fines i un contingut variable d'elements grossos. Poden presentar acumulacions secundàries de carbonat càlcic en forma de nòduls i/o revestiments d'elements grossos que donen lloc a un horitzó càmbic. Els pH són de mitjanament bàsics a lleugerament alcalins i els continguts de carbonat càlcic d'alt a molt alt.

Priorat: Sòl de vinya

El sòl de vinya es troba a la comarca del Priorat, exactament al terme municipal de Gratallops. El camp pertany a la finca del Clos Mogador i la zona exacte d'on es van extreure les mostres es coneix amb el nom de "Bienvenido" (coordenades 41°11'11"N, 0°46'45"E). Aquesta àrea es troba entremig del Camí del Coll de Falset i el Camí Vell de Bellmunt (Figura 3).

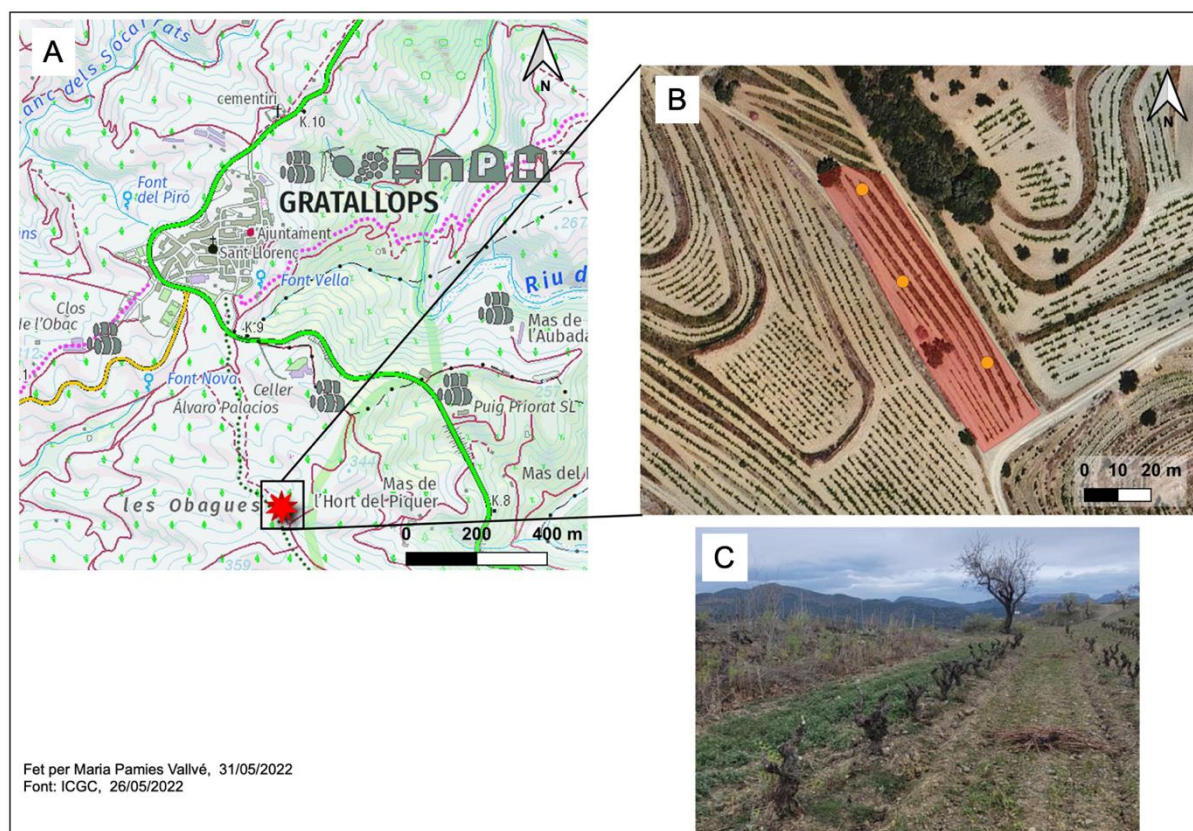


Figura 3. Mapa de localització del sòl de vinya a Gratallops (A). Mapa de la finca mostrejada amb els punts de mostreig duts a terme (B). Imatge de la finca (C).

Segons el Mapa de sòls 1:250000 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (MSC250M, 2019), aquest sòl de vinya és classificat per Soil Taxonomy (SSS, 2014) com a *Xerorthents* lítics i *Xerorthents* típics i per World Soil Reference for Soil Resources (WRB, 2014) com a *Eutric Leptosols* i *Eutric Skelectic Regosols*. Es tracta de sòls desenvolupats sobre pissarres o esquistes a la major part de les divisòries i vessants de pendent fort de les serres de les muntanyes que presenten un règim d'humitat xèric. Són terrenys superficials o molt superficials, ben drenats, amb textures mitjanes o grosses i un contingut variable d'elements grossos. Presenten poc desenvolupament edàfic. Els pH d'aquests sòls solen ser de mitjanament bàsics a lleugerament alcalins i els continguts de carbonat càlcic, de moderadament alts a molt alts.

Baix Camp: Sòl d'horta

El sòl d'horta es situa a la comarca del Baix Camp, concretament al terme municipal de Cambrils (Figura 4). El camp pertany a les finques de l'empresa VerdCamp fruits (coordenades 41°04'20"N, 1°00'43"E).

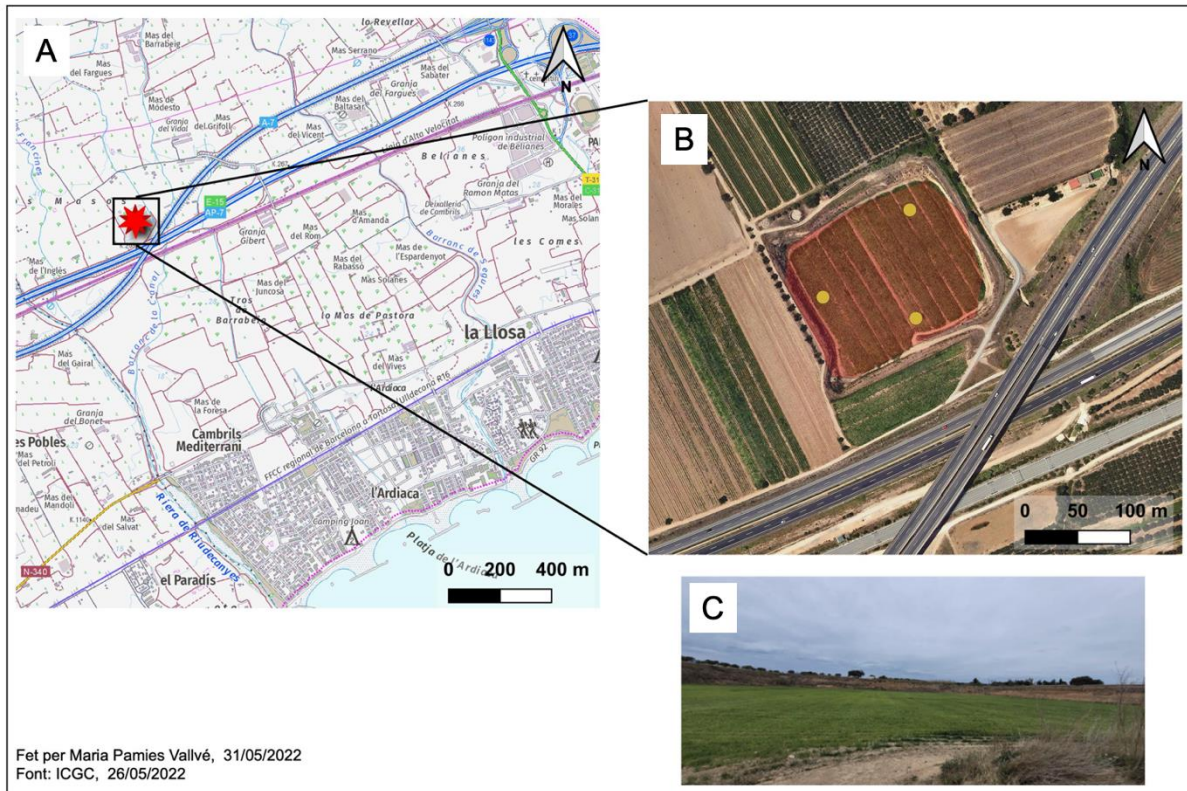


Figura 4. Mapa de localització del sòl d'horta a Cambrils (A). Mapa de la finca mostrejada amb els punts de mostreig duts a terme (B). Imatge de la finca (C).

Segons el Mapa de sòls 1:250000 de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (MSC250M, 2019), el sòl d'horta mostrejat és classificat per Soil Taxonomy (SSS, 2014) com a *Palexeralfs* petrocàlcics i *Haploxeralfs* càlcics i per World Soil Reference for Soil Resources (WRB, 2014) com a *Petric Luvic* Calcisols i *Luvic Calcisols*. Són sòls que es troben en horitzons petrocàlcics. S'han desenvolupat a partir dels dipòsits de meteorització de roques de diferents litologia a les depressions del Camp. De moderadament profunds a ben profunds, estan ben drenats i presenten unes textures mitjanes o moderadament fines i un alt contingut d'elements grossos. Presenten horitzons argílics ocasionats per la meteorització dels materials originals i que provoquen revestiments argilosos dels elements estructurals i dels elements grossos, així com rebliments d'alguns porus i canals d'arrels. A més, presenten moltes acumulacions de carbonat càlcic en forma de nòduls i/o revestiments dels elements grossos que donen lloc a un horitzó càlcic i, de vegades, quan aquestes acumulacions sedimenten, a un horitzó petrocàlcic. Els pH són de lleugerament a mitjanament bàsics i els continguts de carbonat càlcic, de baixos a mitjans.

4. Plantejament experimental

Per tal d'assolir els objectius en els sòls anteriorment esmentats, s'han aplicat dos compostos orgànics diferents: un inòcul fúngic elaborat a partir de la tècnica del Biologically Enhanced Agricultural Management (BEAM), un compost obtingut per mitjà de carbonització microbiana (CM) i la barreja d'ambdós.

Biologically Enhanced Agricultural Management (BEAM)

La tècnica del Biologically Enhanced Agricultural Management (BEAM) va ser ideada per Johnson & Su. El BEAM es tracta d'un compost similar a l'orgànic però la part fonamental del compost són microorganismes fúngics tant nadius com espontanis. El disseny del bioreactor ideat permet que el material per fer el compost pugui ser aeròbic però no necessiti ser voltejat. A més, permet reduir l'ús d'aigua, no produeix olors i és barat i simple de fer (California State University, 2022). La barreja per fer el compost ha de passar com a mínim un any per tal que pugui ser aplicat i funcioni. El compost creat a partir del BEAM utilitzat en aquest treball va ser creat el setembre del 2020 a partir d'estelles de fusta, fullaraca diversa i microorganismes fúngics nadius.

Carbonització microbiana (CM)

La carbonització microbiana es basa en la conversió de biomassa orgànica i residus biogènics en condicions mesofíliques i anòxiques a través de l'addició d'uns microorganismes prèviament seleccionats. La suspensió bacteriana acostuma a estar formada per les classes filogenètiques de Bacils, Proteobacteria i Archea junts (Wonschik, 2017). La meitat del CM utilitzat per aquest treball està format per serradures d'escorça de pi i roure tamisades molt fines i l'altre meitat està dividida en un quart de gallinassa de ponedores camperes i un altre quart de fem de vedella amb palla barrejada. Es van generar 20000 kilograms de compost orgànic en el qual s'hi van incorporar 1000 litres d'un inòcul de microorganismes amb una certa dominància d'acidolàctics barrejat amb aigua, la qual permet aportar unes condicions d'un 55% d'humitat a la barreja. Els avantatges d'aquest tipus de compost orgànic respecte a altres tipus de compostos més tradicionals són varis: (1) és anaeròbic, per tant no necessita ni volteig ni aeració, (2) conserva l'aigua, el compost ha de tenir molta humitat a l'inici, d'aquesta manera no es produeix pèrdua d'aigua per evaporació, (3) elevada relació de C/N, es comença amb una relació més elevada a l'inici, de 50/1 i s'acaba amb un compost amb relació 20/1 de C/N, (4) retenció de la matèria orgànica, tan sols es produeix una pèrdua residual de carboni però es conserven la resta d'elements, (5) temps del procés inferior, la fermentació tarda 2 mesos i mig, (6) no hi ha un augment de temperatura elevat, la pila es manté a uns 50°C durant tot el procés (Witte, W., 2013).

S'han realitzat les aplicacions d'aquestes esmenes en condicions controlades d'humitat i temperatura (bioassaig) i en condicions de camp.

4.1 Estudi 1: Bioassaig

Per a l'obtenció dels sòls pel bioassaig, s'ha realitzat un mostreig en tres punts aleatoris de la finca, tal i com es pot observar en la Figura 2 (B), Figura 3 (B) i Figura 4 (B). Aquestes mostres s'han obtingut de l'horitzó superficial del sòl a 20 cm de profunditat. Una vegada obtingudes les mostres de sòl, s'han estès al laboratori i s'han deixat assecar a l'aire durant un període d'una setmana. Passat aquest temps s'han trencat els agregats més grans amb l'ajut d'una massa de tefló. Posteriorment s'ha tamisat el sòl amb un tamís que ha permès obtenir elements < 2 mm de diàmetre (terra fina).

Per preparar el bioassaig, s'ha posat 1 kg de fracció de terra fina (< 2mm Ø) de cada sòl en unes safates de 10x15x3 cm. Posterior a haver afegit el sòl s'ha afegit l'esmena corresponent: BEAM, CM i barreja de BEAM+CM i s'ha fet un control (sense addició de cap esmena). Les quantitats incorporades de cada esmena s'han afegit segons les indicacions del responsable d'assessorament rural del Departament d'Acció Climàtica de la Delegació Territorial de Tarragona (Albert Domingo, comunicació personal). S'ha extrapolat la quantitat a aplicar a les mides de les safates del bioassaig i s'ha augmentat la dosi recomanable a camp per poder observar diferències. Pel cas de BEAM s'han incorporat 4 g BEAM/kg de sòl, en el cas de CM 40 g CM/kg de sòl i per la barreja s'han barrejat els components a proporció 1:1. S'han fet tres rèpliques per cadascuna de les tesis i per cadascun dels sòls, per tant, s'ha treballat amb un total de 36 mostres.

S'han afegit 200 llavors de *Lolium perenne* (Ray grass) a cada safata i s'han posat a condicions de llum, temperatura i humitat controlades durant un període de tres dies per afavorir la germinació (Figura 5A). Passat aquest temps, s'han portat a l'hivernacle i se'ls hi ha fet un control de temperatura i règim hídric per tal de saber quan és necessari aportar-hi aigua i mantenir la humitat a 2/3 de capacitat de camp durant el mes que ha durat el bioassaig (Figura 5B).

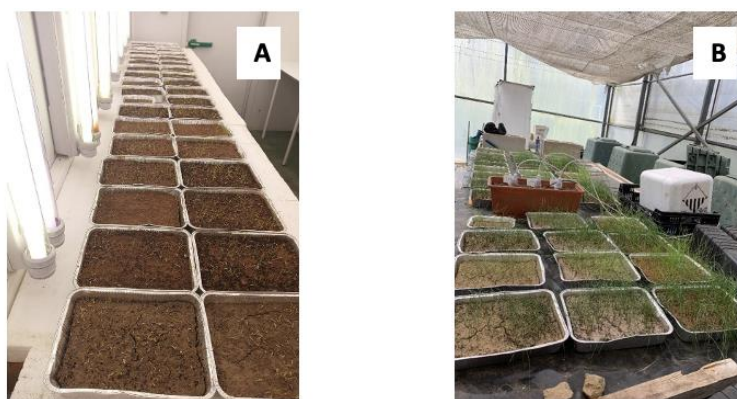


Figura 5. Safates a l'inici del bioassaig dins de la cambra de creixement a condicions de llum i temperatura controlades (A). Safates durant el bioassaig dins de l'hivernacle amb el sensor de temperatura i humitat incorporat (B). Elaboració pròpia.

4.2 Estudi 2: Proves de camp

A part del bioassaig, s'ha realitzat un mostreig al camp experimental de cereals de Santa Coloma de Queralt a on també se li havien aplicat les quatre tesis utilitzades pel bioassaig. S'han afegit 1 kg/ha de BEAM, 10 t/ha de CM i per la barreja s'han barrejat els components a proporció 1:1. Aquestes tesis es van afegir al camp el 18 d'octubre del 2021. S'ha mostrejat el camp previ a l'addició d'aquestes tesis i aproximadament 7 mesos després, el 2 de maig de 2022. El camp experimental està dividit en quatre franges que corresponen a les 4 tesis i de cada tesis hi ha tres rèpliques (Figura 6).

Les mostres d'aquest sòl s'han agafat a profunditat de 5 a 20 cm. I per a cada rèplica de mostra s'han agafat 6 replicats del sòl (punts en vermell) (Figura 6).

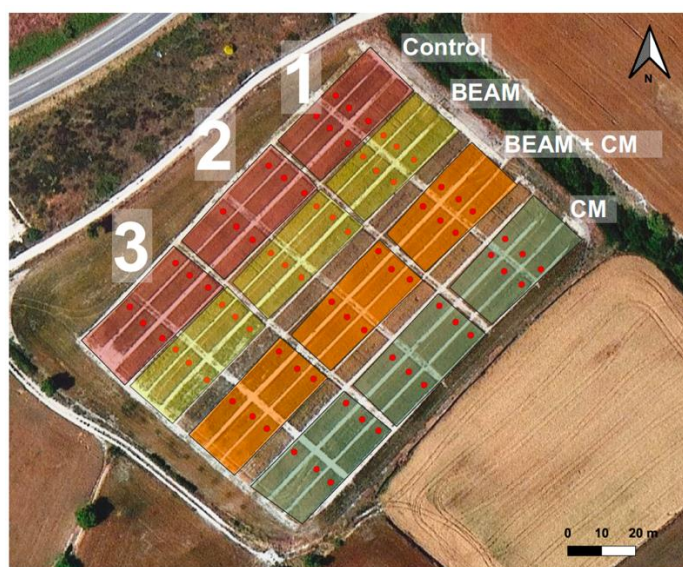


Figura 6. Mapa de la divisió del camp experimental de cereals de Santa Coloma de Queralt per rèpliques (esquerra) i per tesis (dreta). Els puntets vermells assenyalen els punts mostrejats tant en el primer com en el segon mostreig. Elaboració pròpia. Font: ICGC.

Les mostres de sòl obtingudes del camp experimental i les provinents del bioassaig un cop finalitzat, s'han portat al laboratori per tal d'analitzar-ne les seves característiques fisicoquímiques i bioquímiques. A més, s'ha analitzat la matèria vegetal (part aèria) del bioassaig.

5. Metodologia

Els paràmetres fisicoquímics del sòl com el percentatge de sorres, llims i argiles, el carbonat càlcic equivalent (CaCO_3), el carboni orgànic oxidable (Cox), el carboni orgànic total (TOC), la retenció hídrica d'aigua a saturació (WR_{SAT}) i a capacitat de camp (WR_{WP}) han estat analitzats utilitzant els processos estàndard de caracterització de sòls (ISRIC, 2002). Per l'estabilitat estructural dels agregats (WSA) a 0.25-2 mm i 2-5.6 mm s'ha utilitzat la Wet Sieving Apparatus of Eijkelamp Agriresearch Equipment (Emran et al., 2012).

Els paràmetres bioquímics com la glomalina total (GRSP) i la glomalina fàcilment extraïble (EE GRSP) s'han determinat seguint el mètode descrit per Wright i Upadhyaya (1996). La respiració potencial dels sòls (RP) que permet l'avaluació del diòxid de carboni emès pel sòl, ha estat analitzat seguint el mètode d'Alef i Nannipieri (1998), utilitzant soda lime (Edwards, 1982 in Keith & Wong, 2006). A través de la relació entre Cox-CO_2 (de la respiració potencial) s'ha determinat el coeficient de mineralització (Q_{min}).

Preparació de les mostres de sòl

Les mostres s'han hagut d'assecar a l'aire i, posteriorment, s'han trencat els agregats grans amb un tefló. Posteriorment, una proporció de la mostra s'ha tamisat a < 2 mm de diàmetre per dur a terme els anàlisis fisicoquímics i bioquímics, i l'altre part s'ha passat per un bloc de tamisos que han permès obtenir els elements als diàmetres de 0.25 – 2 mm, 2 – 5.6 mm per a la prova d'estabilitat dels agregats a l'aigua.

5.1 Caracterització fisicoquímica dels sòls

Determinació de les fraccions granulomètriques i la classe textural

El mètode es basa en la velocitat de sedimentació i dispersió de la fracció de sòl de 2 mm \emptyset (terra fina) per tal de poder obtenir les fraccions de sorra gruixuda (2-0.2 mm \emptyset), sorra fina (0.2-0.05 mm \emptyset), llims (0.05-0.002 mm \emptyset) i argiles (< 0.002 mm \emptyset) utilitzant el mètode de la pipeta de Robinson. La sorra fina i la gruixuda han estat obtingudes per tamisat directe. En canvi, els llims i les argiles s'han obtingut en relació a la velocitat de sedimentació de les partícules en suspensió que depèn del radi i de la densitat del líquid. Finalment, el percentatge relatiu de les fraccions granulomètriques s'ha calculat respecte a la terra fina que permet, al mateix temps, poder saber la classe textural dels sòls.

Determinació de la capacitat màxima de retenció hídrica (CMRA) i la capacitat de camp (WR_{cc})

S'introdueix un disc de paper de filtre humitejat al fons d'un cilindre i es tara el conjunt. S'omple amb sòl ($\emptyset < 2$ mm) i es torna a pesar tot el conjunt. Es posa el cilindre en una safata i aquesta s'omple d'aigua fins a un nivell superior al del sòl però inferior al del cilindre i s'hi deixa durant unes 2-3 hores per tal que passi el temps suficient com perquè l'aigua pugi per capil·laritat i la mostra quedi saturada. Es torna a pesar el conjunt per tal de poder conèixer l'aigua en saturació. Es deixa reposar la mostra durant 24 hores perquè tota l'aigua gravitacional (la que ocupa els macroporus) dreni lliurement. Posteriorment es torna a pesar per saber la quantitat d'aigua retinguda al sòl en condicions de capacitat de camp.

Determinació de l'estabilitat dels agregats (WSA)

S'utilitza el mètode de Kemper i Roseanu (1986). Els agregats de les fraccions de sòl són de 0.25-2 i de 2-5.6 mm i són obtingudes a partir de la utilització de tamisos dels diàmetres que interessin. L'estabilitat estructural dels agregats s'ha determinat a partir del *Wet Sieving Apparatus Mod 08.13* (Eijhkelkamp Agriresearch equipment, Netherlands). Es posa una fracció d'entre 4 a 5 grams de sòl en els garbells corresponents a cadascuna de les fraccions d'agregats a analitzar. Aquests garbells, prèviament pesats, es col·loquen a l'aparell i se'ls deixa en un moviment de immersió-emersió en aigua destil·lada durant 3 minuts. Finalitzat el cicle, els garbells es posen en una estufa a 105°C durant un mínim de 3 hores per tal que s'assequin. Per calcular l'estabilitat els agregats, s'utilitza la fórmula següent:

$$WSA (\%) = \frac{M(a+s) - M_s}{M_t - M_s} * 100, \text{ on:}$$

M (a+s) és la massa resistent dels agregats més sorres (g), M_s és la fracció de sorres grolleres corresponent (g) i M_t és la massa total de la mostra de sòl (g).

Determinació de la impedància mecànica (IM)

Consisteix en determinar l'encrostant i segellat superficial del sòl. S'utilitza un penetròmetre manual estàtic que comprèn un rang de determinació entre 0 i 6 kg/cm². Consisteix en aplicar una força constant durant la determinació, i mirar quina ha estat la força necessària a aplicar. Perquè la determinació sigui representativa és necessari fer un mínim de 5 rèpliques per mostra.

Determinació de la capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) i potassi intercanviable (K_{intercanviable})

S'ha seguit el mètode proposat per ISRIC (2002). Es pesen 5 g de la mostra de sòl i es posen en un recipient que es pugui tancar juntament amb 60 ml d'acetat amoni 1N. Per tal de saturar els llocs d'intercanvi iònic aquesta mescla resta a l'agitador durant 2 hores. Posteriorment, es centrifuga 5 minuts a 4000 rpm. L'extracte obtingut s'ha utilitzat per determinar el contingut de potassi per absorció atòmica.

L'excés d'ions amoni lliures es renten amb etanol 80% i es torna a centrifugar 5 minuts a 4000 rpm. L'amoni que queda és el que es troba situat en els llocs d'intercanvi catiònic. Per poder extreure aquest amoni, s'afegeix clorur de potassi 1N seguint el mateix procés que s'ha seguit amb l'acetat d'amoni. A partir del sobrenedant que queda es podrà determinar la capacitat d'intercanvi catiònic a través de la determinació de l'amoni amb el destil·lador Kjeldahl.

Determinació del nitrogen total del sòl (N)

S'ha dut a terme mitjançant el mètode Kjeldahl. Es pesa 1 g de sòl en un tub de digestió Kjeldahl. A cadascun d'aquests tubs se li afegeix una pastilla de seleni que actua de catalitzador de la reacció, a més, se li afegeix 10 ml d'àcid sulfúric. Es fa la digestió 1 hora a 170°C i 2 hores a 370°C. Cada tub es posa al destil·lador Kjeldahl afegint hidròxid de sodi al 35% fins a l'alcalinitat i el tub de recollida de vapors s'introdueix dins de l'erlenmeyer que conté 25 ml d'una solució d'àcid bòric al 4% i 5 gotes d'indicador mixt. Durant la destil·lació es recull en l'erlenmeyer tot el contingut de la mostra. Aquest volum destil·lat es valora amb àcid clorhídric 0.1 N. Es produeix un canvi de color de verd a lila. Per calcular el nitrogen total s'utilitza la fórmula següent:

$$mg N = C * N * 14 on,$$

N és nitrogen, C el volum d'àcid clorhídric valorant consumits (ml) i N la normalitat de l'àcid valorant (eq/l).

Determinació del fòsfor soluble ($P_{soluble}$)

Es pesen 5 g de sòl i es barregen amb 50 ml d'aigua destil·lada (extracte 1:10). Es filtra i s'agafen 10 ml de la mostra filtrada que s'aboquen en un matràs aforat de 50 ml. S'addicionen 10 ml de vanadat-molibdat i s'enrasa amb aigua destil·lada fins a 50 ml. Es deixa reposar durant 10 minuts i es mesura a l'espectrofotòmetre a 470 nm. Es preparen estàndards de fòsfor en les mateixes condicions per tal de poder fer la recta patró i per obtenir la concentració de fòsfor soluble.

Determinació del fòsfor assimilable ($P_{assimilable}$)

Es segueix el mètode d'Olsen. Es pesen 2,5 g de sòl i es posen dins un Erlenmeyer de 250 ml on se l'hi afegeixen 50 cc de bicarbonat de sodi 0.5 M. S'agita durant 30 minuts i es filtra l'extracte. En un matràs de 25 ml se li afegeixen 5 ml de l'extracte filtrat i 5 ml de molibdat amònic. Es barreja tot per tal que s'alliberi el CO₂, un cop alliberat s'afegeix 1 ml de clorur d'estany (II) i s'enrasa amb aigua destil·lada fins a 25 ml.

Es deixa reposar 10 minuts i es mesura a l'espectrofotòmetre a 660 nm. És important preparar els estàndards per tal de poder fer recta patró i el blanc.

Determinació del pH

Es pesen 10 g de sòl sec, i es posen dins de pots de 100 ml de volum, tot seguit s'afegeixen 25 ml d'aigua destil·lada amb una relació 1:2.5. La mescla es posa a l'agitador durant 30 minuts. Es calibra el pHímetre amb solucions valorades de pH 4.00, 7.00 i 9.00. Les lectures dels sòls ens proporcionaran el pH d'aquella mostra de sòl.

Determinació de la conductivitat elèctrica (CE)

Aquest paràmetre es determina amb el conductímetre. El mètode consisteix en pesar 10 g de sòl sec i afegir 50 mL d'aigua destil·lada en un recipient de 100 ml. La relació aigua-sòl ha de ser 1:5. Es posa la mescla a l'agitador durant 30 minuts i passats aquests minuts es realitza la lectura. S'expressa el resultat en dS/m.

Determinació del carboni oxidable (Cox)

S'ha realitzat a partir del mètode d'oxidació per via freda. Es pesa 1 g de sòl i es diposita en un erlenmeyer de 250 ml on s'hi afegixen 10 ml de dicromat potàssic 1N. Es situa l'erlenmeyer sota la campana d'extracció i, mentre la solució es remena lleugerament, s'hi addicionen 10 ml d'àcid sulfúric concentrat al 96% que reacciona. La solució es deixa reposar 30 minuts i després s'hi afegixen 150 ml d'aigua destil·lada i 10 ml d'àcid ortofosfòric al 85%. Per a la valoració s'utilitza Sal de Mohr 0.5N i 5 gotes d'indicador de difenilamina que permet observar el canvi de color, de negre a verd maragda. També es realitza un blanc (sense sòl).

Per calcular el carboni oxidable s'utilitza la fórmula següent:

$$\%Cox = 3 * (A-B/A), \text{ essent}$$

A: volum de sal de Mohr consumits en la valoració del blanc (ml)

B: volum de sal de Mohr consumits en la valoració de la mostra de sòl (ml)

Anàlisi del carboni orgànic total (TOC)

S'assequen 30 g de la mostra de sòl i el crisol durant la nit a 105 °C. El crisol es tara, es pesa acuradament, s'omple de sòl i es torna a pesar. Se situa la mostra en un forn de mufla a una temperatura de 400 °C i es deixa durant la nit. La relació entre els pesos a l'inici i després de la mufla de 400 °C és el contingut mineral. A partir del contingut mineral es pot extreure el percentatge de carboni orgànic total. Seguidament s'indiquen les fórmules utilitzades:

$$\text{Contingut mineral (\%)} = (\text{Pes } 400^{\circ}\text{C}/\text{Pes inicial}) * 100$$

$$\text{Carboni orgànic total (\%)} = 100 - \text{Contingut mineral (\%)}$$

Determinació dels carbonats (CaCO₃) o carbonat càlcic equivalent

Per la realització d'aquesta prova s'utilitza el calcímetre Eijkelkamp. Es pesen 0.5 g de sòl triturat i s'introdueixen en un kitasato. A dins del kitasato s'hi posa un tub de vidre on s'hi pipetegen 6 ml d'àcid clorhídric 6N. Es tapa el kitasato i es connecta amb el calcímetre. Es remena perquè l'àcid de dins del tub de vidre vesí i pugui reaccionar amb el sòl. El CO₂ produït desplaça la columna d'aigua del

calcímetre tants cm³ com CO₂ s'ha produït. Quan s'atura la reacció es mesura el volum de gas mantenint anivellats el líquid de la columna amb el dispositiu per tal d'igualar pressions.

És important realitzar una prova patró amb 0.2 g de carbonat de calci pur. Per saber el percentatge de carbonats s'utilitza la fórmula següent:

$$\% \text{ carbonats} = \frac{\text{Volum CO}_2 \text{ sòl} * \text{Pes del CO}_3\text{Ca (g)}}{\text{Volum CO}_2 \text{ de CO}_3\text{Ca} * \text{Pes sòl (g)}} * 100$$

Determinació del carboni orgànic dissolt (DOC)

S'ha utilitzat un extracte amb relació 1 sòl:10 aigua. S'han afegit 2 ml de dicromat potàssic a 4 ml de l'extracte en un tub d'assaig. Seguidament, s'hi addicionen 7 ml d'un àcid mix format per la relació 2:1, d'àcid sulfúric i àcid fosfòric respectivament i s'introdueix a un digestor 30 minuts a 60°C. Es preparen dos blancs amb 2 ml de dicromat potàssic i 7 ml de l'àcid mix. Els tubs amb els extractes i un dels blancs són incubats a 60°C durant 30 minuts per tal de permetre l'oxidació del carboni dissolt per part del dicromat. El blanc restant es deixa reaccionant a temperatura ambient.

Els continguts de cada tub són decantats i esbandits amb 20-25 ml d'aigua desionitzada en un erlenmeyer de 250 ml. Seguidament, s'afegeixen entre 4 i 5 gotes d'indicador de solució ferroina. Es valoren les diferents mostres, i s'observa un canvi de taronja vermellós a verd. La matèria orgànica dissolta es pot calcular a partir de la següent equació:

$$DOC (\%) = \frac{(H-S)*(A*E*1000)}{(C*M*D)*100}, \text{ on:}$$

H és el volum de la valoració del blanc que ha estat incubat a 60°C, C és el volum de la valoració del blanc que s'ha mantingut a temperatura ambient, S és el volum de la valoració de cada mostra, M és la normalitat del dicromat potàssic, D és el volum de dicromat potàssic, A és el volum extracte utilitzat, E és un valor de conversió pel procés de reducció que passa de Cr⁺⁶ a Cr⁺³ i que correspon a 3.

5.2 Caracterització bioquímica dels sòls

Determinació de l'activitat respiratòria potencial (RP)

Es pesen 30 grams de mostra de sòl i es porta a 2/3 parts de capacitat de camp que correspon a una addició de 7 ml d'aigua. A l'interior d'aquest recipient s'hi posa una càpsula amb 5 g d'una sal de sodi-calci coneguda com a soda lime la qual té capacitat d'absorbir el CO₂ emès pel sòl. Es tanquen els recipients i s'incuben a les fosques a 25 °C durant 7 dies.

Passat aquest temps, es determinen els mg de diòxid de carboni absorbit calculant la diferència de pes de la "soda lime" pesada inicialment i secada posteriorment al temps d'incubació a 105 °C. S'ha de multiplicar per un factor corrector (1,69) per corregir el valor de respiració potencial ja que en la reacció també es produeix aigua que es perd en el procés d'assecat.

Determinació del coeficient de mineralització (Q min)

Indica la capacitat de segrest del carboni perquè relaciona el CO₂ emès respecte al contingut de carboni oxidable present al sòl. Es calcula a través de la fórmula següent:

$$Q_{min} = \frac{C_{CO_2} \text{ emès} \left(\frac{mg}{g * dia} \right)}{C_{ox} \text{ sòl} \left(\frac{mg}{g * dia} \right)}$$

Determinació de la Glomalina Total (GRSP)

La glomalina total, també coneguda com a Glomalin Related Soil Protein (GRSP) ha estat determinada seguint el mètode de Wright i Upadhyaya (1996). S'extreu 1 g de sòl amb 8 ml de citrat sòdic 50 mM durant 60 minuts a 121°C en un autoclau. Posteriorment es centrifuga 20 minuts a 4000 rpm i es reserva l'extracte obtingut. El procés d'extracció es repeteix diverses vegades fins que l'extracte presenta un color groc pàl·lid. Per quantificar la GRSP s'ha utilitzat el mètode de Bradford a partir del qual es pot obtenir una recta patró amb concentracions conegudes de la proteïna BSA (Bovine Serum Albumin) per espectrofotometria a 595 nm d'absorbància. A partir d'aquesta recta patró es poden extrapolar les concentracions dels extractes de les mostres mesurades a la mateixa longitud d'ona (Bradford, 1976).

Determinació de la Glomalina fàcilment extraïble (EE GRSP)

S'ha seguit el mateix mètode que la GRSP però en aquest cas s'ha realitzat una única extracció amb 20 mM de citrat de sodi durant 30 minuts a l'autoclau a 121°C. La quantificació de la glomalina fàcilment extraïble també s'ha fet a través del mètode de Bradford.

Determinació de les unitats formadores de colònies dels sòls

Es pesen 10 g de les mostres de sòl a analitzar. Es barreja el sòl amb 7,5 ml de sèrum fisiològic. Es mescla bé i es deixa 30 minuts en repòs. A continuació es procedeix a fer les dilucions en tubs d'assaig, en aquest cas s'han aplicat 6 dilucions: 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵ i 10⁻⁶. A l'hora de fer les dilucions és important vortejar cada vegada que es va a diluir. Una vegada es tenen les dilucions es sembren en 20 ml de medi de Plate Count Agar (PCA) líquid, mentre es barreja el medi ha d'estar contínuament en moviment. Es deixa que el medi solidifiqui, durant uns 10 minuts. És important treballar en condicions estèrils. Es deixen les plaques a l'incubador de 37°C durant 24 hores. Passat aquest temps es podrà fer el recompte de unitats formadores de colònies que han crescut.

5.3 Caracterització del material vegetal (part aèria)

Determinació del pes fresc, el pes sec i la humitat

S'ha tallat la biomassa de les diferents safates del bioassaig. S'ha posat sobre un paper d'alumini prèviament tarat i s'ha pesat. D'aquesta manera s'ha obtingut el pes fresc.

Per saber el pes sec, s'ha posat la biomassa embolcallada amb el paper d'alumini dins d'un forn a 105°C i s'hi ha deixat durant 24 hores. Passat aquest temps es torna a pesar tot obtenint el pes sec.

Posteriorment a l'obtenció del pes fresc i el pes sec es pot calcular la humitat a partir de la fórmula següent:

$$\text{Humitat (\%)} = \frac{\text{Pes fresc} - \text{Pes sec}}{\text{Pes fresc}} * 100$$

Determinació del percentatge de coberta vegetal (% verd)

S'ha dut a terme a través d'un programa informàtic dissenyat pel departament de Química Física i inorgànica de la Universitat Rovira i Virgili. El programa valora amb colors les imatges que, en aquest cas, han estat de les safates una vegada acabat el bioassaig, i segmenta píxels per colors. Els colors verds són separats de la resta de colors; hi ha dos categories: plantes i fons. Posterior al recompte de píxels, fa un càlcul per saber quants corresponen a la categoria plantes i quants a fons. D'aquesta manera es pot saber el percentatge de coberta vegetal de la safata.

5.4 Anàlisi estadística

S'ha fet una anàlisi descriptiva inicial de les mitjanes i desviacions estàndard per a tots els paràmetres analitzats. Primer de tot, per saber si els paràmetres compleixen normalitat s'ha realitzat un test de Shapiro-Wilk i per saber-ne la homogeneïtat de les variàncies un test de Levene. Per tots els tests estadístics, el nivell de significació s'ha considerat a p-valor < 0.05. Els anàlisis estadístics s'han realitzat a través del programa estadístic SPSS (IPM SPSS statistics, Corporation, Chicago, USA).

S'ha fet una ANOVA bifactorial utilitzant ,com a factors fixes, tipus de sòl i tractament per a les variables estudiades del bioassaig i, sòl i temps (inicial o final) per les proves al camp experimental.

Amb les variables que mostraven una interacció dels factors significativa s'ha fet una ANOVA unifactorial per analitzar les diferències entre tipus de sòl dins de cada tractament amb un anàlisi *post-hoc* Tukey per tal de poder observar quins tipus de sòls presenten diferències, i una altra ANOVA unifactorial dins de cada tractament per analitzar les diferències entre tipus de sòl. S'ha fet el mateix per el factor fixe de temps de l'estudi de camp on, l'ANOVA factorial ha permès saber les diferències entre els tipus de tractament dins de cada temps.

També s'han realitzat correlacions bivariades entre paràmetres d'interès amb el test de Pearson.

A més, per a corroborar els resultats del bioassaig obtinguts amb ANOVA, s'ha utilitzat el programa STATISTICA 7.1 de Stat-Soft Inc (USA). Amb l'objectiu de computar les mitjanes per a cada variable amb la anàlisi factorial dels components principals. S'ha triat una estructura de tres factors (components principals, CP) per a identificar les variables que mostraven una correlació significativa amb cada un dels factors.

6. Resultats i discussió

Dades generals

Sòls

A la taula 1 s'observen els resultats dels percentatges de fraccions granulomètriques i, per tant, les classes texturals i la capacitat de retenció d'aigua tant a capacitat màxima de retenció hídrica (WR_{CMRA}) com a capacitat de camp (WR_{CC}).

Saber els diferents percentatges de fraccions granulomètriques dels sòls permet tenir una orientació sobre la capacitat de retenció d'aigua, la infiltració, la disponibilitat d'oxigen, la penetració de les arrels i altres propietats físiques dels sòls (Villar & Arán, 2008). A més, a partir de les proporcions de les fraccions granulomètriques es determina la classe textural dels sòls. La classe textural del sòl, és una propietat molt estable que ens permet associar diverses propietats inferides (Porta et al., 2009). S'observa que els sòls de vinya i de cereals presenten una classe textural de franco-argilo-arenosa (USDA), en canvi, els sòls de cereals són franco-argilosos.

La classe textural del sòl està estretament relacionada amb la CMRA i la WR_{CC} . La capacitat màxima de retenció d'aigua (CMRA) és definida com la quantitat d'aigua a saturació omplint tots els porus del sòl. Un cop aquests porus han retingut aquesta aigua se'ls deixa en drenatge lliure 24 hores per a que perdin l'aigua gravitacional que ocupa els macroporus, aquesta humitat que encara queda retinguda és la que es coneix com a capacitat de camp d'un sòl (WR_{CC}) (Porta et al., 2009). Els valors de WR_{CC} més elevats corresponen al sòl de cereals (com era d'esperar donada la seva textura) respecte al sòl de vinya i horta ja que el sòl de cereals presenta un percentatge superior d'argiles, per tant, més microporositat que fa que l'aigua quedi més retinguda. Respecte a la CMRA es veu que els tres sòls estan dins el mateix rang de valors.

Taula 1. Fraccions granulomètriques, classes texturals, capacitat màxima de retenció d'aigua (WR_{CMRA}) i a retenció d'aigua a capacitat de camp (WR_{CC}).

	Sorres (%)	Llims (%)	Argiles (%)	Classe textural	CMRA (%)	WR _{CC} (%)
Cereals	48.42	28.06	23.54	Franco-argilós	39.662	31.298
Vinya	66.46	30.21	3.33	Franco-argilo-arenós	31.465	20.916
Horta	70.42	11.94	17.64	Franco-argilo-arenós	33.301	23.611

Una caracterització general de les diverses variables químiques com la capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) i els elements minerals nutritius: nitrogen (N), fòsfor soluble ($P_{soluble}$) i assimilable ($P_{assimilable}$) normalment addicionats als sòls per mitjà de fertilitzants químics convencionals s'observa a la taula 2.

Taula 2. Representació dels resultats de la capacitat d'intercanvi catiònic (CIC), el nitrogen total (N), el fòsfor soluble ($P_{soluble}$), el fòsfor assimilable ($P_{assimilable}$), el potassi intercanviable ($K_{intercanviable}$) i el carboni orgànic soluble (DOC).

	Tractament	CIC	N	$P_{soluble}$	$P_{assimilable}$	$K_{intercanviable}$	DOC
		(cmol/kg)	(%)	($\mu\text{g/g}$)	($\mu\text{g/g}$)	($\mu\text{g/g}$)	(%)
Cereals	Control	14.8	0.070	10.543	2.069	282	0.220
	BEAM	15.6	0.091	13.686	2.024	288	0.270
	CM	16.4	0.112	11.971	3.653	744	0.180
	BEAM+CM	17	0.119	10.257	4.341	696	1.170
Vinya	Control	16	0.053	7.971	1.904	73.2	0.090
	BEAM	20	0.056	9.971	1.859	108	0.540
	CM	24	0.081	3.400	2.203	126	0.360
	BEAM+CM	22	0.085	6.257	2.323	138	1.800
Horta	Control	11.6	0.067	17.686	1.740	342	1.350
	BEAM	12.6	0.070	14.829	1.665	300	1.530
	CM	16.8	0.095	19.400	2.099	720	1.420
	BEAM+CM	22.4	0.098	8.543	2.099	642	0.990

Els valors obtinguts de CIC es consideren baixos (Garrido, 1994). Tot i així, s'observa que l'addició dels tractaments de CM i BEAM + CM en comporta un augment respecte el control, degut a l'aportació de matèria orgànica. On es veu més clarament aquest increment és en el sòl de vinya i horta on la CIC augmenta gairebé un 50% amb l'aportació de CM i BEAM+CM, respectivament. Després de l'aplicació d'aquests tractaments també s'aprecia una major quantitat de fòsfor i potassi assimilable. Els nivells obtinguts en quan al contingut de potassi intercanviable es consideren elevats (Cobertera, 1993) mentre que en el fòsfor assimilable, tot i l'augment després dels tractaments, són deficientes. Pel que fa al fòsfor, possiblement hi ha una immobilització d'aquest donat el pH que presenten els sòls. L'increment de la CIC, el P assimilable i el K intercanviable pot ser l'indicatiu de la millora del sòl en

quan a la retenció i disponibilitat dels nutrients (Porta et al., 2009). Les tendències que es veuen amb el fòsfor assimilable no s'observen amb el soluble. Això és degut a que els anàlisis tenen diferents finalitats. El fòsfor assimilable permet conèixer les característiques de la fertilitat edàfica ja que, conjuntament amb el potassi, el nitrogen i el calci és l'element més utilitzat pels vegetals. En canvi, l'anàlisi de fòsfor soluble permet saber el percentatge de fòsfor immediatament disponible per les plantes (Cobertera, 1993).

El nitrogen total és el conjunt de totes les formes de nitrogen mineral i orgànic presents en una mostra de sòl. Les quantitats de nitrogen total que solen presentar els sòls agrícoles oscil·len entre 0.05 i 0.2% (Villar & Arán, 2008). S'observa que els sòls analitzats es troben tots dins d'aquest rang. De fet, cal remarcar que tots els sòls que han rebut els tractaments de CM i BEAM+CM en presenten més quantitat. Segons la taula d'interpretació de Villar & Arán (2008) el tractament ha permès que sòls amb baixa quantitat de nitrogen n'hagin assolit un nivell mitjà.

A la taula 2 també s'observen els valors de carboni orgànic soluble (DOC) que és un substrat important pels processos biològics del sòl. Els sòls de cereals i de vinya presenten una certa tendència a contenir més DOC pel tractament de BEAM+CM. De totes maneres aquesta tendència no es veu reflectida en el sòl d'horta. Entre sòls, es veu que el d'horta és el que en presenta més.

En general, tots els paràmetres analitzats a la taula 2 incrementen considerablement després dels tractaments amb CM i CM+BEAM el que beneficia la qualitat dels tres sòls estudiats.

Compostos

Pel que fa als compostos aplicats de BEAM i CM, s'ha realitzat una caracterització de diferents paràmetres. El BEAM presenta un pH de 8.19 ± 0.08 , mentre que el del CM és menys bàsic, de 7.25 ± 0.04 . A part, aquests compostos presenten una conductivitat molt elevada que és de 43.7 ± 1.47 dS/m pel BEAM i de 60.10 ± 0.44 dS/m pel CM. A més, també s'observa que el carboni orgànic total (TOC) present en els dos compostos és elevat i del mateix ordre, essent de 68.04 ± 1.34 % pel BEAM i de 64.53 ± 1.05 % pel CM. Aquesta elevada quantitat de matèria orgànica que presenten els dos compostos, pot ser molt beneficiós per augmentar la qualitat del sòl i es pot veure reflectit en els resultats obtinguts en el bioassaig per a aquests tractaments i la barreja.

6.1 Estudi 1: Bioassaig

Característiques fisicoquímiques

S'ha determinat l'efecte en les variables fisicoquímiques seleccionades per l'estudi sobre els diferents sòls dels tractaments aplicats en el bioassaig: pH, conductivitat elèctrica (CE), carboni orgànic oxidable (Cox), carboni orgànic total (TOC), carbonat càlcic (CaCO₃), estabilitat dels agregats (WSA) i impedància mecànica (IM) (Taula 3).

Taula 3. Mitjanes i desviacions estàndard de les variables d'estabilitat dels agregats (WSA) i impedància mecànica (IM) pels diferents sòls i els diferents tractaments aplicats en cadascun d'ells. Les lletres majúscules i minúscules indiquen que l'ANOVA ha estat duta a terme utilitzant el factor sòl x factor tractament. La lletra majúscula remarca les diferències entre els diferents sòls i la minúscula entre els diferents tractaments.

	Tractament	WSA _{0.25-2} (%)	WSA _{2-5.6} (%)	IM (kg/cm ²)
Cereals	Control	10.695 ± 2.604 AB	94.822 ± 7.426	4.693 ± 0.075 A_a
	BEAM	15.827 ± 10.601 AB	65.800 ± 25.123	4.767 ± 0.186 A_a
	CM	21.167 ± 22.598 AB	82.058 ± 18.328	3.280 ± 0.591 A_b
	BEAM+CM	15.126 ± 14.171 AB	51.497 ± 23.499	3.867 ± 0.355 A_b
Vinya	Control	19.454 ± 4.365 A	82.819 ± 5.003	3.900 ± 0.336 B_a
	BEAM	22.170 ± 10.444 A	75.298 ± 13.905	3.440 ± 0.354 B_a
	CM	18.742 ± 10.794 A	81.886 ± 4.570	2.247 ± 0.272 B_b
	BEAM+CM	29.015 ± 6.783 A	82.222 ± 6.933	2.920 ± 0.280 B_b
Horta	Control	8.297 ± 2.671 B	75.396 ± 3.847	4.600 ± 0.171 A_a
	BEAM	12.281 ± 9.315 B	65.755 ± 28.186	4.870 ± 0.033 A_a
	CM	12.057 ± 3.744 B	79.705 ± 6.803	3.667 ± 0.098 A_b
	BEAM+CM	9.480 ± 2.724 B	86.740 ± 7.045	3.587 ± 0.321 A_b
p-values	Sòl	0.030	0.542	0.001
	Tractament	0.712	0.156	<0.001
	Sòl x tractament	0.863	0.121	0.729

A la taula 3 s'observa que l'estabilitat estructural dels macroagregats (de 2-5.6 mm) no ha presentat diferències significatives respecte cap dels dos factors fixes (sòl i tractament). En canvi, la WSA dels microagregats (de 0.25-2 mm) sí que n'ha presentat pel factor sòl. Els agregats dels sòls són les unitats bàsiques de l'estructura dels sòls i tenen una gran importància en termes de protecció dels sòls de l'erosió, la millora del creixement de les plantes via aeració, la millora en la retenció d'aigua i nutrients per part dels sòls i el segrest de carboni. S'observa que són els sòls de vinya els que presenten més

estabilitat dels agregats en la fracció 0.25-2 mm i els sòls d'horta els que menys. En aquest estudi es pot corroborar, tal i com Polláková et al. (2018) van observar, que l'estabilitat estructural pot variar entre sòls a causa del tipus de sòl pròpiament i del tipus de maneig que ha rebut.

La impedància mecànica dels sòls de cereals i horta en el control i el tractament amb BEAM és major a 4 kg/cm² el que indicaria que quan el sòl està sec, les arrels tenen dificultats per prosperar i les llavors per germinar. Amb els tractaments de CM i BEAM+CM s'observa en els tres sòls que hi ha una disminució de la impedància mecànica el que afavoriria el creixement (Taula 3).

A la taula 4, s'observa que el valor de pH presenta diferències significatives tant pel factor sòl com pel tractament. El pH és un indicador de l'acidesa o la basicitat d'un sòl. Segons Porta et al. (2009) aquests sòls es podrien classificar entre mitjanament bàsics (7.4 a 7.8) a bàsics (7.9 a 8.4). En aquests interval es podria esperar la disminució de la disponibilitat d'alguns elements (P, B) i deficiències en alguns micronutrients (Co, Fe, Cu, Mn...). De totes maneres, els sòls que presenten l'addició de CM i BEAM+CM presenten un pH més baix. Respecte als sòls, el d'horta és el que presenta un pH més elevat.

La conductivitat elèctrica (CE) indica la quantitat de sals solubles presents en la solució del sòl. S'observa que també presenta diferències significatives per sòls i tractament (Taula 4). Es veu que independentment dels factors sòls i tractament totes les CE són inferiors a 0.5 la qual cosa significa que les sals presents en els sòls no són un limitant per a les plantes (Villar & Arán, 2008). Destaca una certa tendència entre tractaments, essent CM i BEAM+CM els tractaments que presenten una conductivitat elèctrica més elevada fet que era d'esperar donada la CE que presenten aquests compostos. Pel que fa als sòls, és el de cereals el que presenta més conductivitat i el de vinya el que en presenta menys.

El carboni orgànic total (TOC) representa la fracció orgànica del sòl composta per plantes i animals no descompostos i per altres molècules orgàniques recalcitrants. En canvi, el carboni orgànic oxidable (Cox) representa el que els microorganismes utilitzen com a principal font de carboni. A més, aquest darrer influeix en les propietats físiques, químiques i biològiques dels sòls. Els valors obtinguts de Cox i TOC presenten les mateixes tendències i també mostren diferències significatives tant per sòl com per tractament (Taula 4). De fet, l'anàlisi de correlació de Pearson constata el fet que les dues variables presentin el mateix comportament (Taula 5). Segons Villa & Arán (2008) independentment dels sòls i del tractament rebut, totes les mostres presentarien un contingut de matèria orgànica oxidable molt

baix. De totes maneres, el fet d'afegir el tractament de CM i BEAM+CM permet que el contingut en carboni orgànic oxidable dels sòls augmenti i passi de ser un sòl amb molt baix contingut a un sòl amb baix contingut (Villa & Arán, 2008). Pel que fa al factor sòl s'observa que és el sòl de vinya el que presenta, des d'un inici, percentatge més elevat de Cox i de TOC.

Taula 4. Mitjanes i desviacions estàndard de les variables de pH, conductivitat elèctrica (CE), carboni orgànic oxidable (Cox), carboni orgànic total (TOC) i carbonats càlcics (CaCO₃). Les lletres majúscules i minúscules indiquen que l'ANOVA ha estat duta a terme utilitzant el factor sòls x factor tractament. La lletra majúscula remarca les diferències entre els diferents sòls i la minúscula entre els diferents tractaments.

	Tractament	pH	CE (dS/m)	Cox (%)	TOC (%)	CaCO ₃ (%)
Cereals	Control	8.223 ±	0.163 ±	0.218 ±	5.174 ±	38.087 ±
		0.007	0.003	0.331	0.004	2.354
		B_a	A_b	B_b	B_b	A
	BEAM	8.267 ±	0.159 ±	0.369 ±	5.459 ±	40.997 ±
		0.052	0.007	0.086	0.131	0.232
		B_a	A_b	B_b	B_b	A
	CM	7.783 ±	0.422 ±	0.825 ±	7.779 ±	35.669 ±
		0.223	0.015	0.035	0.245	2.689
		B_b	A_a	B_a	B_a	A
	BEAM+CM	7.840 ±	0.361 ±	0.927 ±	8.959 ±	37.146 ±
		0.236	0.009	0.123	1.458	1.472
		B_b	A_a	B_a	B_a	A
Vinya	Control	8.150 ±	0.156 ±	0.762 ±	6.529 ±	6.082 ±
		0.056	0.030	0.021	0.139	0.121
		B_a	B_b	A_b	A_b	B
	BEAM	8.250 ±	0.130 ±	0.646 ±	7.093 ±	6.462 ±
		0.025	0.001	0.100	0.109	0.354
		B_a	B_b	A_b	A_b	B
	CM	7.620 ±	0.299 ±	1.272 ±	8.989 ±	6.185 ±
		0.246	0.045	0.082	0.160	0.148
		B_b	B_a	A_a	A_a	B
	BEAM+CM	7.297 ±	0.326 ±	1.228 ±	9.463 ±	6.712 ±
		0.159	0.059	0.101	0.337	0.341
		B_b	B_a	A_a	A_a	B
Horta	Control	8.360 ±	0.159 ±	0.345 ±	3.789 ±	1.469 ±
		0.036	0.003	0.089	0.005	0.184
		A_a	AB_b	B_b	C_b	C
	BEAM	8.307 ±	0.157 ±	0.398 ±	4.265 ±	1.656 ±
		0.013	0.004	0.042	0.031	0.055
		A_a	AB_b	B_b	C_b	C
	CM	8.177 ±	0.366 ±	0.587 ±	6.025 ±	2.000 ±
		0.003	0.012	0.080	0.152	0.065
		A_b	AB_a	B_a	C_a	C
	BEAM+CM	8.193 ±	0.330 ±	0.772 ±	5.950 ±	1.840 ±
		0.030	0.006	0.022	0.055	0.165
		A_b	AB_a	B_a	C_a	C
p-values	Sòl	<0.001	0.031	<0.001	<0.001	<0.001
	Tractament	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.312
	Sòl x tractament	0.072	0.349	0.085	0.060	0.258

Taula 5. Coeficient de correlació entre el carboni orgànic oxidable (Cox) i el carboni orgànic total (TOC). Els valors corresponen a la R², i un asterisc (*) indica les correlacions amb p-valor <0.01.

Sòl			R ² Pearson
Cereals	Cox (%)	TOC (%)	0.829*
Vinya	Cox (%)	TOC (%)	0.857*
Horta	Cox (%)	TOC (%)	0.807*

En quan al contingut en carbonat càlcic equivalent, només s'observen diferències significatives pel factor sòl (Taula 4). En aquest anàlisi el sòl de cereals ha presentat valors superiors a 35-40%, essent considerat sòl calcari, fet que pot ocasionar problemes de productivitat als cultius (Garrido, 1994). Pel que fa als sòls de vinya i horta, segons Villa & Arán (2008) serien considerats sòls molt poc calcaris i amb carbonat càlcic inapreciable, respectivament.

Característiques bioquímiques

A la taula 6 es representen les característiques bioquímiques analitzades com la respiració potencial (RP), el coeficient de mineralització (Q min), la glomalina fàcilment extraïble (EE_GSRP) i la glomalina total (GSRP). S'ha afegit el carboni oxidable a la taula per tal de poder fer un millor anàlisi dels resultats ja que aquest paràmetre està estretament lligat amb el càlcul del coeficient de mineralització.

Pel que fa a la respiració potencial no hi ha hagut diferències significatives entre sòls ni tractaments. Sí que hi ha hagut diferències significatives pel factor del coeficient de mineralització el qual està estretament relacionat amb la variable de l'activitat respiratòria i del carboni oxidable (Taula 6). Tots els sòls presenten un valor de Q min menor a 1 fet que representa que els sòls estan emmagatzemant carboni. Com més elevat és el Qmin, més CO₂ es desprèn a l'atmosfera i per tant, el sòl té menys capacitat de segrest del carboni. Pel que fa als sòls, és el sòl de cereals el que presenta un Q min significativament superior al sòl de vinya, en canvi, ambdós sòls no presenten diferències significatives respecte al sòl d'horta. Respecte als tractaments aplicats, CM i BEAM+CM presenten un valor de Q min significativament inferior al del Control, per tant, l'aplicació d'aquests compostos aporten al sòl més capacitat de segrest de carboni. Aquest comportament és igual en tots els tipus de sòls perquè la interacció entre sòls i tractaments no és significativa.

Tant la glomalina fàcilment extraïble com la glomalina total presenten diferències significatives pel factor sòls, tractament i per la interacció sòls-tractament (Taula 6). Per la EE_GSRP, el comportament dels tractaments ha estat el mateix en tots els sòls on s'observa que les tesis amb els tractaments de CM o de CM+BEAM presenten més quantitat de glomalina fàcilment extraïble. En canvi, per la GSRP, sí que hi ha hagut el mateix comportament dels tractaments en el sòl de cereals i de vinya però ha estat diferent en el sòl d'horta. En cereals i vinya es torna a observar la mateixa tendència que amb la EE_GRSP, essent les tesis tractades amb CM i BEAM+CM les que presenten més quantitat de glomalina

total. De fet, en el cas dels sòls d'horta, tot i que hi hagi més diferències entre tractaments, es veu que la tesis amb CM és la que conté més glomalina total i, aquesta és seguida per la tesis amb CM+BEAM. Pel que fa al factor de sòls s'observa que els sòls de cereals són els que presenten de per si més EE_GRSP i GRSP. La glomalina fàcilment extraïble és la part de la glomalina total que les plantes són capaces d'extreure.

Taula 6. Mitjanes i desviacions estàndard de les variables de carboni orgànic oxidable (Cox), respiració potencial (RP), coeficient de mineralització (Q min), glomalina fàcilment extraïble (EE_GSRP) i glomalina total (GRSP). Les lletres majúscules i minúscules indiquen que l'ANOVA ha estat duta a terme utilitzant el factor sòls x factor tractament. La lletra majúscula remarca les diferències entre els diferents sòls i la minúscula entre els diferents tractaments.

Tractament		Cox (%)	RP (mgCO ₂ /g sòl dia)	Q min	EE_GRSP (mg/g sòl)	GRSP (mg/g sòl)
Cereals	Control	0.218 ± 0.055 B_b	0.701 ± 0.112 A_a	0.106 ± 0.066 A_a	0.338 ± 0.011 A_b	1.079 ± 0.040 A_b
	BEAM	0.369 ± 0.086 B_b	0.951 ± 0.069 A_ab	0.083 ± 0.052 A_ab	0.382 ± 0.016 A_b	1.050 ± 0.030 A_b
	CM	0.825 ± 0.035 B_a	0.730 ± 0.140 A_b	0.024 ± 0.009 A_b	0.507 ± 0.010 A_a	1.542 ± 0.030 A_a
	BEAM+CM	0.927 ± 0.123 B_a	0.673 ± 0.077 A_b	0.021 ± 0.009 A_b	0.513 ± 0.015 A_a	1.599 ± 0.016 A_a
	Control	0.762 ± 0.021 A_b	0.535 ± 0.079 B_a	0.019 ± 0.004 B_a	0.163 ± 0.012 C_b	0.507 ± 0.033 C_b
	BEAM	0.646 ± 0.100 A_b	0.860 ± 0.062 B_ab	0.037 ± 0.010 B_ab	0.172 ± 0.013 C_b	0.616 ± 0.030 B_b
	CM	1.272 ± 0.082 A_a	0.466 ± 0.197 B_b	0.010 ± 0.008 B_b	0.347 ± 0.004 C_a	0.907 ± 0.026 B_a
	BEAM+CM	1.228 ± 0.101 A_a	0.758 ± 0.092 B_b	0.017 ± 0.003 B_b	0.393 ± 0.029 B_a	1.073 ± 0.069 B_a
Horta	Control	0.345 ± 0.089 B_b	0.562 ± 0.012 AB_a	0.050 ± 0.021 AB_a	0.237 ± 0.004 B_b	0.869 ± 0.024 B_c
	BEAM	0.398 ± 0.042 B_b	0.583 ± 0.035 AB_ab	0.041 ± 0.012 AB_ab	0.265 ± 0.013 B_b	0.942 ± 0.033 A_c
	CM	0.587 ± 0.080 B_a	0.663 ± 0.013 AB_b	0.013 ± 0.007 AB_b	0.385 ± 0.005 B_a	1.576 ± 0.016 A_a
	BEAM+CM	0.772 ± 0.022 B_a	0.733 ± 0.096 AB_b	0.026 ± 0.007 AB_b	0.390 ± 0.002 B_a	1.102 ± 0.033 B_b
	Sòl	<0.001	0.147	0.006	<0.001	<0.001
	Tractament	<0.001	0.063	0.006	<0.001	<0.001
	Sòl x tractament	0.085	0.171	0.120	0.018	<0.001

La glomalina és el component principal de la matèria orgànica del sòl i és una font important de carboni i nitrogen orgànic als sòls. Varis estudis han demostrat que la glomalina està correlacionada positivament amb la matèria orgànica oxidable dels sòls (Huang et al., 2012). A la taula 7 es pot observar a través de l'anàlisi de correlació de Pearson que aquest fet es compleix pels sòls de cereals i d'horta.

Taula 7. Coeficient de correlació entre glomalina fàcilment extraïble (EE_GSRP) i glomalina total (GRSP) i la variable de carboni orgànic oxidable (Cox). Els valors corresponen a la R², i un asterisc (*) indica les correlacions amb p-valor <0.05.

Tractament			R ² Pearson
Cereals	EE_GRSP (mg/g sòl)	Cox (%)	0.953*
	GRSP (mg/g sòl)		0.901*
Vinya	EE_GRSP (mg/g sòl)	Cox (%)	0.790*
	GRSP (mg/g sòl)		0.422
Horta	EE_GRSP (mg/g sòl)	Cox (%)	0.831*
	GRSP (mg/g sòl)		0.821*

6.2 Característiques biològiques

A la taula 8 s'observen els resultats referents a les característiques biològiques estudiades que són: la biomassa en pes fresc (PF) i pes sec (PS), el percentatge d'humitat i la cobertura vegetal observada en les diferents safates del bioassaig (% Verd).

S'observa que les variables PF, PS i % verd són significativament diferents tant pel sòl com pel tractament com per la interacció sòl-tractament (Taula 8). Tot i així, tal i com es veu tant a la Figura 7 com a la taula 8, hi ha una certa tendència entre els tractaments: les tesis amb CM o BEAM+CM presenten major biomassa, la qual cosa es reflecteix amb un nombre més elevat de pes fresc, pes sec, humitat i verd. A més, a la figura 7 s'observa com el sòl d'horta és el que presenta més biomassa, cosa que es corrobora amb algun dels resultats analítics obtinguts.

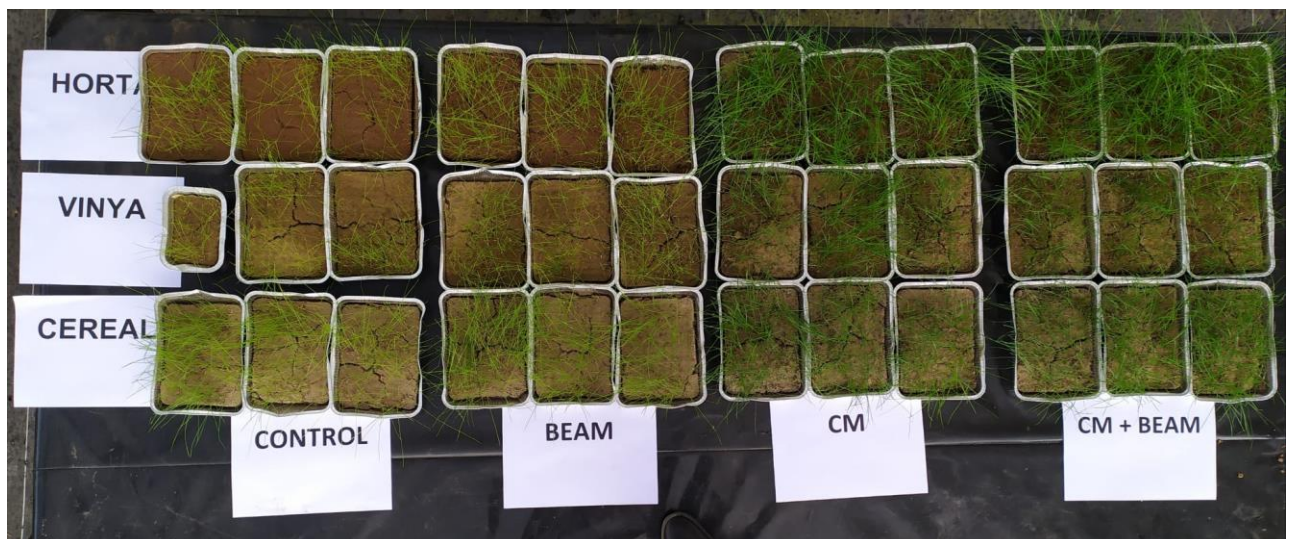


Figura 7. Les diferents tesis una vegada finalitzat el bioassaig. Elaboració pròpia.

Taula 8. Mitjanes i desviacions estàndard de les variables de la biomassa en pes fresc (PF) i pes sec (PS), la humitat i la cobertura vegetal observada en les diferents safates del bioassaig (% Verd). Les lletres majúscules i minúscules indiquen que l'ANOVA ha estat duta a terme utilitzant el factor sòls x factor tractament. La lletra majúscula remarca les diferències entre els diferents sòls i la minúscula entre els diferents tractaments.

	Tractament	PF (g de biomassa/ kg de sòl)	PS (g de biomassa/ kg de sòl)	Humitat (%)	Verd (%)
Cereals	Control	4.600 ± 0.258 A_b	0.758 ± 0.032 A_b	83.458 ± 0.731 AB_b	43.860 ± 4.065 A_b
	BEAM	5.867 ± 0.345 A_b	1.003 ± 0.571 A_a	82.895 ± 0.525 AB_b	52.853 ± 1.633 A_ab
	CM	8.371 ± 0.177 B_a	1.148 ± 0.055 AB_a	86.290 ± 0.472 AB_a	56.993 ± 1.018 AB_ab
	BEAM+CM	8.513 ± 0.758 B_a	1.134 ± 0.064 B_a	86.594 ± 0.490 AB_a	57.530 ± 3.963 AB_a
Vinya	Control	2.025 ± 0.447 B_c	0.392 ± 0.089 B_a	80.652 ± 0.333 B_b	27.607 ± 1.784 B_b
	BEAM	2.663 ± 0.364 B_bc	0.471 ± 0.070 B_ab	82.376 ± 0.438 B_b	26.577 ± 3.483 B_b
	CM	5.854 ± 0.992 B_a	0.840 ± 0.115 B_a	85.468 ± 0.735 B_a	49.447 ± 4.726 B_a
	BEAM+CM	4.908 ± 0.442 C_ab	0.748 ± 0.044 C_ab	84.655 ± 0.575 B_a	48.327 ± 3.323 B_a
Horta	Control	2.480 ± 0.062 B_b	0.484 ± 0.067 AB_b	80.477 ± 2.736 A_b	24.530 ± 0.589 B_b
	BEAM	3.430 ± 0.293 B_b	0.548 ± 0.033 B_b	83.956 ± 0.499 A_b	35.323 ± 4.948 B_b
	CM	10.540 ± 0.560 A_a	1.267 ± 0.061 A_a	87.972 ± 0.175 A_a	66.950 ± 1.943 B_a
	BEAM+CM	12.060 ± 0.407 A_a	1.421 ± 0.059 A_a	88.217 ± 0.215 A_a	66.083 ± 3.248 A_a
p-values	Sòl	<0.001	<0.001	0.020	<0.001
	Tractament	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	Sòl x tractament	<0.001	<0.001	0.169	<0.001

Donada l'aportació de microorganismes que pot suposar l'addició dels diferents compostos, s'han realitzat, amb les mostres de sòl del bioassaig, el recompte dels microorganismes presents mitjançant la realització de diferents dilucions i la posterior sembra en placa.

A la taula 9 es poden observar els valors de la determinació de les unitats formadores de colònies per a les diferents tesis i els diferents sòls. S'observa que els sòls de cereals i vinya presenten més quantitat d'ufc/g sòl després de l'aplicació de CM i CM+BEAM. En canvi, el sòl d'horta presenta una certa tendència a disminuir els valors d'ufc/g sòl després dels tractaments. Pel que fa als sòls, són els sòls de cereals els que presenten més ufc/ g sòl, seguits per sòl d'horta i sòl de vinya. El microbioma del

sòl és afectat tant per la heterogeneïtat pròpia dels sòls com per el tipus d'ús que se li aplica. da C Jesus et al. (2009) van observar que l'ús del sòl afecta indirectament a les comunitats microbianes a causa de la modificació de propietats del sòl cosa que es pot relacionar amb els resultats obtinguts en aquest estudi.

Taula 9. Mitjanes i desviacions estàndard de les unitats formadores de colònies per gram de sòl de cada mostra a dilució 10^{-3} i 10^{-4} . Les lletres majúscules i minúscules indiquen que l'ANOVA ha estat duta a terme utilitzant el factor sòls x factor tractament. La lletra majúscula remarca les diferències entre els diferents sòls i la minúscula entre els diferents tractaments.

	Tractament	Ufc/ g sòl
Cereals	Control	20500 ± 707 A_c
	BEAM	2900 ± 0 A_b
	CM	25500 ± 2121 A_b
	BEAM+CM	120500 ± 707 A_a
Vinya	Control	4000 ± 1414 C_c
	BEAM	31500 ± 3535 C_a
	CM	22000 ± 1414 C_ab
	BEAM+CM	16000 ± 4242 C_b
Horta	Control	55500 ± 7778 B_a
	BEAM	42000 ± 2828 B_ab
	CM	22000 ± 7071 B_c
	BEAM+CM	16000 ± 8485 B_c
p-values	Sòl	<0.001
	Tractament	<0.001
	Sòl*tractament	<0.001

Per a poder computar les mitjanes de cada variable amb l'anàlisi factorial per a l'extracció de components principals, s'ha triat una estructura de tres factors (components principals, PC). D'aquesta manera s'identifiquen les variables que mostren una correlació significativa amb cadascun dels factors. Així es pot saber el pes de la variància de cada variable sobre cada factor i establir quin és el factor que afecta més en els diferents sòls estudiats. A més l'anàlisi factorial també permet observar quin dels tractaments a afectat més en cadascun dels tres factors.

Pel sòl de cereals s'ha observat que el factor 1 (PC1) de l'anàlisi factorial explica un 73.76% de la variància de totes les variables en els quatre tractaments, i incorpora variables molt relacionades amb el contingut de compostos orgànics i la estabilitat estructural dels agregats en la fracció més petita

(0.25-2 mm). Les variables Cox, TOC, EEGRSP, GRSP, PF i PS i Humitat tenen un correlació alta i positiva i considerada la contribució al sòl d'aquestes variables s'ha anomenat "Reserva orgànica i microestructura". Les correlacions negatives en PC1 son també considerablement altes i són el pH, CaCO₃, la impedància mecànica, el Qmin i les sorres (S). Efectivament, un valor de pH molt elevat pot perjudicar la formació de compostos orgànics estables, així com el coeficient de mineralització representa pèrdua de matèria orgànica per emissió de diòxid de carboni (Gispert et al., 2018). A més, el contingut de sorra i un valor elevat de impedància mecànica contribueixen negativament a la formació d'una estructura estable i augmenten la resistència de la superfície del sòl, el que pot derivar en la dificultat de germinació dels cultius. El factor 2 (PC2) tot i tenir un percentatge de variància molt baix (13.86%) s'ha anomenat "textura" perquè exhibeix dues components de la textura: llims (L) (positiu) i argiles (A) (negatiu). Tenen mida diferent (50-2µm i <2µm respectivament) però un excés d'argila pot ser perjudicial pel sòl. PC3 anomenat "CO₂ i porositat" amb només un 12.38% de variància entre les variables indica RP (positiu) i WSA_{2-5.6} (negatiu), possiblement relacionats amb una porositat més alta que podria reduir l'activitat biològica del sòl i causar menys pèrdues de matèria orgànica. Aquests resultats es poden veure reflectits en la gràfica de la Figura 8.

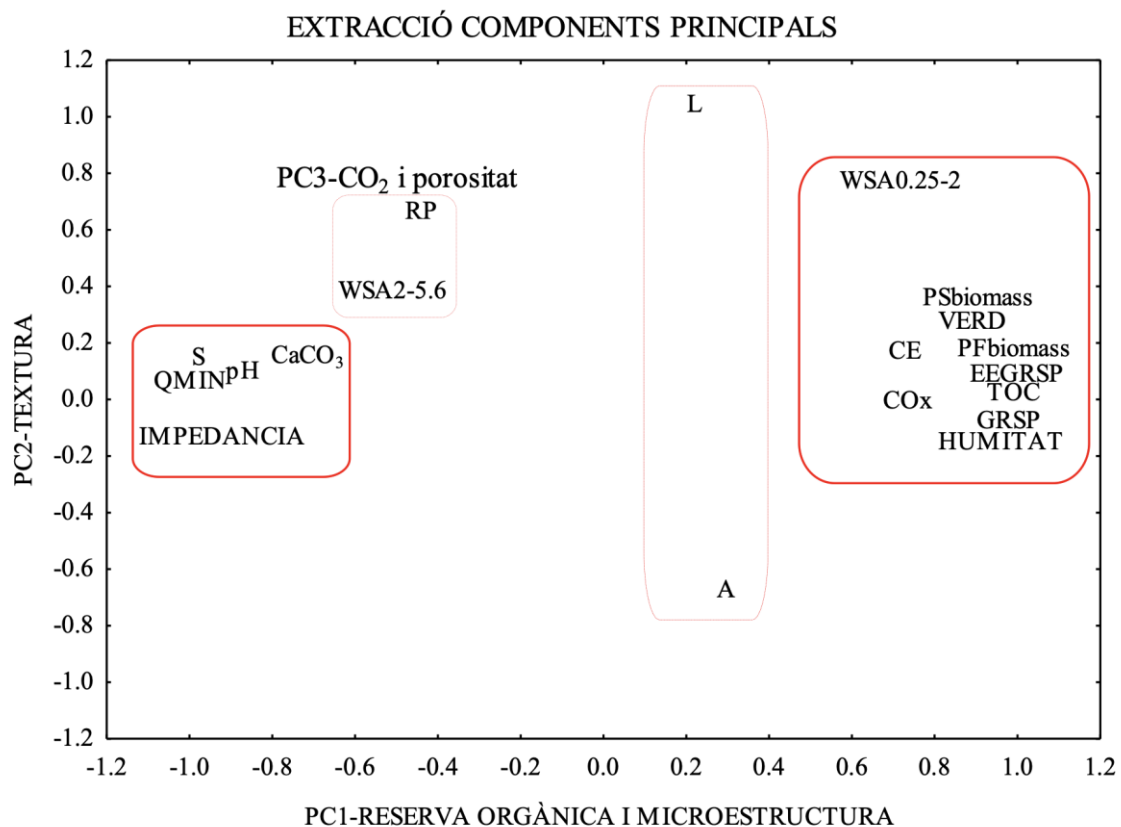


Figura 8. Diagrama de l'extracció de components principals amb la posicionament de les variables analitzades en el sòl cultivat amb cereals.

A la figura 8 s'observa clarament com es posicionen en la part positiva aquelles variables que poden contribuir en un bon funcionament del sòl i en la part negativa les que poden ser perjudicials en algun moment quan assoleixen valors elevats.

Com que el sòl cultivat amb cereals ha rebut quatre tractament diferents, l'anàlisi factorial pot distingir aquells tractaments que han contribuït de forma més eficient al enriquiment dels components orgànics del sòl i per tant a un millor funcionament i conservació del sòl. A la taula 10 s'observa com el tractament CM i la combinació CM-BEAM reben una assignació positiva (0.846 i 0.866) demostrant que són els tractaments més efectius per a la fertilitat del sòl.

Taula 10. Criteri de valoració de cada factor sobre la eficiència del tractament en el sòl cultivat amb cereals.

Tractaments	PC1 Reserva orgànica i microestructura	PC2 Textura	PC3 CO₂ i porositat
CONTROL	-1.041	-0.531	-0.939
BEAM	-0.671	0.646	1.176
CM	0.846	1.014	-0.712
BEAM+CM	0.866	-1.128	0.476

Respecte als sòls de vinya, el PC1 explica el 68.71% de la variància de totes les variables en els quatre tractaments i es defineix com la "reserva orgànica" perquè, com en el sòl de cereals, incorpora positivament moltes variables que reconduïxen a aquesta propietat del sòl (Figura 9). En el PC2, amb un 22.79% de variància explicada, s'hi observen correlacions positives de WSA en les dues fraccions amb l'argila, el llim i el CaCO₃. L'associació d'aquestes variables podria estar relacionada amb el baix contingut d'argila (≈3%) que, com que és un component important en la formació de l'estructura del sòl, es posiciona amb el llim i el CaCO₃ (amb capacitat d'agregació) per compensar la carència d'argila (Paniagua et al., 1999). Per aquesta raó el PC2 es defineix com "textura i estructura". El factor PC3 només presenta un 8.50% de la variància amb respiració potencial i coeficient de mineralització ambdós amb correlació negativa. Aquest factor es defineix simplement com el factor de la "mineralització" i evidència que aquest procés pot tenir una rellevància poc important per el sòl.

A diferència del sòl de cereals, s'observa que les variables relacionades amb l'estructura del sòl no estan incorporades en el PC1 la qual cosa podria indicar que l'estructura del sòl i els components fisicoquímics del sòl (argila, llim i CaCO₃) tenen una importància menor (PC2 = 22.79%).

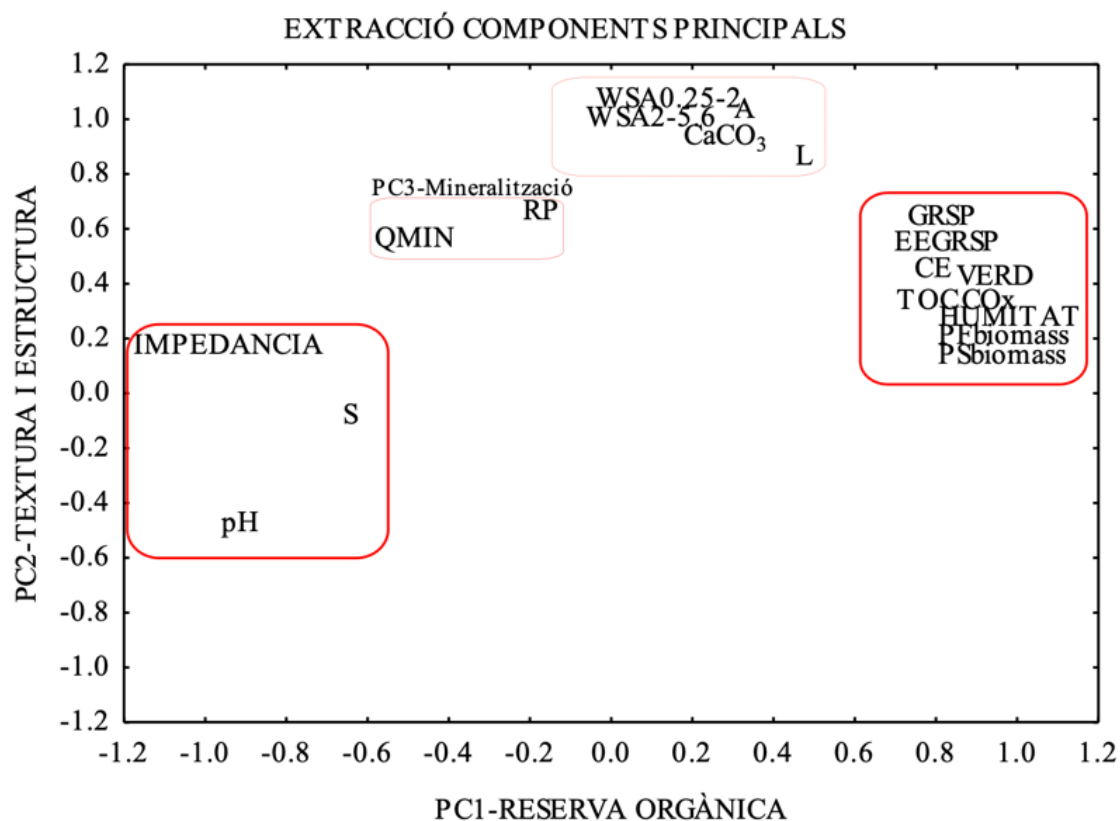


Figura 9. Diagrama de l'extracció de components principals amb la posicionament de les variables analitzades en el sòl de vinya.

A la taula 11 es veuen els valors de l'anàlisi factorial i es distingeix que els tractaments CM i CM+BEAM són més eficients en l'enriquiment dels compostos orgànics del sòl (les variables del sòl relacionades amb el PC1). A més, es pot observar que el sòl tractat amb CM+BEAM presenta una assignació positiva amb el PC2 que indica que existeix una millor situació estructural.

Taula 11. Criteri de valoració de cada factor sobre la eficiència del tractament en el sòl de vinya.

Tractaments	PC1 Reserva orgànica	PC2 Textura i estructura	PC3 Mineralització
CONTROL	-1.209	-0.336	0.821
BEAM	-0.313	-0.198	-1.453
CM	1.138	-0.895	0.393
BEAM+CM	0.384	1.430	0.238

A la Figura 10, s'hi representa el PCA dels sòls d'horta on també s'ha vist la relació entre les variables lligades a la dinàmica de la matèria orgànica i el PC1 que, en aquest cas, explica un 71.29% de la variància total entre les variables. En aquest sòl la RP resulta correlacionada positivament amb PC1, en canvi, en el de cereals ho està negativament (més lògic perquè es refereix a una pèrdua de carboni total orgànic) o amb poca significació com és el cas del sòl de vinya. Així mateix, s'ha observat que el PC2 (22.71%) i el PC3 (5.99%) incorporen les variables lligades amb la "textura" i la "estructura" respectivament i amb poc pes dins de la dinàmica total dels sòls. Es podria afirmar que els tres sòls

tenen valors de variables associades a la dinàmica de la matèria orgànica bastant semblants. Tot i així, les variables de contingut de carbonat i l'argila, incorporades en el PC2 i el PC3, difereixen entre els tres.

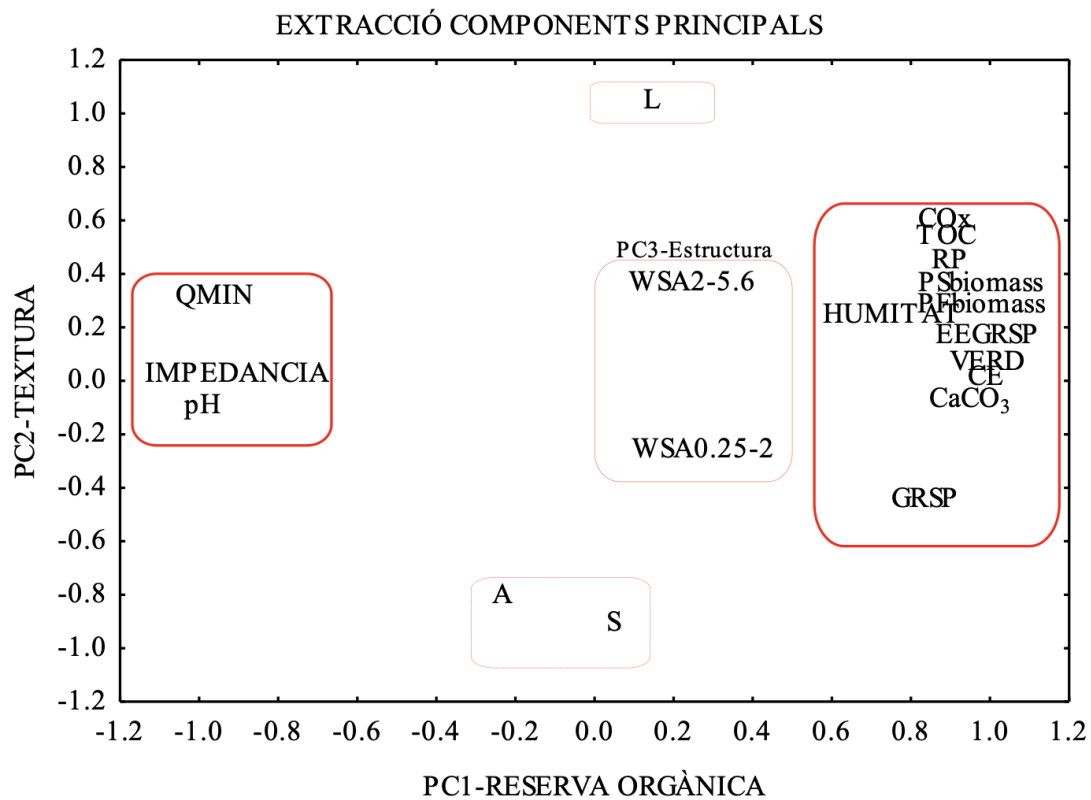


Figura 10. Diagrama de l'extracció de components principals amb la posició de les variables analitzades en el sòl d'horta.

A la taula 12 es pot corroborar que la relació dels tractaments amb els diferents components principals també actua igual en els tres sòls. Indicant que els sòls amb CM i CM+BEAM reben certs beneficis que es poden convertir en una major qualitat dels sòls estudiats.

Taula 12. Criteri de valoració de cada factor sobre la eficiència del tractament en el sòl d'horta.

Tractaments	PC1 Reserva orgànica	PC2 Textura	PC3 Estructura
CONTROL	-0.996	-0.292	1.082
BEAM	-0.719	0.200	-1.300
CM	0.952	-1.151	-0.127
BEAM+CM	0.763	1.244	0.345

6.2 Estudi 2: Proves de camp

Per les mostres del camp experimental de cereals de Santa Coloma de Queralt s'han mesurat les variables que han presentat una diferència significativa pel factor tractament en l'anàlisi estadístic del bioassaig. S'han comparat les dades obtingudes d'aquestes variables a temps inicial i a temps final.

La taula 13 presenta les característiques fisicoquímiques analitzades. S'observa que totes presenten diferències significatives respecte al factor temps. Tot i així, no varien amb la mateixa tendència. Les variables pH, Cox i WSA_{0.25-2} presenten un augment des del temps inicial fins el temps final. En canvi, la CE i el TOC es produeix a l'inrevés. Només es veuen diferències entre tractaments amb la variable de carboni orgànic oxidable i la d'estabilitat d'agregats, essent les mostres amb tractament de BEAM, CM i BEAM+CM les que presenten una millora considerable.

Taula 13. Mitjanes i desviacions estàndard de les variables del pH, la conductivitat elèctrica (CE), el carboni orgànic oxidable (Cox), el carboni orgànic total (TOC) i l'estabilitat dels agregats de 0.25-2mm de diàmetre per als diferents temps (inicial i final) i tractaments (Control, BEAM, CM i BEAM + CM) de les mostres obtingudes del camp experimental. Els valors-p tenen significació a partir de 0.05. La lletra minúscula indica l'ANOVA duta a terme pel factor tractament.

Temps	Tractament	pH	CE (dS/m)	Cox (%)	TOC (%)	WSA 0.25- 2 (%)
Inicial	Control	8.195 ±	0.163 ±	0.218 ±	5.174 ±	6.763 ±
		0.032	0.005	0.095	0.004	1.652
	BEAM	8.223 ±	0.158 ±	0.212 ±	4.989 ±	30.439 ±
		0.012	0.007	0.050	0.006	18.374
Final	CM	8.220 ±	0.160 ±	0.198 ±	5.165 ±	18.114 ±
		0.020	0.005	0.073	0.002	11.580
	BEAM+CM	8.200 ±	0.154 ±	0.215 ±	5.193 ±	46.851 ±
		0.023	0.008	0.065	0.005	27.707
Final	Control	8.253 ±	0.124 ±	0.615 ±	4.279 ±	21.317 ±
		0.012	0.007	0.033	0.330	13.899
	BEAM	8.267 ±	0.119 ±	0.961 ±	4.656 ±	64.749 ±
		0.015	0.008	0.088	0.222	11.097
Final	CM	8.250 ±	0.122 ±	0.946 ±	4.114 ±	54.885 ±
		0.036	0.003	0.086	0.336	9.545
	BEAM+CM	8.237 ±	0.122 ±	0.887 ±	4.329 ±	41.811 ±
		0.032	0.008	0.055	0.099	29.228
p-values	Tractament	0.720	0.893	0.009	0.128	0.020
	Temps	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	0.013
	Tractament*temps	0.720	0.893	0.009	0.128	0.183

A la taula 14 s'hi presenten les variables bioquímiques analitzades. Tot i que les dues presentin diferències significatives pel factor temps, actuen de manera diferent. Mentre que la EE_GRSP disminueix de temps inicial a temps final, la GRSP augmenta. A més, la GRSP presenta diferències significatives entre tractaments, essent el control i el BEAM els que presenten més quantitat de glomalina total.

Taula 14. Mitjanes i desviacions estàndard de les variables glomalina fàcilment extraïble (EE_GRSP) i glomalina total (GRSP) per als diferents temps (inicial i final) i tractaments (Control, BEAM, CM i BEAM + CM) de les mostres obtingudes del camp experimental. Els valors-p tenen significació a partir de 0.05. La lletra minúscula indica l'ANOVA duta a terme pel factor tractament.

Temps	Tractament	EE_GRSP (mg/g sòl)	GRSP (mg/g sòl)
Inicial	Control	0.346 ± 0.013	0.821 ± 0.022 a
	BEAM	0.340 ± 0.017	0.840 ± 0.032 a
	CM	0.352 ± 0.023	0.832 ± 0.021 b
	BEAM+CM	0.338 ± 0.018	0.824 ± 0.018 ab
Final	Control	0.183 ± 0.153	0.991 ± 0.038 a
	BEAM	0.190 ± 0.038	0.994 ± 0.066 a
	CM	0.200 ± 0.058	0.770 ± 0.072 b
	BEAM+CM	0.190 ± 0.052	0.897 ± 0.064 ab
p-values	Tractament	0.979	0.002
	Temps	<0.001	<0.001
	Tractament*temps	0.979	0.002

7. Conclusions

- **All soils:**
 - Show similar textural classes. Highlighting the low clay content found on vineyard soils.
 - Have high pH, so they are basic, underlying the vegetable path that presents more basicity.
 - Are low calcareous, excluding the cereal's soil that presents a high CaCO₃ content.
 - Show an electric conductivity under 0.5 so they are non-saline soils.
 - Show a low content of oxidizable organic carbon and total organic carbon, being the vineyard soil the one that presents the most.
 - The cereal field and the vegetable patch show more total and easily extracted glomalin and more vegetal biomass.
 - Show sequestration carbon capacity because they present a mineralization coefficient value lower than 1.

- **The bioassay** has shown that the composts have contributed to ameliorating some of the analyzed characteristics.

The application of CM and BEAM+CM treatments has:

- Increased the cationic exchangeable capacity and the presence of some of the essential elements for plants (N, P & K).
- Decreased the pH.
- Increased all the variables related to the organic reserve factor: the oxidizable organic carbon, the total organic carbon, the equivalent carbonates, the total glomalin, the easily extracted glomalin, and the parameters related to the generated vegetal biomass.
- Allowed the increase in the carbon sequestration because the mineralization coefficient has decreased.

The BEAM, CM and BEAM+CM treatments have:

- Ameliorated the soil's microbiome of cereals and vineyard soils.
- Regarding the **experimental field sampling**, the BEAM, CM, and BEAM + CM treatments have allowed to:

- Increase the oxidizable organic carbon and the microaggregates stability (0.25-2 mm)

The other analysed variables have not shown significant differences concerning the treatment factor.

However, they have shown differences in the time factor:

- It has increased the pH, the oxidizable organic carbon, and the WSA_{0.25-2}.
- It has decreased the electrical conductivity, the total organic carbon, and the easily extracted glomalin.

The application of these organic composts has ameliorated the functionality of the different studied agricultural soils. Moreover, they have increased the soil's carbon sequestration.

8. Aspectes ètics i de sostenibilitat

Aquest treball està estretament lligat a la sostenibilitat ja que pretén trobar esmenes que permetin millorar les qualitats dels sòls que són uns elements molt importants en quant a la mitigació del canvi climàtic i la proporció d'importants serveis ecosistèmics.

Referent als criteris ètics, s'ha tingut en compte el codi de bones pràctiques que constitueix un conjunt de pautes d'actuació i compromisos sobre la realització de les activitats de recerca (UAB, 2020). S'ha complert amb l'honestat de tots els resultats obtinguts així com amb els drets de propietat intel·lectual dels articles consultats per a la redacció de la memòria.

9. Bibliografía

- Alef, K., Nannipieri, P. (1998). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. (2a ed.). San Diego: *Academic Press*.
- Amelung, W., Bossio, D., de Vries, W., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Amundson, R., Bol, R., Collins, C., Lal, R., Leifeld, J., Minasny, B., Pan, G., Paustian, K., Rumpel, C., Sanderman, J., van Groenigen, J. W., Mooney, S., van Wesemael, B., Wander, M. & Chabbi, A. (2020). Towards a global-scale soil climate mitigation strategy. In *Nature Communications* (Vol. 11, Issue 1). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18887-7>
- Amundson, R. & Biardeau, L. (2018). Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(46), 11652–11656. <https://doi.org/10.1073/pnas.1815901115>
- Arif, I., Batool, M. & Schenk, P. M. (2020). Plant Microbiome Engineering: Expected Benefits for Improved Crop Growth and Resilience. In *Trends in Biotechnology* (Vol. 38, Issue 12, pp. 1385–1396). Elsevier Ltd.
- Baligar, V. C., & Fageria, N. K. (2007). Agronomy and physiology of tropical cover crops. *Journal of Plant Nutrition*, 30(8), 1287-1339.
- Berg B, McLaugherty C (2014) *Plant Litter*. Third Edition. Verlag Berlin Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642-38821-7
- Brady, N., Weil, R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. (14a ed.). Kendallville: *Pearson International Edition*.
- Brevik, E. C. (2012). Soils and Climate Change: Gas Fluxes and Soil Processes. *Soil Horizons*, 53(4), 12. <https://doi.org/10.2136/sh12-04-0012>
- California State University (2022). Dr. David Johnson's Research on Fungal-Dominated Compost and Carbon Sequestration. [WWW document]. URL. <https://www.csuchico.edu/regenerativeagriculture/bioreactor/david-johnson.shtml#BEAM>
Consultat: 23 de maig de 2022
- Cobertera, E. (1993). *Edagología aplicada: suelos, producción agraria, planificación territorial e impactos ambientales*. Madrid.
- Dabney, S. M., Delgado, J. A., & Reeves, D. W. (2001). Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7-8), 1221-1250.
- da C Jesus, E., Marsh, T. L., Tiedje, J. M., & de S Moreira, F. M. (2009). Changes in land use alter the structure of bacterial communities in Western Amazon soils. *The ISME journal*, 3(9), 1004-1011.

- Emran, M., Gispert, M., & Pardini, G. (2012). Comparing measurements methods of carbon dioxide fluxes in a soil sequence under land use and cover change in North Eastern Spain. *Geoderma*, 170, 176-185.
- European Environment Agency. (2019). The European environment - state and outlook 2020: Knowledge for transition to a sustainable Europe. Chapter 5: Land and soil. European Environment. <https://doi.org/10.2800/96749>.
- European Union. (2020). *Farm to Fork Strategy 2*.
- FAO and ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy
- FAO. (2020). Recarbonización de los suelos del mundo. Extret de: <https://www.fao.org/publications/card/fr/c/CA6522ES/>
- Giovannini, L., Palla, M., Agnolucci, M., Avio, L., Sbrana, C., Turrini, A., Giovannetti, M. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Associated Microbiota as Plant Biostimulants: Research Strategies for the Selection of the Best Performing Inocula. *Agronomy*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy10010106>
- 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.
- Gomiero, T., Pimentel, D. & Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. Organic agriculture. In *Critical Reviews in Plant Sciences* (Vol. 30, Issues 1–2, pp. 95–124). <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>
- Hayes, M. H. B., Mylotte, R. & Swift, R. S. (2017). Humin: Its Composition and Importance in Soil Organic Matter. In *Advances in Agronomy* (Vol. 143, pp. 47–138). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.01.001>
- Holátko, J., Brtnický, M., Kučerík, J., Kotianová, M., Elbl, J., Kintl, A., Kynický, J., Benada, O., Datta, R. & Jansa, J. (2021). Glomalin – Truths, myths, and the future of this elusive soil glycoprotein. In *Soil Biology and Biochemistry* (Vol. 153). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108116>
- Huang, Y. M., Wu, Q. S., & Li, Y. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi alter plant growth, soil aggregate stability, and rhizospheric organic carbon pools of citrus. In *Advanced Materials Research* (Vol. 610, pp. 3063-3066). Trans Tech Publications Ltd.
- ISRIC (2002). Procedures for soil analysis: Van Reeuwijk, L.P. Editor. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands. Sixth Edition.

- IUSS Working Group WRB. (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Kastner, R. (2016). Hope for the future: How farmers can reverse climate change. *Socialism and Democracy*, 30(2), 154–170. <https://doi.org/10.1080/08854300.2016.1195610>
- 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 nº9. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, USA.
- LaCanne, C. E. & Lundgren, J. G. (2018). Regenerative agriculture: Merging farming and natural resource conservation profitably. *PeerJ*, 2018(2). <https://doi.org/10.7717/peerj.4428>
- Lal, R. (2004a). *Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security*. <http://science.sciencemag.org/>
- Lal, R. (2004b). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. In *Geoderma* (Vol. 123, Issues 1–2, pp. 1–22). <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
- Lal, R. (2008). Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbon pools. *Energy and Environmental Science*, 1(1), 86–100. <https://doi.org/10.1039/b809492f>
- MSC250M – Mapa de sòl de Catalunya: escala 1:250.000 (2019) Institut Cartogràfic i geològic de Catalunya – Departament d’agricultura, ramaderia, Pesca i Alimentació, Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- Ontl, T. A. & Schutle, L. A. (2012). *Soil carbon storage Climate Change Response Framework View project Carbon Trends and Management View project*. <https://www.researchgate.net/publication/313189912>
- 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 and Environment* 72, 215–225.
- Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P. & van der Putten, W. H. (2013). Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 11, Issue 11, pp. 789–799). <https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>
- Polláková, N., Šimanský, V., & Kravka, M. (2018). The influence of soil organic matter fractions on aggregates stabilization in agricultural and forest soils of selected Slovak and Czech hilly lands. *Journal of Soils and Sediments*, 18(8), 2790-2800.

- Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R.M. (2009). *Introducció a l'Edafologia. Ús i protecció de sòls*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Rumpel, C., Amiraslani, F., Chenu, C., Garcia Cardenas, M., Kaonga, M., Koutika, L. S., Ladha, J., Madari, B., Shirato, Y., Smith, P., Soudi, B., Soussana, J. F., Whitehead, D. & Wollenberg, E. (2020). The 4p1000 initiative: Opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy. *Ambio*, 49(1), 350–360. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01165-2>
- Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., le Quéré, C., Myneni, R., Piao, S., Thornton, P., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., ... Brovkin Germany, V. (2013). *6SM: Carbon and Other Biogeochemical Cycles Supplementary Material*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Coordinating Lead Authors: Lead Authors: Contributing Authors*. Peter.
- Schjøning, et al., (2015). 'Soil compaction', in: Soil threats in Europe: status, methods, drivers and effects on ecosystem services. A review report, deliverable 2.1 of the RECARE project, JRC Technical Report, Joint Research Centre, pp. 92-101
- Schreefel, L., Schulte, R. P. O., de Boer, I. J. M., Schrijver, A. P. & van Zanten, H. H. E. (2020). Regenerative agriculture – the soil is the base. *Global Food Security*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100404>
- Siedt, M., Schäffer, A., Smith, K. E. C., Nabel, M., Roß-Nickoll, M. & van Dongen, J. T. (2021). Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. In *Science of the Total Environment* (Vol. 751). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141607>
- Stolte, J., et al., 2016, Soil threats in Europe: status, methods, drivers and effects on ecosystem services. A review report, deliverable 2.1 of the RECARE project, JRC Technical Report [WWW document]. URL. https://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/doc_pub/EUR27607.pdf Consultat: 29 de maig 2022
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T. & Singh, B. K. (2020). Plant–microbiome interactions: from community assembly to plant health. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 18, Issue 11, pp. 607–621). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>

- UAB (2020). Codi de bones pràctiques en la recerca. Extret de: https://www.uab.cat/doc/DOC_CBP
- UNEP. (2020). The emissions Gap Report 2020 [WWW Document]. URL. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020> Consultat: 29 de maig 2022
- United Nations. (2015). Paris Agreement [WWW Document]. URL. https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf. Consultat: 29 de maig 2022
- Villar, P.M., Arán, M.m. (2008). Guia d'interpretació d'anàlisis de sòls i plantes. Lleida.
- Vlček, V. & Pohanka, M. (2020). Glomalin – an interesting protein part of the soil organic matter. *Soil and Water Research*, 15(2), 67–74. <https://doi.org/10.17221/29/2019-SWR>
- Witte, W. (2013). Die Mikrobielle Carbonisierung (Teil 1): Das ist Humus, so sieht er aus.... In Witte-Bio-Consult, Quedlinburg.
- Wonschik, C. (2017): Mikrobielle Carbonisierung - Untersuchung und Bewertung von Verfahren und Produkt.
- Wright, S., Upadhyaya, A. (1996). Extraction of and Abundant and Unusual Protein from Soil and Comparison with Hyphal Protein of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Soil Science*. Vol. 161, 575-586.