



L'AGRICULTURA, UNA EINA PER MITIGAR EL CANVI CLIMÀTIC

**LA INFLUÈNCIA DE LES PRÀCTIQUES AGRÍCOLES
EN LA CAPTACIÓ DE CARBONI ORGÀNIC**

Atercus

Curs 2018-2019

AGRAÏMENTS

Aquest treball no hauria estat possible sense el suport d'una sèrie de persones que m'han ajudat durant tot el procés d'elaboració del treball, és per això que vull donar les gràcies a:

La professora i tutora del treball de recerca que m'ha donat suport i m'ha ajudat en la revisió i edició dels continguts del treball.

El tutor de l'itinerari que m'ha proporcionat una gran quantitat de coneixements, m'ha recolzat i m'ha fet un seguiment de la recerca i també m'ha obert les portes del món universitari i de la recerca científica i m'ha permès introduir-me en un equip de recerca universitari.

Tot l'equip del laboratori, per la seva ajuda en diferents aspectes del treball.

La meua família, pel seu suport i dedicació durant tot el procés que he seguit per dur a terme el treball.

RESUM

L'activitat humana és una de les causants de l'increment de la concentració dels gasos d'efecte hivernacle, que està provocant un escalfament global. La captació de carboni als sòls agrícoles, pot ser una eina per mitigar el canvi climàtic. Per això, les pràctiques agrícoles que maximitzen la captació de carboni poden ajudar a aturar l'escalfament global i totes les conseqüències que tindrà aquest si no s'atura a temps.

L'objectiu d'aquest treball és quantificar la quantitat de carboni orgànic fixat als sòls agrícoles segons les diverses pràctiques de maneig del sòl i tipus i dosis de fertilització nitrogenada en agrosistemes cerealistes de secà semiàrid, i així veure quines són les pràctiques que afavoreixen la fixació de carboni orgànic i per tant ajuden en la mitigació del canvi climàtic. Per això aquest treball es va centrar en valorar la possible fixació de C en el cultiu de l'ordi de secà i per això es va utilitzar un camp experimental d'ordi de secà, a la localitat de Senés de Alcubierre, zona del centre de la vall de l'Ebre. Per valorar la fixació de C de les pràctiques agrícoles es van comparar dos sistemes de maneig del sòl (sembra directa i maneig intensiu) i dos tipus de fertilitzant (mineral, Min i orgànic, Org) amb tres dosis (0, 75 i 150 kg N ha⁻¹).

Els resultats de l'estudi van mostrar que: Segons el sistema de maneig hem pogut observar que la sembra directa és el sistema que aconsegueix captar carboni i que el maneig intensiu no aconsegueix retenir carboni sinó que en perd. Segons el tipus de fertilització nitrogenada hem pogut observar que la fertilització orgànica reté carboni i la fertilització mineral no. Pel que fa a les dosis de fertilització nitrogenada, com més alta és la dosis més carboni orgànic es fixa al sòl, i conseqüentment, com més baixa és més en perd.

Paraules claus: fixació de carboni, captació de carboni, carboni orgànic, sistemes de maneig, fertilització nitrogenada, sembra directa, maneig intensiu, fertilització orgànica i fertilització mineral.

ABSTRACT

Human activity is one of the causes of the increase in the concentration of greenhouse gases, which is causing global warming. The capture of carbon in agricultural soils can be a tool to mitigate climate change. For this reason, agricultural practices that maximize carbon capture can help stop global warming and all the consequences that this will have if it does not stop in time.

The objective of this work is to quantify the amount of organic carbon fixed to the agricultural soils according to the different practices of soil management and the type and dose of nitrogen fertilization in semi-arid dry land cereal agrosystems, and thus see what practices favor the Fixing organic carbon and thus helping to mitigate climate change. For this reason, this work focused on assessing the possible fixation of C in the cultivation of barley and that is why an experimental barley field was used, in the town of Senés de Alcubierre, area of the center of the valley of the Ebro. To evaluate the C fixation of agricultural practices, two soil management systems (direct sowing and intensive management) and two types of fertilizer (mineral, Min and organic, Org) were compared with three doses (0, 75 and 150 kg N ha⁻¹).

The results of the study showed that according to the management system, it was observed that direct seeding is the system that manages to capture carbon and that intensive management does not manage to retain carbon but loses it. Depending on the type of nitrogen fertilization we have observed that organic fertilization retains carbon and non-mineral fertilization. Regarding the doses of nitrogen fertilization, the higher the dose the more organic carbon is fixed to the ground, and consequently, the lower the more it loses.

Key words: carbon fixation, carbon capture, organic carbon, handling systems, nitrogen fertilization, direct sowing, intensive handling, organic fertilization and mineral fertilization.

PRESENTACIÓ

A l'hora d'escollir el treball no tenia massa clar que era el que volia fer, però tenia preferència per que el treball fos del seminari de biologia. Inicialment vaig proposar un tema de treball nou relacionat amb la producció vegetal en medi hídric però abans d'acabar de valorar-ho vaig tenir la sort de que se'm proposés participar en el projecte *ITINERA* de la UdL, que et dona l'opció de rebre assessorament des de la universitat per al teu treball.

Dins del projecte *ITINERA* hi havia una gran varietat de propostes de treball per triar, ràpidament em vaig decantar per la branca de ciències, concretament per dos temes dins de l'àmbit agrari. Finalment em vaig decidir pel tema escollit perquè trobava interessant la relació amb el tema del canvi climàtic dins de l'agricultura i creia que em podria agradar, a més a més, em permetia endinsar-me en el món universitari i rebre la tutorització d'un professor de la universitat, i perquè no, ajudar-me a verificar si aquest podria ser el camp al que voldria dedicar-me en un futur.

Una vegada se'm va assignar el tema i el tutor de la universitat, em vaig reunir amb els dos tutors per poder concretar un seguit d'aspectes sobre el meu treball, com ara: tenir molt clar que seguiria el mètode científic, i que per tant havia de definir una hipòtesis, explicar-me el disseny experimental que utilitzaria en el meu treball, definir les dates en les que assistiria a la universitat, en general, definir el pla de treball.

Actualment un dels problemes més importants al que s'enfronta la humanitat és l'escalfament global que està patint el planeta Terra. Aquest s'està produint a nivells globals i està estretament lligat amb l'increment de la concentració de gasos d'efecte hivernacle (GEH) i l'impacte que aquests causen. Les activitats humanes són les principals causants d'aquest increment de concentracions de gasos, especialment del CO₂ un dels principals gasos emesos per les activitats humanes.

Les activitats humanes estan relacionades de manera directa o indirecta amb l'emissió dels GEH, i una d'aquestes activitats és sens dubte l'agricultura, l'activitat primària per excel·lència.

L'agricultura emet una gran varietat de gasos però els principals són el CH₄, el N₂O i el CO₂, l'emissió de GEH per part de l'agricultura suposa un 20% del total de la emissió per l'activitat antròpica. Així doncs, l'agricultura també és responsable de l'increment de l'efecte hivernacle i de l'escalfament global, per tant és molt necessari

buscar solucions per mitigar l'escalfament global dins de la mateixa agricultura. Això es pot fer buscant mètodes més efectius i tècniques, com és la fixació de carboni als sòls.

Així doncs vaig partir de la següent hipòtesis:

- **“Potser les diferents pràctiques agrícoles influeixen la fixació de C en els sòls agrícoles.”**

Al llarg de l'elaboració del treball, vaig formular diferents hipòtesis lligades amb els factors que estudiava.

- **“Potser la reducció de maneig del sòl implica un augment de la fixació de C en els sòls agrícoles.”**
- **“Potser la fertilització orgànica augmenta la quantitat de C fixat als sòls.”**
- **“Potser com més altes siguin les dosis de fertilitzant orgànic més C és fixat als sòls.”**

Per corroborar o invalidar les diferents hipòtesis l'objectiu del treball ha consistit en quantificar la fixació de carboni orgànic segons les diferents pràctiques agrícoles aplicades, és a dir segons els factors del disseny experimental.

He estructurat el treball en set grans blocs.

- El primer bloc és el de la introducció general, on s'hi troba la part teòrica dividida en 6 subapartats on explico els següents temes: L'escalfament global, l'atmosfera i els gasos d'efecte hivernacle, la contribució de l'agricultura en l'escalfament global, els tipus de cultius, la fixació de carboni als sòls agrícoles i per últim els objectius i l'estudi on enllaço la part teòrica amb el treball de camp.
- El segon bloc és el treball de camp. Dins d'aquest explico les característiques de la zona on s'ha dut a terme l'estudi i el disseny experimental que s'ha seguit.
- Al tercer bloc hi ha els resultats obtinguts representats amb figures, i es comparen els diferents resultats obtinguts segons els factors aplicats. S'interpreten els resultats del contingut inicial de carboni orgànic 2010, el contingut final de carboni orgànic 2017, la diferència de contingut de carboni orgànic 2017-2010 i la taxa de captació de carboni orgànic per any.

- Al quart bloc hi trobem la discussió, on s'interpreten els resultats i es raona el perquè d'aquests, explicant perquè cada factor té l'efecte que té sobre el resultat obtingut.
- Al cinquè bloc hi ha les conclusions del treball, on explico les idees més importants del treball, en faig una valoració crítica i exposo les idees que es poden proposar a partir del meu treball.
- El sisè bloc conté la bibliografia i webgrafia.

La informació que he fet servir pel treball l'he obtingut majoritàriament de les referències bibliogràfiques que m'havien proporcionat els meus tutors, tot i que també he extret informació d'internet.

Les dificultats principals que m'han sorgit a la part teòrica ha estat trobar algunes definicions en concret ja que tot i ser un tema molt popular hi ha bastants coses que no estan del tot clares. També m'ha suposat un esforç bastant gran llegir les diferents referències que tenia en anglès, però finalment n'he pogut extreure informació molt útil. Finalment pel que fa a la part teòrica, m'ha costat sintetitzar tota la informació i intentar no repetir-me.

En la part pràctica no he tingut problemes, ja que el disseny experimental que he seguit ja estava plantejat des del departament, i jo només he hagut de fer les determinacions del carboni al laboratori i entendre com funcionava el disseny experimental.

En general no he tingut grans problemes per dur a terme el treball, i tots els dubtes que he tingut han estat resolts per l'equip de gent de la universitat o bé pels tutors o família.

El treball el vaig començar a principis d'estiu, quan vaig començar a llegir algunes de les referències. Durant la primera quinzena de juliol vaig assistir a la universitat on vaig poder entendre com funcionava el disseny experimental, que era concretament el que jo havia de fer i obtenir les dades necessàries per poder fer el treball. La resta de temps he estat treballant en la redacció del treball.

ÍNDIX

1.INTRODUCCIÓ GENERAL	16
1.1.ESCALFAMENT GLOBAL	16
1.1.1. Factors astronòmics	16
1.1.2. Factors geològics	17
1.1.3. Causes de l'escalfament global.....	18
1.1.4. Efectes de l'escalfament global, Com afrontar-los.....	18
1.2. L'ATMOSFERA I ELS GASOS D'EFECTE HIVERNACLE	20
1.2.1. Definició i precedents	20
1.2.2. Classificació	20
1.2.3. Funcions de l'atmosfera	21
1.2.4. Composició de l'atmosfera	22
1.2.5. L'efecte hivernacle.....	22
1.2.6. Tipus de gasos	23
1.2.7. Potencial d'escalfament global	24
1.3. CONTRIBUCIÓ DE L'AGRICULTURA EN L'ESCALFAMENT GLOBAL	26
1.3.1. Problemàtica dels sistemes de producció agrícola.....	26
1.3.2. Contribució de l'agricultura a l'escalfament global.....	27
1.3.3. Gasos procedents dels cicles del carboni i el nitrogen	28
1.4.TIPUS DE CULTIUS	30
1.4.1. Sistemes de producció.	30
1.5. FIXACIÓ DE CARBONI ALS SÒLS AGRÍCOLES	37
1.5.1. El carboni en els sòls agrícoles	37
1.5.2. Com es fixa el carboni en els sòls	38
1.6. OBJECTIUS I ESTUDI.....	39

2.TREBALL DE CAMP	40
2.1. MATERIALS I MÈTODES	40
2.1.1. Localització.....	40
2.1.2. Climàtica de la zona	40
2.1.3. Geologia i litografia de la zona	41
2.1.4. Característiques del sistema agrícola.....	42
2.2. DISSENY EXPERIMENTAL.....	43
2.2.1. Com s'ha dut a terme el disseny experimental?	43
2.2.2. Operacions de cultiu.....	44
2.2.3. Medició de les variables	45
3. RESULTATS	49
3.1.CONTINGUT INICIAL DE C orgànic 2010	49
3.2.CONTINGUT FINAL DE C orgànic 2017	50
3.3.DIFERÈNCIA DE C orgànic 2017-2010	52
3.4. TAXA DE CAPTACIÓ de CARBONI ORGÀNIC AL SÒL	53
4. DISCUSSIÓ	56
5. CONCLUSIONS.....	57
6. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA	59
ANNEX	61
1. PRINCIPALS FÓRMULES UTILITZADES:	61
1.1. Càlcul de contingut de Carboni orgànic (%)	61
1.2. Càlcul de contingut de matèria orgànica (%).....	61
1.3. Càlcul contingut de Carboni orgànic en el sòl.	61
2. FITXA DE LABORATORI PER A LA DETERMINACIÓ DEL CARBONI ORGÀNIC DEL SÒL	63
Procediment	63
Precaucions a tenir en compte:	65

Resum del procediment:.....	65
Problemes que poden sorgir durant la determinació.	66
Reactius	67
Material a preparar per la determinació.....	68
3. TRACTAMENT DE DADES OBTINGUDES.....	69
3.1. CONTINGUT DE CARBONI ORGÀNIC INICIAL (2010)	69
3.2. CONTINGUT DE CARBONI ORGÀNIC FINAL (2017).....	70
3.3. DIFERÈNCIA CAPTACIÓ DE CARBONI ORGÀNIC (2017-2010)	71
3.4. TAXA CAPTACIÓ de CARBONI ORGÀNIC AL SÒL	72

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Principals gasos d'efecte hivernacle, el seu GWP (expressat al gràfic com PCG), l'activitat humana que els generen, els anys de persistència en l'atmosfera i la seva concentració en l'època preindustrial i la seva concentració l'any 1998 (després de l'època preindustrial). (Principales Gases de Efecto Invernadero, n.d.)	25
Taula 2. Cicle de producció del cereal d'hivern en secà mitjançant maneig intensiu (Cantero-Martínez & Geniz, 2012, p. 50).....	33
Taula 3. Cicle de producció del cereal d'hivern en secà mitjançant maneig superficial. (Cantero-Martínez & Geniz, 2012, p. 50).....	33
Taula 4. Cicle de producció del cereal d'hivern en secà mitjançant sembra directa. (Cantero-Martínez & Geniz, 2012, p. 51).....	34
Taula 5. Principals característiques edafoclimàtiques de l'assaig experimental. Es va considerar una profunditat de 0-30 cm per a la determinació de les propietats del sòl. (Plaza-Bonilla)	41
Taula 6. Tractament de maneig i fertilització nitrogenada avaluats. Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu. Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha ⁻¹), 75 Min= fertilització mineral (75 kg N ha ⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha ⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha ⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha ⁻¹).	44

ÍNDIX DE FIGURES

- Figura 1.** Chissel, maquinaria utilitzada per practicar un trencament del sòl i oxigenar el sòl. (Font: Èlia Capdevila)..... 35
- Figura 2.** Subsolador, maquinaria utilitzada per practicar un trencament en el sòl i oxigenar la terra. (Font: Èlia Capdevila) 35
- Figura 3.** Fresadora, maquinaria utilitzada per deixar la terra fina, preparada per sembrar. (Font: Èlia Capdevila) 36
- Figura 4.** Mapa de la Vall de l'Ebre central amb la localització de l'estudi (Serrano, 2003) 40
- Figura 5.** Fotografia del procés de mòlta i tamisat. (Font: Naima, TFM) 46
- Figura 6.** Mostres en els Erlenmeyers abans de la determinació del carboni orgànic. (Font: Èlia Capdevila) 47
- Figura 7.** Mostres juntament amb els reactius en la campana extractora de gasos. (Font: Èlia Capdevila) 48
- Figura 8.** Contingut inicial (2010) de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de maneig en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu..... 49
- Figura 9.** Contingut inicial (2010) de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de fertilització nitrogenada en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha⁻¹), 75 Min= fertilització mineral (75 kg N ha⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha⁻¹). 50
- Figura 10.** Contingut final (2017) de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de maneig en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu..... 51
- Figura 11.** Contingut final (2017) de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de fertilització nitrogenada en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha⁻¹), 75 Min= fertilització mineral (75 kg N ha⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha⁻¹). 51
- Figura 12.** Diferència (2017-2010) de contingut de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de maneig en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu..... 52
- Figura 13.** Diferència (2017-2010) de contingut de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de fertilització nitrogenada en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha⁻¹), 75 Min= fertilització mineral

(75 kg N ha⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha⁻¹)..... 53

Figura 14. Taxa de captació carboni orgànic en el sòl segons el sistema de maneig en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹ any⁻¹). Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu..... 54

Figura 15. Taxa de captació carboni orgànic en el sòl segons el sistema de fertilització nitrogenada en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha⁻¹), 75 Min= fertilització mineral (75 kg N ha⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha⁻¹). 55

ÍNDIX D'IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1. Representació simplificada del cicle del carboni. (Rice, 2005)	29
---------------------------------------------------------------------------------------------	----

ÍNDEX D'ABREVIACIONS

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

ITPS: Intergovernmental Technical Panel on Soils

GSP: Global Soil Partnership

SOC: carboni orgànic del sòl

MOS: matèria orgànica del sòl

WMO: World Meteorological Organization

IPCC: The Intergovernmental Panel on Climate Change

Min: Mineral

Org: Orgànic

LI: Maneig Intensiu

SD: Sembra directa

CO₂: diòxid de carboni

GHG: greenhouse gases (gasos d'efecte hivernacle).

CH₄: metà

N₂O: òxid dinítric

CFC: clorofluorocarburs

SF₆: hexà fluorur de sofre

PFC: prefluorocarburs

HFC: hidrofluorocarburs

GEH: gasos d'efecte hivernacle

1.INTRODUCCIÓ GENERAL

1.1.ESCALFAMENT GLOBAL

L'escalfament global és actualment i probablement el problema ambiental més important del segle XXI. Pel que s'ha anat veient durant les últimes dècades, suposa un increment progressiu de la temperatura mitjana de la Terra i un canvi profund en els cicles de la naturalesa, el que provoca un seguit d'alteracions molt importants en el nostre planeta, en el clima i en fenòmens meteorològics.

L'efecte hivernacle consisteix en la retenció a l'atmosfera d'una part de la calor que emet la superfície terrestre després que aquesta s'hagi escalfat per l'acció de la radiació solar i hagi retardat l'alliberament de l'energia tèrmica cap a l'espai exterior, aquest fenomen té un paper clau en les temperatures que s'observen a la Terra. Sense l'efecte hivernacle la temperatura de la Terra tindria un valor de -27°C , i per tant seria inhabitable.

Els gasos responsables d'aquest efecte són els que estan formats per molècules de tres àtoms o més: CO_2 , CH_4 , O_3 i vapor d'aigua, principalment.

L'escalfament global va lligat a l'increment del CO_2 atmosfèric, això fa que freqüentment s'usin indistintament els dos termes erròniament ja que, un descriu el fenomen de l'increment de temperatura recent (escalfament global) i l'altre es refereix al mecanisme que el causa (efecte hivernacle).

Un excés d'efecte hivernacle implica un gran augment de la temperatura, és a dir produeix l'escalfament global.

1.1.1. FACTORS ASTRONÒMICS

La temperatura mitjana actual de la Terra és d'uns 15°C , però podria variar degut a determinats factors naturals com per exemple:

Els **factors astronòmics**, que provoquen canvis en la quantitat d'energia solar incident:

- Les alineacions planetàries que poden generar alteracions en l'òrbita de la Terra.
- Els cicles d'activitat solar, que són la variació de les taques que presenta el Sol a la superfície que indiquen major activitat solar i per tant l'emissió de més energia.
- Els cicles orbitals terrestres, que indiquen una variació de l'òrbita de la Terra al voltant del Sol i els canvis en la inclinació de l'eix de rotació terrestre.
- L'impacte de meteorits, que provoquen refredaments sobtats i breus del clima terrestre, a causa de la immensa quantitat de pols en suspensió que queda en l'atmosfera.

1.1.2. FACTORS GEOLÒGICS

Els **factors geològics**, que provoquen canvis en la quantitat d'energia incident sobre la superfície terrestre o en la seva distribució són:

- Posició de terres emergides, la presència de gran àrees de terra emergida incrementa les oscil·lacions tèrmiques i l'aridesa.
- Erupcions volcàniques catastròfiques, degut a les cendres en suspensió resultants de l'erupció és produeix un refredament a causa de la menor energia incident, però un cop aquestes partícules s'han dipositat es produeix un escalfament degut a l'increment de l'efecte hivernacle provocat per les grans quantitats de gasos alliberats.
- Canvis en la intensitat i polaritat del camp magnètic terrestre, actualment en recerca però es creu que, com més dèbil és el camp magnètic, més fred és el clima global ja que hi ha menys intercepció de raigs còsmics, que bloquegen part de la radiació solar.

El **sistema climàtic** és molt complex i està constituït per cinc subsistemes o components naturals, entre els quals hi ha fluxos d'energia i matèria, que són: la atmosfera, la hidrosfera, la litosfera, la biosfera i la criosfera. Però des de l'última dècada del segle XX té sentit afegir un *sisè subsistema*, *el sistema socioeconòmic humà* ja que aquest interacciona i altera els altres subsistemes.

1.1.3. CAUSES DE L'ESCALFAMENT GLOBAL

Activitats antròpiques¹

Les accions del sistema socioeconòmic humà influeix de manera directa i indirecta en que hi hagi un canvi o un impacte en la normalitat del sistema Terra. Aquest impacte és provocat per la gran quantitat de gasos emesos que provoquen un excés de l'efecte hivernacle, i que contribueixen a l'escalfament global.

Qualsevol activitat humana sobre el medi o l'ús de qualsevol tecnologia i consum genera emissió de gasos i per tant contribueix en l'escalfament global.

Causes naturals

Algunes d'aquestes són:

Els processos cíclics que naturalment té el Sol, com les irregulars emissions solars que emeten una gran quantitat d'energia.

La humitat atmosfèrica i el seu poder de captació de raigs infrarojos que pot produir un augment de les temperatures.

L'augment de temperatures dels oceans causat per l'activitat volcànica.

Hi ha teories i opinions que afirmen que les activitats antròpiques no tenen el poder suficient per influenciar en un canvi com la resta de factors.

1.1.4. EFECTES DE L'ESCALFAMENT GLOBAL. COM AFRONTAR-LOS

Les causes de l'escalfament global han portat a generar un debat sobre les maneres d'afrontar i solucionar els efectes que provoca. Es presenten dues maneres diferents d'afrontar el problema i els canvis que plantejarà.

- Una és l'adaptació als canvis que produeixi l'escalfament global buscant i creant noves tecnologies que ens permetin conviure amb els canvis i poder seguir vivint a la Terra. Això implicaria també el desenvolupament de noves espècies de vegetals que s'adaptessin als increments de temperatura i altres condicions que poguessin variar a causa del canvi climàtic.

¹ Qualsevol acció o intervenció realitzada per l'ésser humà sobre la Terra. Són activitats antròpiques: la desforestació, la pesca, l'agricultura, les emissions de gasos a l'atmosfera.

- L'altra postura seria la **mitigació**², que pretén utilitzar diferents tècniques per absorbir els gasos que el provoquen i així impedir l'increment de l'escalfament global reduint les concentracions atmosfèriques de determinats gasos.

Cal destacar el treball que s'ha dut a terme en els darrers anys tant en el treball d'investigació com de desenvolupament per prevenir la pujada de temperatures i aconseguir cert retrocés en l'escalfament global.

La conscienciació s'ha fet, gràcies a associacions no governamentals, científics de renom i alguns governs. Ha estat molt important guiar l'opinió pública i conscienciar a la gent de tots els efectes desastrosos que poden tenir les activitats humanes, fomentant així una postura més respectuosa amb el medi ambient i adoptant una actitud diferent respecte el que ens envolta.

També ha ajudat a la conscienciació pública els diferents acords mundials per lluitar contra l'escalfament global com ara el protocol de Kyoto (1997) o la Conferència de París sobre el Canvi Climàtic (2015).

Va tenir un paper important la creació per part de la ONU d'un grup intergovernamental d'experts en el canvi climàtic (IPCC)³ que al 2007 van confirmar que la temperatura de l'aire i dels oceans estava augmentant i sostenia que la crema de combustibles fòssils i altres activitats humanes eren les responsables del canvi, fet que va marcar un fet històric ja que convertia el canvi climàtic en un fet irrefutable i de gran importància en la política.

² Entenem com a mitigació totes aquelles accions orientades a reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

³ The Intergovernmental Panel on Climate Change

1.2. L'ATMOSFERA I ELS GASOS D'EFECTE HIVERNACLE

1.2.1. DEFINICIÓ I PRECEDENTS

L'atmosfera és l'embolcall gasós que envolta la Terra que juntament amb la hidrosfera, constitueix el sistema de capes fluides. L'atmosfera terrestre es va formar fa un 4500 milions d'anys, l'origen de l'atmosfera primitiva van ser els gasos procedents de les erupcions volcàniques que es produïen a la superfície del planeta, estava formada per una mescla de gasos de caràcter reductor (H_2O , CO_2 , NH_3 , CH_4 , SH_2 etc...) i no hi havia oxigen, per tant només es podia trobar vida a l'aigua, en forma de bacteris.

Al no haver-hi oxigen tampoc existia la capa d'ozó, que filtra els raigs ultraviolats del Sol, i impedia la supervivència dels organismes fora de l'aigua. Així doncs van aparèixer unes espècies d'algues que feien un procés de fotosíntesi que alliberava oxigen. Després de molts milions d'anys, l'activitat fotosintètica d'aquests organismes va anar canviant la composició de l'atmosfera terrestre fins a transformar-la en la barreja de gasos de caràcter oxidant que podem trobar avui en dia. Cal afegir que part de l'oxigen que es trobava a l'estratosfera va reaccionar en rebre els impactes energètics dels raigs ultraviolats del Sol, i es va formar la capa d'ozó (O_3)

1.2.2. CLASSIFICACIÓ

Segons la composició, es pot distingir:

- *L'hmosfera*, que ocupa el 100 km inferiors i la seva composició és constant.
- *L'heterosfera*, que va des dels 100 km fins al límit superior de l'atmosfera, aquesta està formada per diverses capes amb composicions gasoses diferents.

A més a més, l'atmosfera també es pot dividir en diverses capes que tenen característiques diferents:

- *Troposfera*, és la capa inferior de l'atmosfera, el seu gruix pot variar segons la latitud en que es troba. És on s'hi produeixen la major part dels fenòmens atmosfèrics, i la seva temperatura disminueix progressivament amb l'altura.

- *Estratosfera*, està situada des del límit de la troposfera (tropopausa) fins a uns 60 km, l'aire que conté es manté estratificat i estable. Entre els 30 i 50 km d'altura s'hi troba la capa d'ozó, responsable de la filtració dels raigs ultraviolats del Sol. Les temperatures augmenten progressivament fins assolir valors propers a 0°C.
- *Mesosfera*, està situada entre els 60 i 100 km, la seva temperatura disminueix fins a valors d'uns -90°C.
- *Termosfera* o *ionosfera*, es troba entre els 100 i els 600 km d'altura. Té forts augments de temperatures i grans oscil·lacions tèrmiques entre el dia i la nit. Té importants quantitats d'ions fruit de la forta radiació solar que reben els gasos que la formen. En períodes de màxima activitat solar, la ionització pot ser tant elevada que pot arribar a originar lluminositat, produint aurores boreals o australs.
- *Exosfera*, és l'última capa de l'atmosfera i està formada per gasos amb concentracions molt baixes, el seu límit es troba a 100.000 km d'altura.

1.2.3. FUNCIONS DE L'ATMOSFERA

L'atmosfera desenvolupa diferents funcions molt importants per al planeta, aquestes funcions ajuden a crear un balanç energètic:

- Filtra les radiacions solar que són nocives gràcies a la capa d'ozó (estratosfera), que és capaç d'interceptar prop del 90% dels raigs ultraviolats.
- Evita grans contrastos tèrmics, gràcies a l'efecte hivernacle que, de manera natural, provoquen alguns dels gasos que la formen.
- Impedeix la caiguda de material còsmic, ja que la majoria dels meteorits que són atrets pel camp gravitatori de la Terra es desintegren pel fregament amb els gasos atmosfèrics durant el descens.
- Conté diòxid de carboni (CO₂) necessari pels vegetals per poder fer la fotosíntesi i pel organismes quimiosintètics puguin elaborar matèria orgànica. El CO₂ és la seva font de carboni.
- Completa el cicle de l'aigua, l'aigua evaporada es troba a l'atmosfera i després precipita i torna a l'escorça terrestre.

Gràcies a aquestes funcions l'atmosfera es troba en una situació **d'equilibri tèrmic**, és a dir, rep tanta energia com emet. Al haver-hi un equilibri no hi hauria un escalfament ni un refredament global si no es produís una alteració de l'equilibri.

L'energia que rep prové del Sol. El 72% de l'energia rebuda és absorbida: el 26% per l'atmosfera i el 46 % per la superfície terrestre. La resta de l'energia solar, un 28%, és reflectida per la Terra, aquest valor correspon al fenomen d'albedo⁴.

1.2.4. COMPOSICIÓ DE L'ATMOSFERA

L'atmosfera està formada principalment per gasos compostos com l'Oxigen, el Nitrogen i l'Argó. Les seves proporcions en la composició de l'atmosfera seca són: un 78,08% de Nitrogen, un 20,95% d'Oxigen i un 0,93 d'Argó i la resta són gasos no abundants, és a dir amb proporcions molt petites.

A partir dels gasos que conté l'atmosfera de manera natural, se'n formen d'altres com l'ozó estratosfèric (capa d'ozó) o els gasos d'efecte hivernacle, que ocasionen un impacte en l'atmosfera.

1.2.5. L'EFECTE HIVERNACLE

Els gasos d'efecte hivernacle (GEH) tenen en comú que deixen que la llum que prové del Sol travessi l'atmosfera, però no deixen sortir una part de la radiació infraroja rebotada per la Terra, i aquesta radiació escalfa l'aire.

Certa quantitat de gasos d'efecte hivernacle és beneficiosa ja que sense ells, la temperatura mitjana de la superfície de la terra seria d'uns -18°C, i gràcies a aquests gasos es pot mantenir la superfície terrestre amb una mitjana de 15°C. Tot i això, l'augment de les concentracions dels gasos d'efecte hivernacle produït pels éssers humans en els temps moderns, està elevat la temperatura mitjana de la Terra i generant perillous canvis en el clima.

⁴ el percentatge de radiació que qualsevol superfície reflecteix respecte a la radiació que incideix sobre la mateixa.

Actualment el CO₂ ha adquirit el major protagonisme perquè és el responsable del 80% del total de les emissions de gasos d'efecte hivernacle. Quan es crema combustibles fòssils (petroli, gas natural i carbó) en les nostres cases, automòbils, fàbriques i plantes elèctriques, o quan es produeix ciment, s'allibera CO₂ a l'atmosfera.

1.2.6. TIPUS DE GASOS

Tant el **CO₂**, com el **metà (CH₄)** com l'**òxid nítrós (N₂O)** existeixen a la Terra des d'abans de la nostra presència; la diferència és que actualment hem incrementat la seva concentració a alts nivells.

- El 60% del **metà** que es troba a l'atmosfera es produït pels humans; prové dels abocadors, la ramaderia, la crema de combustibles fòssils, el tractament d'aigües residuals i altres processos industrials.
- Pel que fa a l'**òxid nítrós** hem augmentat un 17% més la concentració d'aquest gas a l'atmosfera, només en el transcurs de la nostra era industrial, a partir dels fertilitzants, els combustibles fòssils i la crema de boscos i residus de les collites.

En canvi un altre grup de **gasos d'efecte hivernacle** són exclusivament **produïts per l'activitat humana**, aquests són els següents: l'**hexaflorur de sofre (SF₆)**, els **perfluorocarburs (PFC)** i els **hidrofluorocarburs (HFC)**. També cal afegir els **clorofluorocarburs (CFC)** però aquests actualment estan *prohibits* perquè les seves emissions destrüïen la capa d'ozó i aquesta estava patint un greu aprimament, també conegut com el forat de la capa d'ozó. Actualment els HFC es fan servir com a substituïts dels CFC en els sistemes de refrigeració. Els PFC i el SF₆ són alliberats a l'atmosfera en activitats industrials com el soldat d'alumini i la fabricació de materials semiconductors (materials per construir la xarxa elèctrica).

Cal afegir el **vapor d'aigua**, aquest és un gas d'efecte hivernacle natural, el seu volum incrementa en les temperatures més altes, augmentant així l'impacte dels gasos d'efecte hivernacle artificials.

1.2.7. POTENCIAL D'ESCALFAMENT GLOBAL

Cada un dels gasos d'efecte hivernacle afecta a l'atmosfera de diferent manera i romanen allí durant un període de temps diferent. Per tenir en compte la contribució de cada gas, existeix un paràmetre denominat **Potencial d'Escalfament Global (GWP, Global Warming Potencial)** que compara el poder d'escalfament d'un volum de gas d'efecte hivernacle amb el poder d'escalfament del mateix volum de CO₂ durant el mateix període de temps, donant-li sempre al CO₂ un valor de 1.

Alguns gasos provoquen molt més escalfament que el CO₂ però desapareixen de l'atmosfera més ràpidament que aquest, pel que poden representar un problema considerable durant un període curt de temps, al contrari, hi poden haver gasos que tinguin una persistència més gran plantejant problemes a llarg període de temps.

Per exemple el GWP del metà durant 100 anys és de 26 i el de l'òxid nítrós de 298, això significa que les emissions d'una tona mètrica de metà o d'òxid nítrós són equivalents a les emissions de 25 i 298 tones mètriques de CO₂ respectivament.

La unitat de mesura utilitzada per indicar el GWP dels gasos d'efecte hivernacle es denomina CO₂ equivalent (CO_{2-eq}). Aquesta unitat és la recomanada pel Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC).

Actualment la nomenclatura utilitzada per IPCC, anomenada IPCC-96, és utilitzada pel Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient per a l'elaboració de l'Inventari de Gasos d'Efecte Hivernacle d'Espanya. Es pot veure el GWP dels principals gasos d'efecte hivernacle, calculat per un període temporal de 100 anys, a la taula següent.

NOMBRE DEL GAS	CONCENTRACIÓN PREINDUSTRIAL (PPMV*)	CONCENTRACIÓN EN 1998 (PPMV)	PERSISTENCIA EN LA ATMÓSFERA (AÑOS)	PRINCIPAL ACTIVIDAD HUMANA QUE LO GENERA	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO PCG**
Dióxido de carbono (CO ₂)	280	365	Variable	Combustibles fósiles, producción de cemento, cambios de uso del suelo	1
Metano (CH ₄)	0,7	1,75	12	Combustibles fósiles, arrozales, vertederos, ganado	21
Óxido nitroso (N ₂ O)	0,27	0,31	114	Fertilizantes, procesos de combustión industriales	310
HFC 23 (CHF ₃)	0	0,000014	250	Electrónica, refrigerantes	12.000
HFC 134 a (CF ₃ CH ₂ F)	0	0,0000075	13,8	Refrigerantes	1.300
HFC 152 a (CH ₃ CHF ₂)	0	0,0000005	1,4	Procesos industriales	120
Tetrafluorometano (CF ₄)	0,0004	0,00008	>50.000	Producción de aluminio	5.700
Hexafluoretano (C ₂ F ₆)	0	0,000003	10.000	Producción de aluminio	11.900
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	0	0,0000042	3.200	Fluidos dieléctricos	22.000

* ppmv= partes por millón en volumen.

** Calculado para un horizonte temporal de 100 años.

Taula 1 Principals gasos d'efecte hivernacle, el seu GWP (expressat al gràfic com PCG), l'activitat humana que els generen, els anys de persistència en l'atmosfera i la seva concentració en l'època preindustrial i la seva concentració l'any 1998 (després de l'època preindustrial). (Principales Gases de Efecto Invernadero, n.d.)

L'increment de les concentracions dels gasos d'efecte hivernacle, també coneguts com GHG (greenhouse gases), produeixen un increment de l'efecte hivernacle però també tenen altres efectes, com la creació de contaminants secundaris (originats per la reacció dels primaris entre si o amb altres substàncies de l'atmosfera) com l'ozó troposfèric.

Els GHG han tingut un fort augment des de l'època preindustrial degut a les activitats humanes realitzades, fet que ha conduït a un increment de l'efecte hivernacle, però també s'ha de tenir present que ja existia un cicle natural que formava aquests gasos i que actualment també forma part del total dels gasos d'efecte hivernacle.

1.3. CONTRIBUCIÓ DE L'AGRICULTURA EN L'ESCALFAMENT GLOBAL

L'agricultura va sorgir al neolític, fa més o menys 9.000 anys. Es pot definir com el conjunt de coneixements i d'activitats que s'ocupen de l'explotació del medi natural, a través del conreu, per obtenir aliments destinats al consum humà, animal o com a matèria primera per a la indústria.

Un sistema agrícola segons la FAO⁵ és un conjunt d'explotacions individuals de recursos bàsics, pautes empresarials, medis familiars de sustentació i limitacions en general similars, els quals correspondrien a estratègies de desenvolupament i intervencions semblants. Segons la capacitat d'un sistema agrícola, es pot arribar a alimentar diferent quantitat de gent.

Els sistemes de producció agrícola són el conjunt d'activitats i tècniques que els humans apliquen, manipulen i modifiquen amb la finalitat de produir béns que li siguin útils.

Tot i els avantatges dels sistemes de producció agrícola per produir aquests béns incloent la producció d'aliments, les activitats i tècniques que s'utilitzen poden generar problemes derivats d'un mal ús de les pràctiques i dels productes utilitzats.

1.3.1. PROBLEMÀTICA DELS SISTEMES DE PRODUCCIÓ AGRÍCOLA

L'agricultura com activitat humana és vital i de gran importància, doncs és l'activitat que produeix els aliments per als éssers humans que utilitzem diàriament. Encara que sigui beneficiosa globalment, l'agricultura genera un seguit de problemes degut al mal ús de pràctiques i productes agrícoles, per exemple, l'ús excessiu d'agroquímics (fertilitzants, herbicides, fungicides i insecticides) que contaminen i destrueixen el medi ambient i poden generar fortes devastacions forestals que trenquen l'equilibri ecològic i impliquen la pèrdua de diversitat ambiental.

Alguns dels problemes més destacats generats pels sistemes de producció agrícola poden ser els següents:

- Esgotament d'aqüífers degut a la sobreexplotació d'aquests, agafant més aigua de la que els hi arriba.

⁵ Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació

- Contaminació dels recursos hídrics com per exemple en l'ús de fertilitzant i fens i el seu impacte en els aquífers, augmentant les concentracions de nitrats.
- Pèrdua de diversitat per l'aplicació d'alguns mètodes, un clar exemple és l'aplicació d'insecticides i herbicides i la destrucció d'insectes i plantes no desitjades pel productor.
- Contaminació de l'aire com les emissions de metà i amoníac produïdes pel bestiar.
- Contribució a l'escalfament global amb les emissions de CO₂ de la combustió i amb les emissions de metà dels cultius d'arròs.

Per tant, és necessari determinar l'abast de l'efecte negatiu i desenvolupar pràctiques, activitats i mecanismes per evitar, dens del possible, aquests problemes de degradació.

1.3.2. CONTRIBUCIÓ DE L'AGRICULTURA A L'ESCALFAMENT GLOBAL

Moltes de les activitats realitzades per al funcionament dels sistemes de producció i el mateix cicle vital de les plantes generen una certa quantitat d'emissió de gasos d'efecte hivernacle o l'augment de la concentració d'aquests.

L'agricultura, sense la intervenció de cap activitat "artificial", emet un 14% del total de gasos d'efecte hivernacle, això és degut als cicles de dos elements molt importants com són el Nitrogen i el Carboni. Quan es tenen en compte les diferents activitats que intervenen en l'agricultura, les emissions dels GHG poden arribar al 30% del total, fet que col·loca l'activitat agrícola com un de les activitats que produeixen més emissions de GHG a escala mundial.

Com ja s'ha dit en l'apartat dels gasos d'efecte hivernacle, els més importants són el diòxid de carboni, el metà, l'òxid de dinitrogen, el vapor d'aigua i l'ozó. D'aquests gasos n'hi ha dos especialment lligats a l'agricultura: el metà i l'òxid de dinitrogen, contribuint en un 25 % i un 78% respectivament.

Així doncs en l'emissió de gasos GHG en l'agricultura es poden distingir en dos fonts diferents: els gasos procedents dels cicles del Carboni i del Nitrogen, presents en el

cicle vital de les plantes, i els gasos procedents d'altres fonts, com poden ser els animals o la combustió de combustibles fòssils.

Els gasos procedents de fonts diferents als cicles del Carboni i del Nitrogen són els següents:

- El metà procedent del bestiar, en la fermentació intestinal i la putrefacció dels excrements.
- L'òxid nítrós, que tot i ser producte del cicle natural del nitrogen es veu incrementat per l'ús de fertilitzants nitrogenats.
- El diòxid de carboni procedent de la combustió en l'ús de maquinària per conrear i en altres activitats relacionades amb l'agricultura.

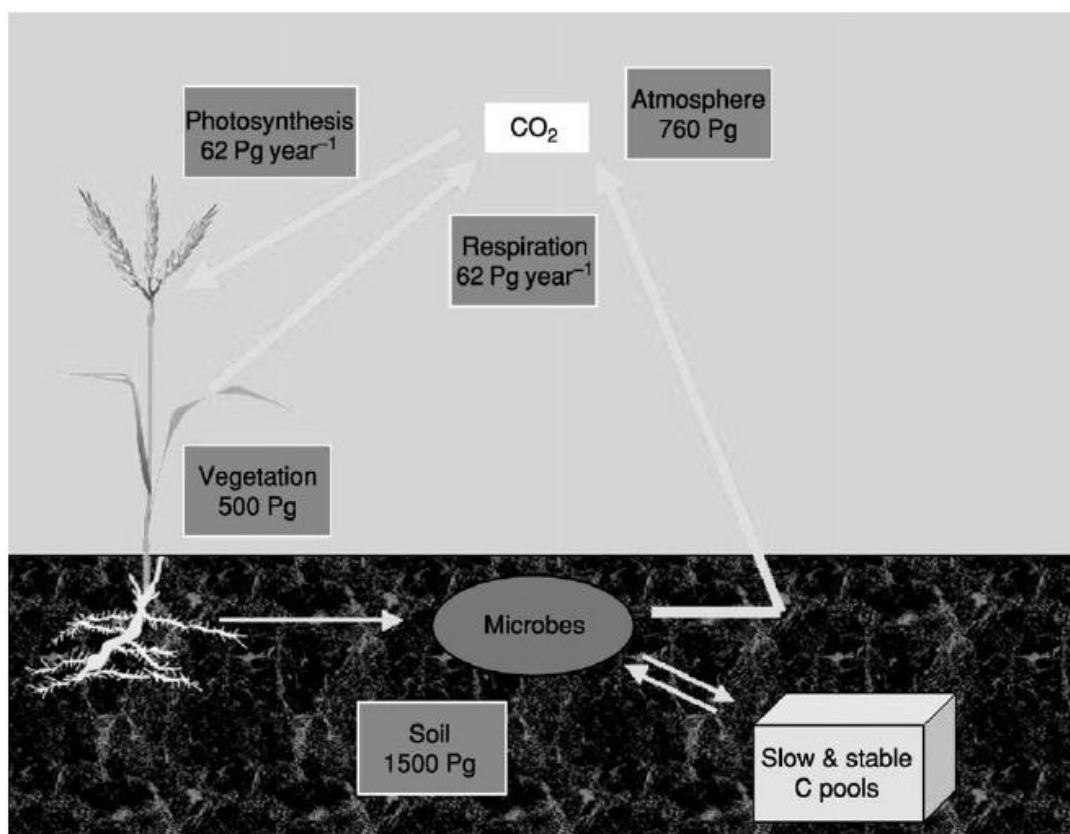
1.3.3. GASOS PROCEDENTS DELS CICLES DEL CARBONI I EL NITROGEN

El **Cicle del carboni** és un constant intercanvi entre els processos de la respiració i la fotosíntesi dels éssers vius.

El C es troba a l'atmosfera en forma de CO_2 i és fixat per la fotosíntesi en els organismes vius. Part d'aquest és retornat a l'atmosfera després del consum d'aliments i mitjançant la respiració dels éssers vius (animals i vegetals) en forma de CO_2 i CH_4 .

Les restes de les plantes van al sòl, i amb ells el C que s'hi acumula i finalment a través de la transformació que es produeix en la respiració dels éssers vius i en l'activitat dels microorganismes, situats als sòls agrícoles, es torna a alliberar CO_2 a l'atmosfera.

Tot i la quantitat de carboni que s'allibera a l'atmosfera, una gran part es queda al sòl, generant abundants reserves de C als sòls terrestres. Determinades pràctiques agrícoles poden afavorir que el C es quedi fixat al sòl o s'alliberi a l'atmosfera.



Il·lustració 1 Representació simplificada del cicle del carboni. (Rice, 2005)

Cicle del nitrogen: el nitrogen és un element necessari per la vida, els éssers vius necessitem el Nitrogen per poder obtenir els aminoàcids (monòmers de les proteïnes) necessaris per sobreviure. El nitrogen diatòmic és fixat, i passa a formar part de compostos com l'amoni, el diòxid de nitrogen o nitrats.

Aquest element només pot ser assimilat per les plantes i per alguns organismes en forma de nitrat i amoníac en menor mesura.

Els organismes autòtrofs redueixen els nitrats i l'amoníac i incorporen el nitrogen en la matèria orgànica, principalment en els aminoàcids.

Els organismes heteròtrofs mantenen la major part del nitrogen i excreten una petita part, en forma d'urea o d'altres compostos nitrogenats.

1.4.TIPUS DE CULTIUS

En aquest punt diferenciarem els diferents sistemes de producció de la vall de l'Ebre. Per fer-ho ens centrarem principalment en el tipus de cultiu que és i també en si és de secà o de regadiu. A part d'això també explicarem les diferents formes de realitzar el maneig i la fertilització de la terra.

1.4.1. SISTEMES DE PRODUCCIÓ.

Actualment es poden distingir 4 sistemes de producció vegetal majoritaris, a la Plana de Lleida i al centre de la vall de l'Ebre, diferenciats per la tecnologia de cultiu que utilitza cada un. Els classificarem com ja hem dit anteriorment en funció del tipus de cultiu i en funció de si és de secà o de regadiu. Els principals grups són els següents:

- Cultius de cereal d'hivern
- Cultius herbacis de regadiu
- Cultius arboris de secà
- Cultius arboris de regadiu

Aquests quatre grups són la base per descriure les pràctiques agrícoles i la tecnologia que es desenvolupa al territori. En cada tipus de sistema es duen a terme un sistema de producció agrícola (unes pràctiques o unes altres), degut al conjunt de característiques que les diferencien.

Tot i que cada grup segueix unes pràctiques agrícoles determinades, en general tots els cultius utilitzen la mateixa tecnologia i segueixen unes tècniques de cultiu molt semblants, que generalment són les següents:

- Elecció del que es sembrarà (elecció del material vegetal, l'espècie i la varietat).
- Preparació del terreny (amb l'ús de maquinària específica).
- Sembrar o plantació (el material vegetal o la llavor).
- Fertilització (aplicació de fertilitzants, que poden ser minerals o orgànics).
- Poda (en cas de cultius arboris, aquesta pot ser de formació o de manteniment).
- Reg (en cas de regadiu).

- Control de males herbes (ús d'herbicides).
- Control de plagues i malalties (ús d'insecticides).
- Recol·lecció (collita i recol·lecció dels productes).
- Tècniques posteriors (aplicació de fertilitzants o ús de maquinària específica)

El cultiu en el que es centra el treball, és el cultiu d'ordi de secà (cereal d'hivern en secà), així que ens centrarem en el sistema de producció i el calendari d'aquest cultiu (Cantero-Martínez & Moncunill, 2012).

En el cultiu de cereals d'hivern, en la vall de l'Ebre i també en la zona de secà de Lleida, l'ordi és el cultiu dominant amb un 75% del total de la superfície. També té importància el blat, que ocupa un 20% de la superfície i també la civada i el triticale per a farratge, que es divideixen el 5% restant.

Aquest sistema de producció de cereal d'hivern en monocultiu té diferents variacions marcades per la intensitat en el maneig del sòl i de l'aplicació de fertilitzants. En la zona de secà de Lleida s'ha realitzat tradicionalment un maneig intensiu en la preparació del sòl per a la sembra, amb diversos objectius entre els quals trobem la preparació del llit de sembra, l'enterrat de la palla i fertilitzants i el control de les males herbes. La introducció de tècniques d'agricultura de conservació ha modificat en alguns punts el treball intensiu del sòl.

La sembra d'aquests tipus de cultius es duu a terme entre el 12 d'octubre i el 10 de desembre. La dosi habitual de sembra es troba entre 180 i 220 kg de llavor per hectàrea, dosi que actualment és fàcil d'assegurar gràcies a les sembradores modernes molt precises. La gran diversitat de varietats assegura una millor adequació al clima i a la zona.

En l'ordi s'utilitzen diverses varietats, totes elles millorades. Les diferents varietats tenen diferències en el seu cicle, no molt marcades, que permeten ampliar l'època de sembra, fet que incrementa l'efectivitat i l'adaptació a les condicions irregulars del clima a la tardor. En el nostre cultiu s'utilitzarà la varietat Meseta.

La fertilització habitualment es realitza en dos aplicacions. Una primera, habitualment d'adob orgànic (purins o fems) abans de sembrar, anomenada fertilització de fons. I una segona quan el cultiu inicia el "ahijamiento" entre gener i

març. Aquesta segona aplicació de fertilitzants acostuma a ser de fertilitzant mineral, i el més utilitzat és el N₃₂.

En relació als tractaments de les males herbes, l'aplicació d'herbicides varia en funció de la presència d'herbes en la campanya en curs i també en funció de l'historial precedent. Els tractaments pre-sembra són freqüents en situacions de sembra directa o mínim maneig amb molta quantitat de males herbes. En tots els casos és habitual realitzar tractaments de post-emergència (quan el cultiu ja ha emergit) amb herbicides selectius i residuals per eliminar les males herbes competidores amb el cultiu pels recursos del sòl. L'aplicació d'aquests herbicides en pre-emergència és menys habitual ja que el cost és més elevat i a vegades el resultat no és del tot satisfactori.

Els fongs no solen ser un problema important, i s'intenta evitar-ne la seva afectació aplicant tractaments a les llavors.

L'últim pas de la collita ja és **la recol·lecció**, que es duu a terme de finals de maig cap endavant. La recol·lecció del cereal produeix dos productes, per una banda el cereal i per l'altra la palla. Aquesta palla molts productors l'aprofiten per vendre-la però alguns altres la piquen i la reintrodueixen en el sòl per tornar els nutrients un altre cop en el sistema.

Així doncs el cultiu de l'ordi es situa dins del cultiu de cereals d'hivern i pot tenir variacions en el seu sistema de producció, marcades per la intensitat de maneig del sòl (maneig intensiu, maneig superficial o sembra directa/no maneig) i l'aplicació de fertilitzants.

En les següents taules es poden veure els diferents cicles de producció mitjançant les diferents intensitats de maneig del sòl (Cantero-Martínez & Moncunill, 2012).

CEREAL DE INVIERNO EN SECANO - Laboreo intensivo			
Práctica	Nº /dosis/producto	Fecha	Observaciones
Labrado profundo/intensivo	1	15 sept – 15 dic	Habitual/posible
Labrado superficial	1	1 sept - 15 dic	Habitual/posible
Abonado de fondo orgánico	Purín 15 – 40 m3/ha	1 sept - 15 oct	Uno u otro
Abonado de fondo mineral	Productos y dosis variados con N-P-K	15 sept - 15 oct	
Herbicida pre-siembra selectivo	Productos y dosis variados	Antes de laboreo	Posible. No habitual
Siembra	150 – 240 kg/ha	(1 oct) 1 – 30 nov (15 dic)	(Precoz o tardía)
Abonado vegetación orgánico	Purín 15 - 20 m3/ha	15 ene – 15 feb	Uno u otro. Más habitual mineral
Abonado vegetación mineral	50 - 100 kgN/ha	15 ene – 31 mar	
Herbicida post-emergencia selectivo	Productos y dosis variados	15 dic – 31 mar	Habitual
Cosecha cereal y empacado	1000-3000 kg grano/ha 2000-3000 kg paja/ha	1 jun – 31 julio	Rango de la media
Laboreo superficial	1	15 jun – 15 ago	Desp. de cosecha

Taula 2 Cicle de producció del cereal d'hivern en secà mitjançant maneig intensiu (Cantero-Martínez & Geniz, 2012, p. 50)

CEREAL DE INVIERNO EN SECANO - Laboreo superficial			
Práctica	Nº /dosis/producto	Fecha	Observaciones
Labrado superficial	1	1 sept – 15 nov	Habitual
Abonado de fondo orgánico	Purín 15 – 40 m³/ha	1 sept – 30 octubre	Uno u otro
Abonado de fondo mineral	Productos y dosis variados con N-P-K	1 – 30 octubre	
Herbicida pre-siembra selectivo	Productos y dosis variados	Antes de siembra	Posible pero no habitual
Siembra	150 – 240 kg/ha	(1 oct) 1 – 30 nov (15 dic)	(Precoz o tardía)
Abonado vegetación orgánico	Purín 15-20 m³/ha	15 ene – 15 feb	Uno u otro. Más habitual mineral
Abonado vegetación mineral	50 - 100 kgN/ha	15 ene – 31 marzo	
Herbicida post-emergencia selectivo	Productos y dosis variados	15 dic – 31 mar	Habitual
Cosecha cereal y empacado	1000-3500 kg grano/ha 2000-3000 kg paja/ha	1 jun – 31 jul	Rango de la media
Laboreo superficial	1	15 jun – 15 ago	Después de cosecha

Taula 3 Cicle de producció del cereal d'hivern en secà mitjançant maneig superficial. (Cantero-Martínez & Geniz, 2012, p. 50)

CEREAL DE INVIERNO EN SECANO - Siembra directa			
Práctica	Nº /dosis/producto	Fecha	Observaciones
Abonado de fondo orgánico	Purín 15 – 40 m ³ /ha	15 sept – 15 nov	Uno u otro
Abonado de fondo mineral	N-P-K	15 sept – 31 oct	
Herbicida pre-siembra total no selectivo	Productos y dosis variados	1 oct – 15dic	Posible pero no habitual
Siembra	150 – 240 kg/ha	(15 oct) 1 – 30 nov (10 dic)	(Precoz o tardía)
Abonado vegetación orgánico	Purín 15-20 m ³ /ha	15 ene – 31 mar	Uno u otro. Más habitual mineral
Abonado vegetación mineral	50 - 100 kgN/ha	15 ene – 15 feb	
Herbicida post-emergencia selectivo	Productos y dosis variados	15 dic – 31 mar	Habitual
Cosecha cereal y empacado	3500 kg/ha	15 jun – 15 jul	Rango de la media
Picado paja (durante cosecha)	18% de agric	15 jun – 15 jul	No habitual

Taula 4 Cicle de producció del cereal d'hivern en secà mitjançant sembra directa. (Cantero-Martínez & Geniz, 2012, p. 51)

Aquest cultiu de l'ordi és de secà i d'estiu, com s'ha esmentat abans. Podem trobar diferents tipus de cultiu, el monocultiu i diverses rotacions, però el sistema majoritari és el monocultiu. Per al correcte desenvolupament i la producció de l'ordi s'ha de tenir en compte la tecnologia necessària.

En el cas de l'ordi s'apliquen diversos manejos del sòl, des de l'intensiu fins al no maneig. En les diverses variacions del sistema de producció es fa servir una maquinària determinada que és la següent.

- Per un **maneig del sòl molt intensiu** i consistent s'aplica un conreu profund i superficial (Figura 1) amb diverses passades de maquinària. Habitualment es fa amb un subsolador (Figura 2), una grada de disc o un *rotovator*.



Figura 1 Chissel, maquinaria utilitzada per practicar un trencament del sòl i oxigenar el sòl. (Font: Èlia Capdevila)



Figura 2 Subsolador, maquinaria utilitzada per practicar un trencament en el sòl i oxigenar la terra. (Font: Èlia Capdevila)



Figura 3 Fresadora, maquinaria utilitzada per deixar la terra fina, preparada per sembrar. (Font: Èlia Capdevila)

- En un **maneig del sòl alternatiu** s'inclou la reducció del conreu, reduint les passades que provoquen la pèrdua d'estructura (el subsolador trenca l'estructura). Hi ha diferents variants d'aquest mètode però el més interessant és el "*strip till*" que prepara únicament la línia on es sembrarà el cultiu. Això és fa amb una única passada de l'aparell especial. (Figures 4 i 5)

Finalment el mètode de conservació per excel·lència és la sembra directa, que consisteix en dipositar la llavor del cultiu sense haver produït cap tipus de moviment, anterior a la sembra, en el sòl. Per a l'aplicació d'aquest mètode és necessari l'ús de maquinària específica.

1.5. FIXACIÓ DE CARBONI ALS SÒLS AGRÍCOLES

La fixació del C en els sòls agrícoles consisteix en la retenció de CO₂ atmosfèric als sòls agrícoles mitjançant la fotosíntesi i la posterior unió amb partícules inorgàniques formant els agregats del sòl, la matèria orgànica també pot quedar al sòl tot i no estar en els agregats. L'ús de diferents tècniques agrícoles pot condicionar la fixació de carboni en els sòls agrícoles.

1.5.1. EL CARBONI EN ELS SÒLS AGRÍCOLES

El carboni al sòl està en les formes orgànica (SOC) i inorgànica(CIS). La primera forma prové de qualsevol ésser viu. Per tant, els elements que aporten carboni orgànic al sòl són els següents:

- Les restes de collita (palla i/o rostoll)
- Arrels
- Exsudats radiculars (contingut transpirat per la planta)
- Biomassa microbiana (tota la massa de microorganismes del sòl)
- Macrofauna i mesofauna (relatiu al seu tamany): cucs de terra, artròpodes, termites, formigues, etc.
- Aplicació d'esmenes orgàniques.

Tots aquests elements formen la matèria orgànica del sòl (MOS)

La MOS està formada en gran part per carboni orgànic (entre un 58-59% segons autors). Per tant, les disminucions o augments en la MOS vindran acompanyats de les disminucions o augments del carboni orgànic.

El C segueix una dinàmica respecte el sòl. Aquesta és complexa però a grans trets es pot parlar dels següents elements, que formen part del cicle del carboni:

- Les plantes absorbeixen el CO₂ durant el procés de la fotosíntesi.
- Les entrades de carboni al sistema-sòl a partir de matèria orgànica que es troba lliure en un primer moment i que, posteriorment i de forma parcial, forma agregats amb les partícules minerals (sorra, llim i argila) i queda químicament i físicament protegida.
- Els microorganismes descomponen parcialment aquesta matèria orgànica fet que genera CO₂ que, juntament amb la respiració de les arrels, serà la quantitat de CO₂ respirada pel sòl i que representa la principal sortida de C del sistema sòl-planta.

- Una altra sortida és la del carboni orgànic i inorgànic dissolts que es perden per lixiviació⁶: no s'aprecia en ambients de secà semi-àrid.

Així doncs, per augmentar la quantitat de carboni capturat al sòl es necessita maximitzar les entrades (augmentar la quantitat de matèria orgànica que entra al sistema sòl) i minimitzar les sortides (disminuir les pèrdues de CO₂ per respiració del sòl, lixiviació i transport fora del sistema via erosió o correnteres) (Plaza-Bonilla, 2010).

1.5.2. COM ES FIXA EL CARBONI EN ELS SÒLS

Un cop el CO₂ passa a formar part de la planta i es deixa al camp la part no econòmica (arrels i rostoll) aquests elements orgànics són descompostos pels microorganismes del sòl i passen a ser diferents fraccions de la matèria orgànica, com poden ser: la matèria orgànica particulada, la fracció lleugera, formes elementals com els polisacàrids, etc. Tot aquest material es troba al sòl.

Degut a la composició química de la MOS es poden formar unions entre aquesta i les partícules inorgàniques del sòl, principalment els llims i les argiles, formant els agregats del sòl.

Els agregats són unions entre la fase mineral i la fase orgànica del sòl. Aquests tenen una gran importància en la captura de carboni ja que protegeixen la MOS de l'activitat descomponedora que fan els microorganismes, això és degut a que la MOS queda closa a l'interior dels agregats. S'ha de destacar que no totes les formes de matèria orgànica es troben dins dels agregats.

Els **agregats** es classifiquen segons el seu tamany:

- Els macroagregats tenen un tamany superior a 250 micres,
- Els microagregats tenen un tamany inferior a les 250 micres.

Cada tipus d'agregat té unes propietats diferents, tenen diferents resistències als agents atmosfèrics i a les pràctiques agrícoles, i també contenen la MOS en diferents formes.

Les diferents pràctiques agrícoles en les que intervé qualsevol tipus de maneig del sòl, condicionen la captura de carboni. Per poder fixar més carboni als sòls

⁶ La lixiviació és un procés pel qual s'extreu un o més soluts d'un sòlid, mitjançant la utilització d'un dissolvent líquid. Les dues fases entren en contacte íntim i el solut o els soluts es poden difondre des del sòlid a la fase líquida, fet que produeix una separació dels components originals del sòlid.

agrícoles, reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle i mitigar l'escalfament global hi ha un seguit de pràctiques agrícoles que afavoreixen el segrest de C. Amb l'aplicació de les pràctiques agrícoles determinades s'intenta maximitzar l'input o les aportacions de carboni orgànic al sòl i minimitzar la taxa de degradació del carboni orgànic del sòl.

Per maximitzar l'input es fan servir estratègies per produir més quantitat de biomassa vegetal, des d'un ús eficient de l'aigua de reg, fins a un ús més eficient dels fertilitzants. També és molt important deixar totalment o parcialment les restes del cultiu al sòl (tècniques de conreu reduït).

Per minimitzar la taxa de degradació del carboni orgànic del sòl es fan servir tècniques per disminuir les pèrdues de carboni orgànic del sistema. Aquestes pèrdues normalment són per respiració de la biomassa microbiana, però també s'ha de pensar que si el sòl és erosionat el primer que es perd és la capa superior, que és la més rica en matèria orgànica. Les tècniques de conreu reduït promouen una major estabilitat dels agregats del sòl i així maximitzen la protecció de la matèria orgànica.

1.6. OBJECTIUS I ESTUDI

Per tot això, aquest treball se centrarà en el objectiu de quantificar la quantitat de carboni orgànic fixat als sòls agrícoles segons les diverses pràctiques de maneig del sòl i tipus i dosis de fertilització nitrogenada en agrosistemes cerealistes de secà semiàrid, i així veure quines són les pràctiques que afavoreixen la fixació de carboni orgànic i per tant ajuden en la mitigació del canvi climàtic.

Per obtenir les dades es realitzarà un estudi en una localitat de la Vall de l'Ebre central representativa dels cultius de secà àrids i semiàrids en el cultiu de l'ordi. Algunes idees utilitzades en el treball de camp han estat extretes del treball de final de màster de la Naima Chahoua.

2.TREBALL DE CAMP

2.1. MATERIALS I MÈTODES

2.1.1. LOCALITZACIÓ

La zona d'estudi està situada a la part central de la Vall de l'Ebre. L'assaig es realitzà a la població aragonesa de Senés de Alcubierre, comarca del Monegros, província de Huesca. L'estudi es va realitzar en un camp experimental de la xarxa d'assajos del Grup d'Agronomia i Medi Ambient en Sistemes Agrícoles Mediterranis de l'Universitat de Lleida i del Grup de Maneig de Sòl i Canvi Global de l'Estació Experimental de l'Aula Dei (CSIC) (coordenades: 41° 54' 17,08" N i 0° 30' 1,38" W). (Figura 4)

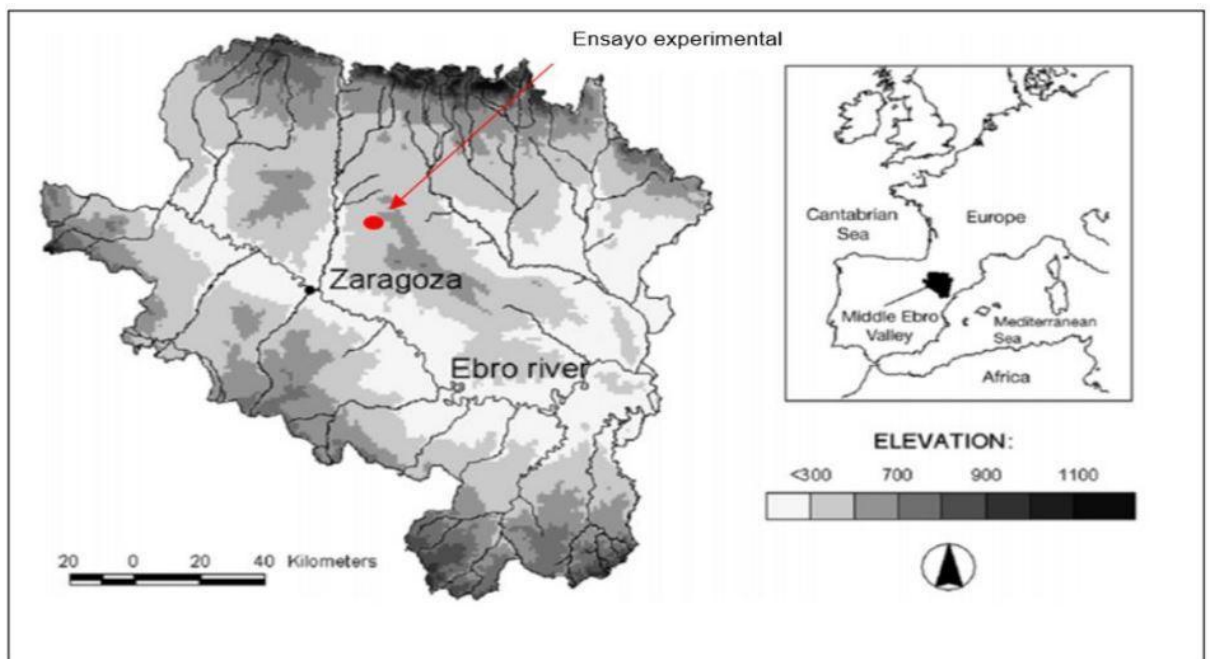


Figura 4 Mapa de la Vall de l'Ebre central amb la localització de l'estudi (Serrano, 2003)

2.1.2. CLIMÀTICA DE LA ZONA

Per la seva localització geogràfica, els elements climatològics li atribueixen unes característiques pròpies d'un clima mediterrani amb tendència continental. La temperatura mitjana anual es situa entre els 13,5 i 14,5 °C (Castellú, 1984). El règim tèrmic és molt extrem, arribant a temperatures superiors a 40°C a l'estiu i fins a -10°C a l'hivern. Pel que fa a la pluviometria, les precipitacions mitjanes anuals es troben entre els 300 i 400 mm i es caracteritzen per una marcada estacionalitat i

irregularitat interanual (Plaza-Bonilla, 2013). Les estacions amb el major règim pluviomètric són la primavera i la tardor, i durant l'estiu s'arriba a un dèficit hídric extrem deixant els sòls secs i els cultius afectats (Castellú, 1984). A més a més de la irregularitat pluviomètrica i de les seves condicions tèrmiques, les característiques àrides de la zona s'extremen més amb l'augment de l'evapotranspiració afavorida pels vents dominants com el Cierzo (Castellú, 1984).

2.1.3. GEOLOGIA I LITOGRAFIA DE LA ZONA

Els Monegros es troben a la Vall central de l'Ebre i estan limitats pels Pirineus al nord, les Cadenes Costeres Catalanes al est i la Serralada Ibèrica al sud (Castellú, 1984).

Litològicament, els sòls de la comarca dels Monegros són poc evolucionats i desenvolupats en condicions d'aridesa. Es caracteritzen principalment per uns trets texturats llimosos i francoargilosos amb presència d'horitzons càlcics, una escassa profunditat i una baixa permeabilitat (Marcén, 2002). Els sòls de la comarca es consideren summament fràgils, pobres en matèria orgànica i amb poca capacitat d'absorció i retenció d'aigua. Les principals característiques edafoclimàtiques de l'assaig experimentals es presenten a la següent taula.

Características generales del sitio	
Temperatura media del aire °C	13,4
Precipitación anuales (mm)	327
Evapotranspiración anual (mm)	1197
Calcificación de suelo (USDA)	Calcixerept típico
pH de suelo (H ₂ O, 1:2.5)	8
Carbono orgánico (g kg ⁻¹)	15,6
nitrógeno orgánico (g kg ⁻¹)	1,4
Conductividad eléctrica 1:5 (dS m ⁻¹)	1
CaCO ₃ eq (%)	28,9
Distribución granulométrica de suelo (%)	
Arena (2000-50 µm)	6,2
Limo (50-2 µm)	63,3
Arcilla (< 2 µm)	30,5

Taula 5 Principals característiques edafoclimàtiques de l'assaig experimental. Es va considerar una profunditat de 0-30 cm per a la determinació de les propietats del sòl. (Plaza-Bonilla)

2.1.4. CARACTERÍSTIQUES DEL SISTEMA AGRÍCOLA

Els ecosistemes de la Vall de l'Ebre són representatius d'ambients mediterranis des del punt de vista agrícola (Plaza-Bonilla, 2013). Alguns d'aquest sistemes es consideren entre els més productius de cultius extensius d'Espanya (Álvaro-Fuentes et al., 2015).

El model productiu de la zona és el model cerealista de monocultiu, majoritàriament compost de cereals d'hivern (civada i blat), el seu rendiment depèn de la pluviometria estacional i de la capacitat de retenció de l'aigua del sòl (Castellú, 1984). Tot i la gran presència dels sistemes de producció de secà, a la zona central de la Vall de l'Ebre també s'hi troben sistemes de regadiu destinats principalment a la producció de fruiters (fruita dolça, olivera, i ametller), farratges (alfals), cereals (panís), i hortalisses. L'aigua de regadiu prové principalment dels canals de Monegros i del Cinca (Castellú, 1984).

Pel que fa al treball dels cultius, el sistema adoptat s'ha basat tradicionalment en el maneig intensiu (LI) del sòl. Tot i ser el sistema tradicional i majoritari, des de fa unes dècades s'ha començat a estendre per la zona un sistema de maneig del sòl basat en la sembra directa (SD) que ha anat incrementant la seva aplicació degut a les seves avantatges agroeconòmiques.

A la comunitat Autònoma d'Aragó, on es situa la zona d'estudi, la sembra directa s'utilitza en un 11% del total de la superfície agrària (Álvaro-Fuentes et al., 2015). Pel que fa a la fertilització nitrogenada en els seus sistemes agrícoles de secà consisteix principalment en dos aplicacions en els cereals d'hivern. A nivell general, s'apliquen els dos tipus de fertilitzants, fertilitzant mineral i fertilitzant orgànic (adob orgànic majoritàriament a base de purí de porc). Les quantitats de nitrogen totals aplicades oscil·len entre 50 i 150 kg N ha⁻¹ aplicant adob mineral i orgànic (Cantero-Martínez i Moncunil-Geniz, 2012)

2.2. DISSENY EXPERIMENTAL

L'experiment es realitzarà dins de l'àmbit de l'agricultura aragonesa, concretament en el cultiu de la civada. El que es farà serà el registre d'una sèrie de variables que s'aniran analitzant al llarg del desenvolupament d'aquest, les variables seran les següents:

- 1- Contingut de C (orgànic) al sòl.
- 2- Taxes de fixació de C al sòl.

Aquestes diferents variables es mesuraran a partir de les mostres preses al camp experimental.

2.2.1. COM S'HA DUT A TERME EL DISSENY EXPERIMENTAL?

L'estudi es va iniciar durant la campanya del 2010 amb el principal objectiu de comparar dos sistemes de maneig del sòl (sembra directa, SD i maneig intensiu, LI) i dos tipus de fertilització nitrogenada (mineral, Min i orgànic, Org) amb tres dosis (0, 75 i 150 kg N ha⁻¹) en el cultiu de civada.

Entrant al que és l'experiment com a tal, s'avaluaran un total de deu tractaments establerts en base d'un disseny experimental de blocs a l'atzar. És realitzarà en un camp dividit en deu parcel·les totes en el mateix bloc, la mida de les parcel·les varia segons la fertilització; parcel·les petites en la fertilització mineral (40 m x 6 m: 240 m²) i parcel·les grans en la fertilització orgànica (40 m x 12 m: 480 m²). La superfície total d'estudi és de 3.360 m².

Per avaluar les diferents combinacions, es va plantejar un experiment factorial entre el sistema de maneig del sòl i la dosis i el tipus de fertilització nitrogenada. (Taula 6)

	Factor	Tractament
Sistema de maneig	Fertilització nitrogenada (kg N ha⁻¹)	
SD	0	SD- 0
	75 Min	SD- 75 Min
	150 Min	SD- 150 Min
	75 Org	SD- 75 Org
	150 Org	SD- 150 Org
LI	0	LI- 0
	75 Min	LI- 75 Min
	150 Min	LI- 150 Min
	75 Org	LI- 75 Org
	150 Org	LI- 150 Org

Taula 6 Tractament de maneig i fertilització nitrogenada avaluats. Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu. Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha⁻¹), 75 Min= fertilització mineral (75 kg N ha⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha⁻¹).

Per tant, els factors estudiats a l'estudi són:

- A. Sistema de maneig amb dos nivells: sembra directa (SD) i maneig intensiu (LI).
- B. Fertilització nitrogenada (dosis i tipus) amb cinc nivells: 0, 75 Min, 150 Min, 75 Org i 150 Org.

2.2.2. OPERACIONS DE CULTIU

Abans de la sembra, es va realitzar un primer tractament contra les males herbes, després es va aplicar una segona aplicació d'herbicida pel control de la fulla ampla en el cultiu. L'operació de maneig intensiu va consistir en una passada d'arada de cisells abans de la sembra.

Pel que fa a la sembra directa, aquesta operació va consistir solament en sembrar directament sobre el rostoll del cultiu anterior mitjançant una sembradora de SD i sense cap maneig de preparació del sòl previ. Es sembra la mateixa varietat d'ordi "Meseta" a tots els tractaments amb una dosis de sembra de 180 kg ha⁻¹.

Respecte la fertilització nitrogenada, els tipus de fertilitzants usats van ser: adob mineral i purí de porc d'engreix amb tres dosis diferents. L'aplicació de la dosis 75 kg N ha⁻¹ es realitza abans de la sembra en tots els tractaments (tant en el mineral com en el orgànic) aplicant sulfat amònic (21 %N), excepte el tractament control (0 kg N ha⁻¹) en el que no es va aplicar cap dosis. En canvi, les dosis 150 kg N ha⁻¹ es va dividir en dos aplicacions iguals (75 kg N ha⁻¹ abans de la sembra i 75 kg N ha⁻¹ en post-emergència).

En el tractament orgànic, la dosis de nitrogen aplicada va ser determinada *in situ* mitjançant un anàlisi de la concentració de nitrogen del purí basat amb la seva conductivitat elèctrica. Després, es va determinar la velocitat del tractor i el cabal de la cuba per aconseguir la dosis desitjada.

La collita de l'ordi es va realitzar a finals de juny tenint en compte les condicions climàtiques de la zona i el grau d'humitat del gra.

2.2.3. MEDICIÓ DE LES VARIABLES

Els mètodes que s'han utilitzat per obtenir i analitzar les diferents variables amb les afectacions i canvis que han produït els dos factors que s'han anat combinant són els següents:

- Per obtenir les dades s'agafen mostres del sòl de les tres profunditats: 0-5, 5-10 i 10-25 cm en cada parcel·la del bloc, mitjançant l'ús d'una barrina o una paleta d'estudi de sòls. Posteriorment les mostres de sòl extretes de cada profunditat van ser guardades en bosses de plàstic prèviament etiquetades i es van portar al laboratori. A partir de les mostres de sòl extretes es farà la determinació del carboni orgànic del sòl.
- També es determina la densitat aparent de cada profunditat i de les parcel·les, que ens serveix per mesurar el pes d'una hectàrea de sòl i posteriorment els continguts de C en el sòl.

2.2.3.1. DETERMINACIÓ DEL CARBONI ORGÀNIC DEL SÒL (SOC)

Per determinar el carboni orgànic del sòl mitjançant l'oxidació de la matèria orgànica es va fer servir el mètode de *combustió humida* i *oxidació amb dicromat* (Porta i López-Acevedo, 1998).

Les mostres preses i classificades es van deixar assecar a l'aire durant 10 dies, es van moldre i tamisar amb un tamís de 0,5 mm d'obertura de malla.



Figura 5 Fotografia del procés de mòlta i tamisat. (Font: Naima, TFM)

Posteriorment, es va col·locar aproximadament 200 g d'aquestes mostres en pots de plàstic per poder-ne fer l'anàlisi.

Per començar amb l'anàlisi es pesa 1g de les mostres mòltes i tamisades, mitjançant una balança de precisió de quatre dígits i es posa en un Erlenmeyer prèviament marcat i ordenat.



Figura 6 Mostres en els Erlenmeyers abans de la determinació del carboni orgànic. (Font: Èlia Capdevila)

Després, dins de la campana d'extracció de gasos, s'afegeixen 10 ml de dicromat potàssic (agent oxidant) directament sobre mostres pesades, s'agita una mica per assegurar el bon contacte amb el reactiu del sòl i s'afegeixen 20 ml d'àcid sulfúric concentrat 95%. Als 30 minuts d'afegir el dicromat potàssic es para la reacció de la mostra amb 50 ml d'aigua destil·lada.



Figura 7 Mostres juntament amb els reactius en la campana extractora de gasos. (Font: Èlia Capdevila)

Es deixa refredar i, aproximadament, una hora després s'afegeixen 6-7 gotes d'ortofenantrolina que actua com indicador de coloració i mitjançant una bureta aforada de doble enràs es va afegint la sal de Mohr a la mostra fins adquirir una coloració granada a roja (és el punt on es nota l'oxidació total de la matèria orgànica). Just després s'anoten els mil·límetres de sal de Mohr utilitzats en la reacció.

Durant l'anàlisi de les mostres, es realitza un assaig en blanc (sense mostra de sòl, només reactius) i una estàndard (mostra de sòl amb el valor de carboni orgànic conegut) per a la calibració dels reactius i per tenir en compte les condicions experimentals de l'oxidació.

D'acord amb el fonament del mètode utilitzat, es té en compte el pes de la mostra i les valoracions obtingudes de la sal de Mohr per a la determinació del dicromat potàssic gastat, equivalent a la proporció de carboni orgànic contingut a la mostra.

El contingut de carboni orgànic total ($t\ C\ ha^{-1}$) corresponent a cada profunditat es determina a partir de la densitat aparent⁷, la profunditat del mostreig i el percentatge de carboni orgànic anteriorment obtingut.

⁷ És un paràmetre fonamental per calcular el contingut de carboni orgànic total ($t\ C\ ha^{-1}$). Per determinar aquest paràmetre s'utilitza el mètode del cilindre basat en la quantificació de la massa del sòl continguda en un volum conegut de sòl. El mètode va consistir en introduir un cilindre metàl·lic de $138,54\ cm^3$ de capacitat volumètrica al sòl i després enrasar cuidadosament.

3. RESULTATS

A partir de la diferència de SOC es pot obtenir la taxa de captació de carboni i finalment el potencial d'escalfament.

A partir de l'anàlisi del contingut de carboni orgànic del sòl (SOC) es troben els següents resultats:

- Contingut inicial de C Orgànic 2010
- Contingut final de C Orgànic 2017
- Diferència de contingut de C Orgànic 2017-2010
- Taxa de captació de carboni

La taxa de captació de carboni i el potencial d'escalfament estan obtinguts a partir de la diferència de SOC.

3.1. CONTINGUT INICIAL DE C orgànic 2010

El contingut inicial de C orgànic prové de les mostres preses l'any 2010 i es pot classificar segons el sistema de conreu i segons la seva fertilització nitrogenada.

- Segons sistema de maneig del sòl:

Als resultats es pot observar qualitativament que els contingut inicials de SOC tenen molt poca diferència entre els dos sistemes de maneig del sòl (figura 8)

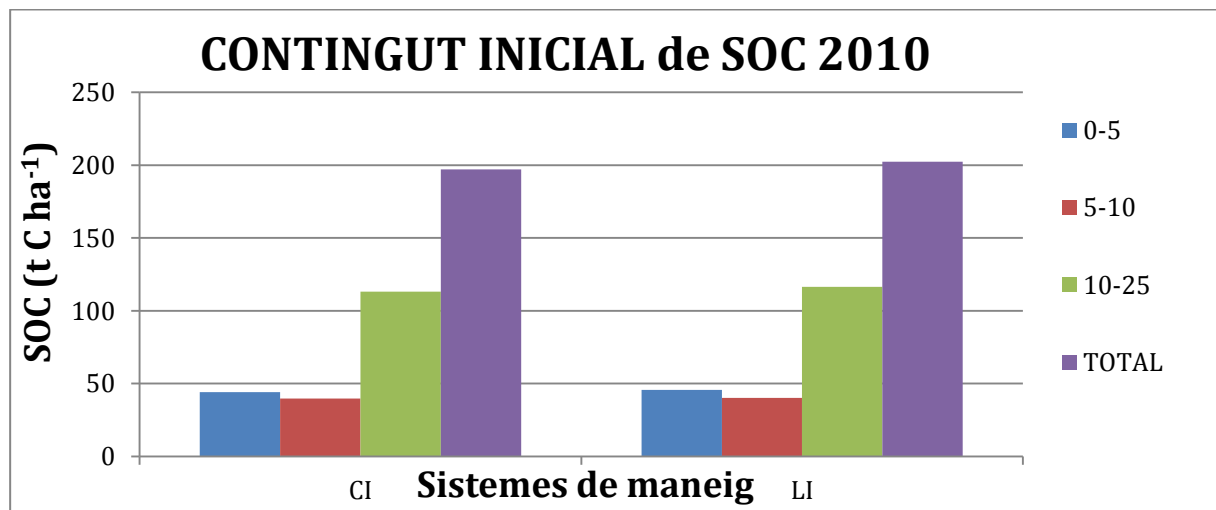


Figura 8 Contingut inicial (2010) de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de maneig en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu.

- **Segons el sistema de fertilització:**

En les fertilitzacions s'observa que en la suma de totes les profunditats la no fertilització (dosis control) i la fertilització de 75 Min són les que tenen més contingut de SOC, seguides per la fertilització 150 Min i finalment 75 Org i 150 Org que tenen el mateix contingut. Com es pot veure en al figura 9.

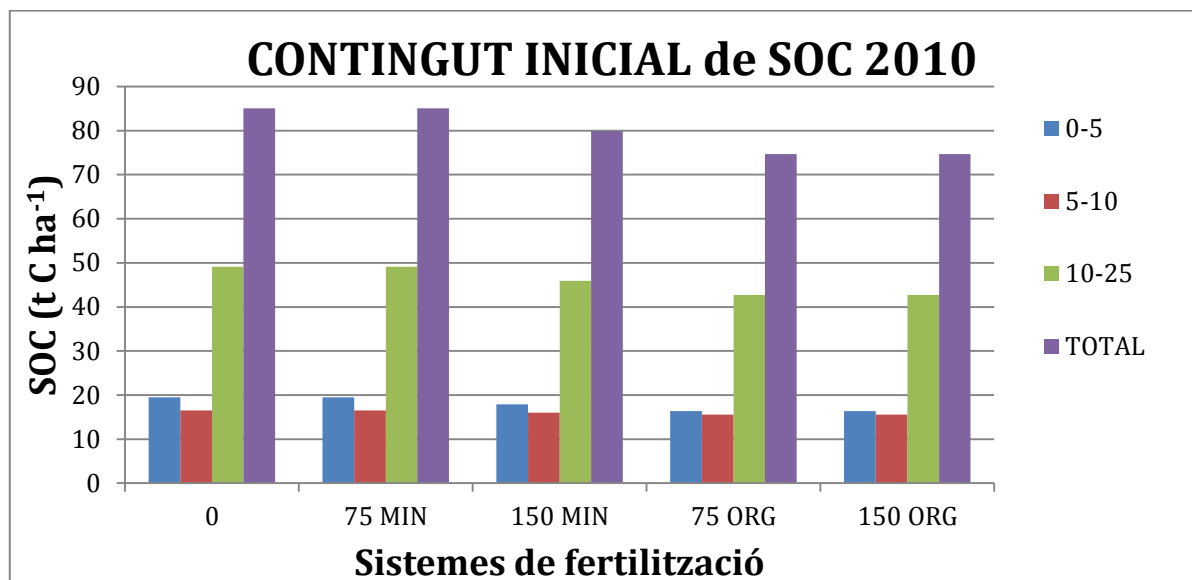


Figura 9 Contingut inicial (2010) de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de fertilització nitrogenada en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha⁻¹), 75 Min= fertilització mineral (75 kg N ha⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha⁻¹).

- **Si ens fixem en les diferents profunditats:**

La profunditat 10-25 és la que té més contingut de matèria orgànica, tant en el factor de maneig com en el factor de dosis i tipus de fertilització (Figures 6 i 7)

3.2. CONTINGUT FINAL DE C orgànic 2017

El contingut inicial de C orgànic prové de les mostres preses l'any 2017 i es pot classificar segons el sistema de conreu i segons la seva fertilització nitrogenada.

Als resultats es pot observar el següent depenent dels diferents factors:

- **Segons sistema de maneig del sòl:**

La sembra directa té més quantitat de SOC en total i en cada profunditat, i té més quantitat amb més diferència en la profunditat de 0-5 cm, mentre que en la profunditat 10-25 cm gairebé no hi ha diferència de contingut.

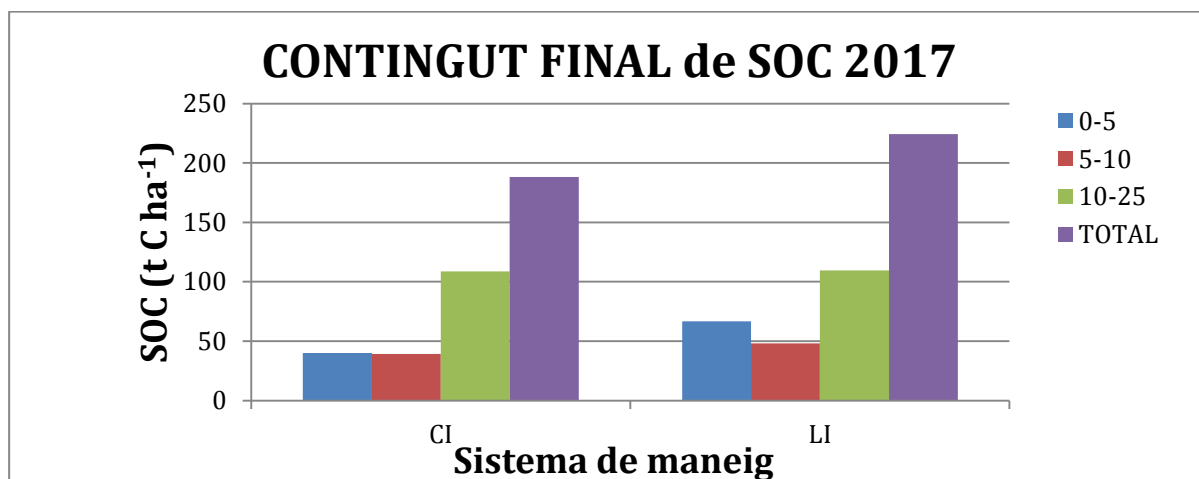


Figura 10 . Contingut final (2017) de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de maneig en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu.

- **Segons el sistema de fertilització:**

Els sistemes de fertilització que tenen més quantitat són, amb ordre decreixent, 150 Org, 75 Org i 75 Min. Els que menys en tenen amb ordre decreixent són 150 Min i 0 (no fertilització, dosis control).

Si es distingeix entre la fertilització orgànica i la mineral, és la fertilització orgànica la que té més quantitat de SOC.

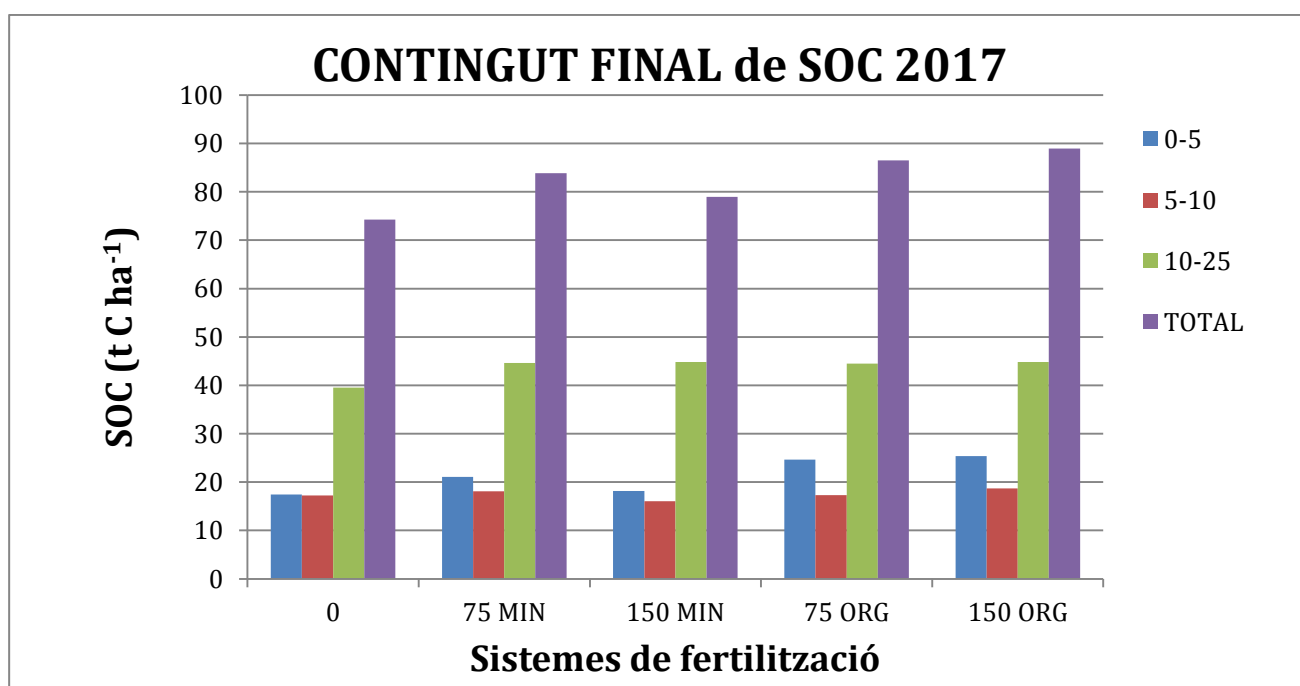


Figura 11 Contingut final (2017) de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de fertilització nitrogenada en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha⁻¹), 75 Min= fertilització mineral (75 kg N ha⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha⁻¹).

- **Si ens fixem en les diferents profunditats:**

Es pot veure que la profunditat 10-25 cm no hi ha massa variació tant en maneig com en fertilització (amb l'excepció de 0kg N ha⁻¹). La profunditat 5-10 cm té poca variació en els dos factors. És en la profunditat 0-5 cm on es troba la diferència més gran de SOC, de més de 16 t ha⁻¹, aproximadament, entre sembra directa i maneig intensiu. I d'aproximadament unes 8 tones en els sistemes de fertilització entre el que en té més i el que en té menys.

3.3.DIFERÈNCIA DE C orgànic 2017-2010

La diferència de SOC està calculada mitjançant la diferència (t C ha⁻¹) entre el contingut inicial de SOC (2010) i el contingut final de SOC (2017).

- **Segons sistema de maneig del sòl:**

Els resultats són molt clars, la sembra directa amb 7 anys ha aconseguit capturar, aproximadament, 22 tones de SOC per hectàrea més, mentre que en el conreu intensiu hi ha hagut un dèficit d'aproximadament 8,8 tones de SOC per hectàrea, fet que significa que hi ha menys contingut de carboni orgànic al sòl que a l'inici de l'estudi.

Definitivament podem dir ***que la sembra directa captura carboni mentre que el maneig intensiu dels sòls agrícoles no només no aconsegueix retenir SOC sinó que en perd.***

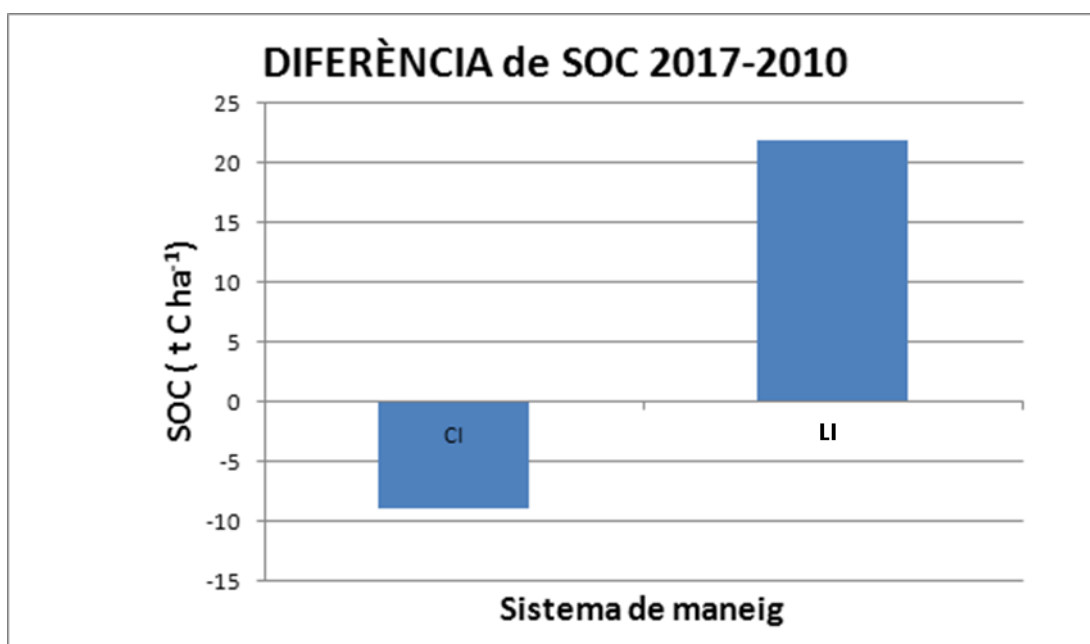


Figura 12 Diferència (2017-2010) de contingut de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de maneig en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu.

- **Segons el sistema de fertilització:**

Les aplicacions de fertilitzant orgànic aconseguen retenir carboni al sòl, mentre que els fertilitzants minerals perden aproximadament 1 tona de SOC per hectàrea. Quan no es fa servir cap fertilitzant hi ha una pèrdua de fins 10,8 tones de SOC per hectàrea.

El sistema de fertilització mineral tot i no tenir moltes pèrdues de SOC (aproximadament 1 tona) no aconseguen retenir SOC. En canvi, **la fertilització orgànica aconseguen captar una quantitat de SOC molt més elevada** entre 11,8 i 14,2 tones de SOC en 7 anys, essent el de 150 Org el que més en captura. En referència a la mostra no fertilitzada no solament no capta SOC sinó que té un dèficit bastant negatiu, aproximadament de 10,8 tones per hectàrea.

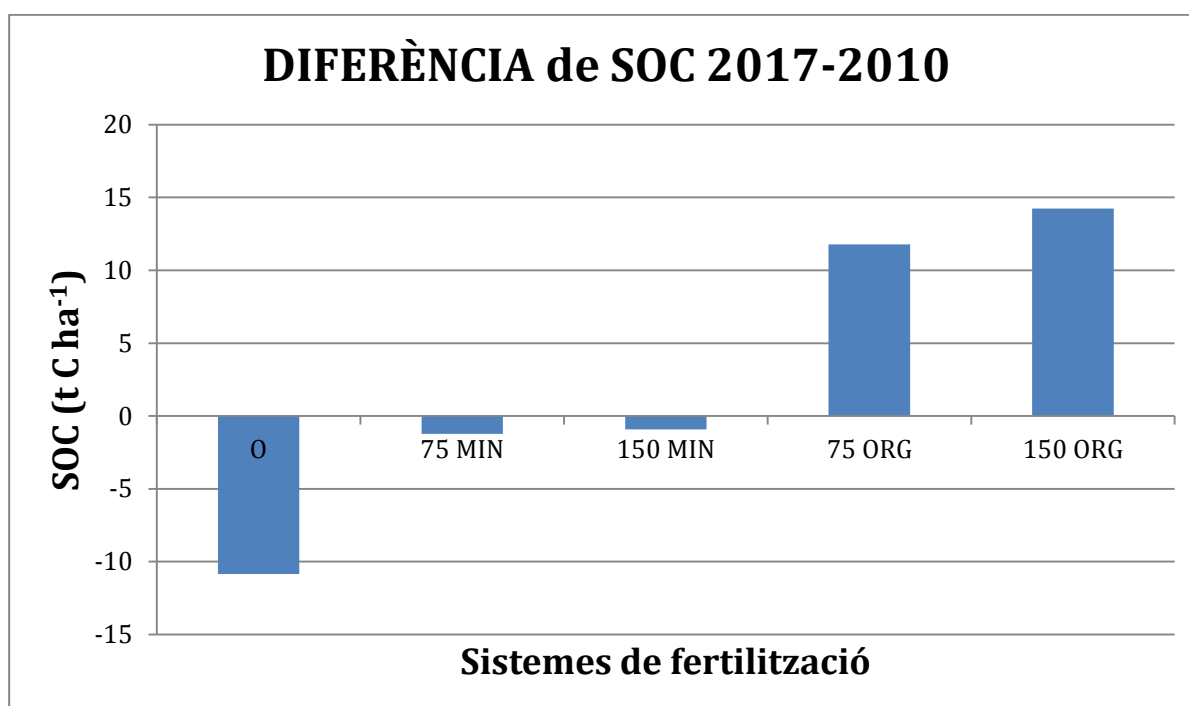


Figura 13 Diferència (2017-2010) de contingut de carboni orgànic en el sòl segons el sistema de fertilització nitrogenada en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha⁻¹), 75 Min= fertilització mineral (75 kg N ha⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha⁻¹).

3.4. TAXA DE CAPTACIÓ de CARBONI ORGÀNIC AL SÒL

La taxa de captació de SOC (t C ha⁻¹ any⁻¹) representa les tones que s'han captat o s'han perdut en cada hectàrea per cada any transcorregut. Aquesta dada s'obté a partir de la diferència de SOC entre 2017 i 2010 (t C ha⁻¹) dividint-la entre els anys transcorreguts des de l'inici de l'estudi, en aquest cas 7 anys.

- **Segons sistema de maneig del sòl:**

Es pot veure com en l'ús de la sembra directa s'arriba a captar més de 3 tones de SOC cada any, en canvi en l'ús de maneig intensiu no aconsegueix fixar carboni i inclòs en perd. Hi ha una diferència d'aproximadament 4,4 tones de Carboni fixades a l'any per hectàrea segons el maneig del sòl.

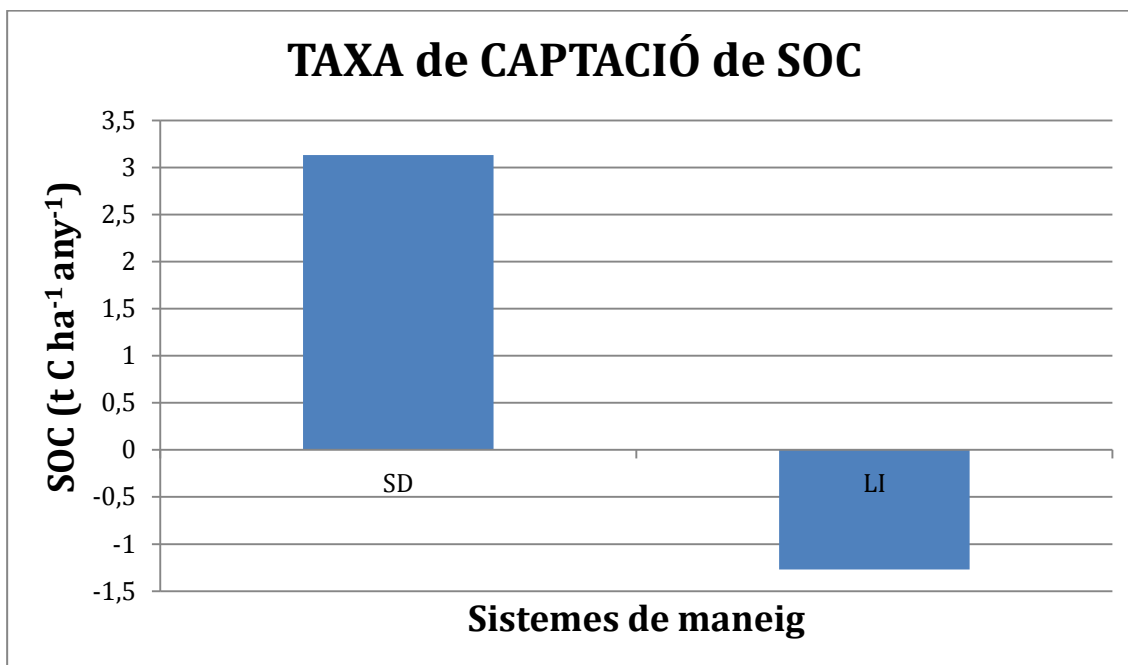


Figura 14 Taxa de captació carboni orgànic en el sòl segons el sistema de maneig en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹ any⁻¹). Sistema de maneig: SD= sembra directa, LI= maneig intensiu.

- **Segons el sistema de fertilització:**

Es pot observar que només els fertilitzants orgànics aconsegueixen fixar carboni arribant a quantitats de 1,6 i 2 tones de carboni fixades cada any i en una hectàrea. Cap de les fertilitzacions minerals ha aconseguit retenir carboni al sòl i tenen una taxa de captació de SOC negativa de -0,2 i -0,1 t C ha⁻¹, 75 Min i 150 Min respectivament. Finalment la no fertilització (0) té una taxa de captació de -1,5 t C ha⁻¹. Hi ha una diferència de 3,5 tones de C captades en un any en una hectàrea entre els nivells de captació més alts i els més baixos.

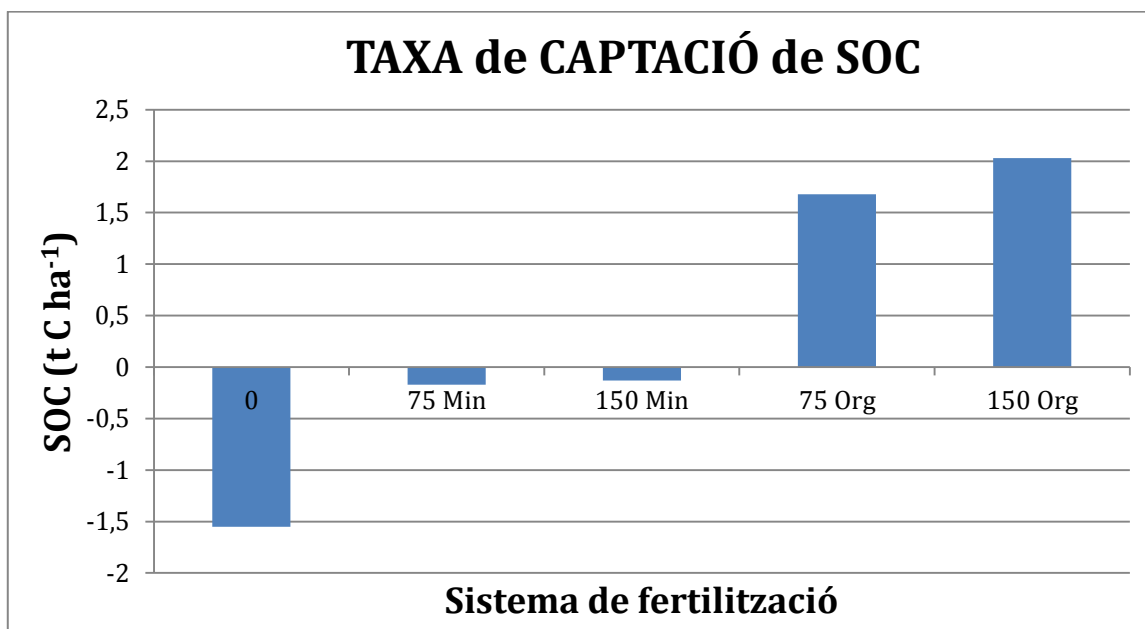


Figura 15 Taxa de captació carboni orgànic en el sòl segons el sistema de fertilització nitrogenada en els primers 25 cm del sòl (t C ha⁻¹). Fertilització nitrogenada: 0= dosis control (0 kg N ha⁻¹), 75 Min= fertilització mineral (75 kg N ha⁻¹), 150 Min= fertilització mineral (150 kg N ha⁻¹), 75 Org= fertilització orgànica (75 kg N ha⁻¹), 150 Org= fertilització orgànica (150 kg N ha⁻¹).

4. DISCUSSIÓ

Finalment, tenint en compte els resultats obtinguts, podem observar que el maneig del sòl menys intensiu capta més carboni orgànic al sòl, la sembra directa, i el maneig intensiu no només no capta carboni orgànic al sòl sinó que en perd.

L'increment de carboni orgànic es pot explicar pels majors continguts de matèria orgànica que ofereix el sistema de sembra directa per l'acumulació de les restes de la collita a la capa superficial del conreu. En canvi, amb un maneig del sòl més intensiu, com és el conreu intensiu aplicat a l'estudi, el moviment de terres fa que els residus vegetals s'incorporin en el sòl generant unes altes taxes de descomposició dels residus molt ràpides que no deixen acumular el COS. Aquesta descomposició es veu estimulada pel major contacte de la matèria orgànica amb els microorganismes del sòl i per les altes condicions d'airejament, provocades pel maneig del sòl, que afavoreixen l'activitat d'aquests microorganismes per descompondre els components orgànics.

En la fertilització, podem distingir els nivells de captació de carboni orgànic segons el tipus i la dosi de fertilització. Pel que fa al tipus; la fertilització orgànica capta carboni, però la mineral no aconsegueix captar-ne gens i té pèrdues. Si s'observa l'efecte de la dosi es podem veure que com més gran és la dosi de fertilitzant més gran és la captació de carboni orgànic al sòl, hi ha més diferència entre les dosis de fertilització mineral que entre les dosis orgàniques, i la no aplicació de fertilització nitrogenada suposa una gran pèrdua de carboni orgànic al sòl.

Els rendiments en la fertilització orgànica han estat majors que en les mateixes dosis de fertilització mineral i per tant també produeixen més residus de la collita, que són l'input per a l'increment de COS.

Quan no hi ha fertilització (0 N) el rendiment i la producció de la collita (palla i rostoll) són menors i per això inclòs es perd COS.

El comportament de les dosis i tipus de fertilització nitrogenada, és degut als residus de la collita obtinguts sota els diferents tractaments de fertilització. Podria ser que la fertilització orgànica proporcioni més rendiment al cultiu, i per tant impliqui una major acumulació de restes vegetals.

5. CONCLUSIONS

Com a conclusió final podem dir que hi ha una sèrie de mètodes i de pràctiques agrícoles que influeixen en la fixació de carboni orgànic als sòls agrícoles i per tant que poden fer de l'agricultura una eina per mitigar el canvi climàtic. Així doncs hem pogut observar la fixació de carboni segons els dos factors establerts: el maneig del sòl i la fertilització.

Les diferents hipòtesis establertes al llarg de la recerca eren:

1. "Potser les diferents pràctiques agrícoles influeixen la fixació de C en els sòls agrícoles."
2. "Potser la reducció de maneig del sòl implica un augment de la fixació de C en els sòls agrícoles."
3. "Potser la fertilització orgànica augmenta la quantitat de C fixat als sòls."
4. "Potser com més altes siguin les dosis de fertilitzant orgànic més C és fixat als sòls."

És a dir la quantitat de C orgànic captat varia segons les diferents pràctiques agrícoles, i les pràctiques que l'afavoreixen són el mínim maneig (sembra directa), la fertilització orgànica i les altes dosis de fertilització (150 kg ha^{-1}).

Després d'analitzar els resultats obtinguts, hem pogut corroborar les diferents hipòtesis.

La primera hipòtesis és certa perquè com hem vist als resultats depenent de la pràctica agrícola que es dugui a terme, el sòl captarà més carboni orgànic o menys, i per tant **les diferents pràctiques agrícoles influeixen en la fixació de C en els sòls agrícoles.**

La segona, la tercera i la quarta hipòtesis, també són correctes i queden demostrades a partir dels resultats obtinguts. Així doncs podem afirmar que **la reducció de maneig del sòl, les dosis altes de fertilització i la fertilització orgànica són les pràctiques agrícoles que augmenten la fixació de C en els sòls agrícoles.**

VALORACIÓ PERSONAL

La meva valoració del treball és molt positiva. Primerament, crec que a l'hora de fer la recerca de la part teòrica vaig aprendre moltes coses sobre el canvi climàtic, l'agricultura i mètodes utilitzats en l'agricultura, tot i que no totes les informacions estan reflectides en el treball, ja que la quantitat d'informació que vaig cercar i interioritzar és molt gran, i ha estat sintetitzada ja que tota no la podia posar al treball.

Pel que fa a la part pràctica, tant el treball de camp, com l'experiència viscuda a la universitat ha estat molt enriquidora i m'ha permès conèixer més el món de la recerca universitària. Durant l'estància a la universitat vaig aprendre moltes coses noves, vaig tenir l'oportunitat de participar en les activitats del departament i del Grup de Recerca, així com anar al camp a prendre mostres, visitar explotacions agrícoles, ajudar a fer mostres i determinacions, fer les determinacions necessàries per al meu treball al laboratori de la universitat amb l'ajuda de la tècnica de laboratori, i per últim però no menys important compartir moments amb tota la gent del departament i amb les estudiants que feien les pràctiques a l'empresa.

Vull remarcar que la producció d'aquest treball m'ha satisfet molt a nivell personal, sobretot la part pràctica duta a terme a la universitat, tant les activitats relacionades amb el meu treball, com les altres activitats del departament en les que vaig poder participar. La part pràctica em va permetre endinsar-me també en la pagesia i la recerca en aquest àmbit. Apart d'això, crec que va ser important per a mi veure com la pagesia també és molt present en el món de la recerca i que hi ha molts agricultors implicats en que aquesta pugui avançar.

M'hagués agradat haver-me centrat una mica més en el meu territori, Les Garrigues, per saber quina contribució podria arribar a fer en la lluita contra el canvi climàtic. També m'ha sorprès molt la utilització de la tècnica de la sembra directa, la qual desconeixia, i els avantatges que té.

Per últim, crec fermament que l'agricultura pot tenir un paper molt important per poder mitigar el canvi climàtic fent servir les pràctiques agrícoles adients per captar més C orgànic als sòls agrícoles, i utilitzant els camps de conreu com a reserves de carboni.

6. BIBLIOGRAFIA I WEBGRAFIA

ÁLVARO-FUENTES J., PLAZA-BONILLA D., ARRÚE JL., CANTERO-MARTINEZ C. 2013. Siembra directa y mitigación de gases de efecto invernadero. *Tierras*, 207:64-68.

ARRÚE JL., ÁLVARO-FUENTES J., CANTERO-MARTINEZ C. 2013. La eficiencia energética en la agricultura de conservación frente a la agricultura tradicional. *Agrónomos*, 43: 42-47

CANTERO-MARTINEZ C., MONCUNIL J. 2011. Anàlisi agronòmica i ambiental dels cultius cerealístics de secà de la plana de Lleida. Ed. Universitat de Lleida.

FAO; ITPS; GSP. (2015). *CAN CARBON (SOC) offset the Climate Change* (Disponible online a: <http://www.fao.org/3/a-bl100e.pdf>).

IPCC, 2013: "Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático" [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América

K. Paustian, J. S. (2000). *Management options for reducing CO2 emissions from agricultural soils*. *Biogeochemistry* 48: 147–163, 2000.

Lal, R. (2004). *Soil carbon sequestration to mitigate climate change*. *Geoderma* 123 (2004) 1–22

Lal, R., & Kimble, J. (1997). *Conservation tillage for carbon sequestration*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 243–253, 1997.

Paustian, K. (2005). *CARBON EMISSIONS AND SEQUESTRATION*. Colorado: Elsevier.

PLAZA-BONILLA D., ÁLVARO-FUENTES J., CANTERO-MARTINEZ C. 2014. Identifying soil organic carbon fractions sensitive to agricultural management practices. *Soil and Tillage Research* 139:19-22.

PLAZA-BONILLA D., CANTERO-MARTINEZ C., BARECHE J., ARRUE JL., LAMPURLANES J., ÁLVARO-FUENTES J. 2017. Do no-till and pig slurry application improve barley yield and water and nitrogen use efficiencies in rainfed Mediterranean conditions? 2017. *Field Crops Research*, 203:74-85.

Porta, J., & López-Acevedo, M. (1986). *Tècniques y experimentos en edafología*. Universitat de Lleida. LLeida

Reicosky, D. C. (2009). *Gestión responsable del carbono del suelo*. Phytoma España, 207:57-59.

Rice, C. W. (2005). *CARBON CYCLE IN SOILS*. Kansas: Elsevier.

Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, 2007: Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

WMO. (2013). *THE GLOBAL CLIMATE 2001-2010: A DECADE OF CLIMATE EXTREMES*. World Meteorological Organization (WMO)

Corbella, D. (2016). *L'aigua i l'espai públic* [Ebook]. Barcelona: Universitat de Barcelona. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=ca&lr=&id=E3y0DgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA21&dq=calentamiento+global+causas&ots=CB4Noox15x&sig=qwYZg6K5RcinENJUpfY8wjxf35l#v=onepage&q&f=false>

Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). *Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra* [Ebook]. Retrieved from http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf

Principales Gases de Efecto Invernadero. [Ebook]. Oviedo. Retrieved from <https://www.asturias.es/medioambiente/articulos/ficheros/Principales%20Gases%20de%20efecto%20invernadero.pdf>

FAO - Sistemas agrícolas. (2019). Retrieved from http://www.fao.org/farmingsystems/description_es.htm

ANNEX

1. PRINCIPALS FÓRMULES UTILITZADES:

1.1. Càlcul de contingut de Carboni orgànic (%)

D'acord amb el fonament del mètode seguit (Porta & López-Acevedo, 1986), la valoració per retorcés amb la sal ferrosa permet determinar l'excés de dicromat potàssic. Es calcula el dicromat gastat, equivalent al carboni orgànic obtingut en la mostra. Així doncs per torbar el % de Carboni orgànic s'utilitza la següent fórmula:

$$\% C \text{ orgànic} = V_B - V_M \text{ ml} \times N_{Fe} \frac{\text{meq}}{\text{ml}} \times \frac{12 \text{ mg C}}{4 \text{ meq C}} \times \frac{1}{p \text{ g sòl}} \times \frac{1 \text{ g C}}{1000 \text{ mg C}} \times f$$

V_B = volum de sal ferrosa gastada en l'assaig en blanc.

V_M = volum de sal ferrosa gastada amb la mostra.

N_{Fe} = normalitat de la sal ferrosa.

p = pes de la mostra en g.

f = factor de recuperació (d'acord amb la tècnica operatòria seguida, en aquest cas el seu valor és 1,29).

Els resultats s'expressen com percentatge de carboni orgànic.

1.2. Càlcul de contingut de matèria orgànica (%)

Per fer el càlcul del contingut de matèria orgànica (%) es multiplica el % de C orgànic obtingut anteriorment per el factor de recuperació. El factor de recuperació depèn de la intensitat de l'oxidació del carboni orgànic, en el mètode aplicat, es suposa una recuperació del 77% de carboni orgànic de la mostra, per tant f equival a 1,72.

$$\% m.o. = \% C \times 1.72$$

Els resultats s'expressen com percentatge de carboni orgànic.

1.3. Càlcul contingut de Carboni orgànic en el sòl.

Per calcular el contingut de carboni orgànic en cada mostra analitzada, primer es calcula el pes del sòl per hectàrea amb la següent fórmula:

$$\text{Pes del sòl} = 1ha \times Prof \times da$$

1ha= 10000m²

Prof= profunditat característica de la mostra (expressada en m)

Da= densitat aparent característica de la mostra (expressada en t/m³)

El resultat obtingut s'expressa en t/ha.

Un cop obtingut el pes del sòl per hectàrea aquest es multiplica per el % de Carboni obtingut en la determinació anterior i es busca el contingut de Carboni orgànic per hectàrea amb la següent fórmula:

$$\boxed{\text{Contingut C orgànic} = \%C \text{ orgànic} \times \text{pes del sòl}}$$

El resultat obtingut s'expressa en Kg C/ha.

2. FITXA DE LABORATORI PER A LA DETERMINACIÓ DEL CARBONI ORGÀNIC DEL SÒL

- El mètode està extret del llibre *Técnicas y experimentos en edafología* (Porta & López-Acevedo, 1986).

Procediment

1. Un cop mòltes i tamisades les mostres les pesarem en unes safates quadrades de plàstic o amb paper d'alumini. El suport ha de ser lleuger per minimitzar l'error. Les mostres es pesen en una balança de precisió de quatre dígits, que està a l'edifici 5B dins dels serveis científico-tècnics. Un cop pesada la mostra i **apuntat el pes a la plantilla**, es posarà en uns Erlenmeyers prèviament marcats i ordenats.

Les determinacions es faran seguint la següent sèrie:

1 Blanc + 9 mostres + 1 Blanc + 9 mostres + 1 estàndard

En els **blancs** no hi haurà mostra, només reactius.

En les mostres el pes dependrà del sistema de maneig del sòl. Generalment pesarem un gram per a totes les mostres i l'estàndard.

*L'estàndard és una mostra de sòl amb un valor conegut.

2. Deixarem els Erlenmeyers dins de la campana (al terra de la campana prèviament haurem posat papers de filtre grans, per evitar que s'embruti o es cremi) i encendrem la llum i l'extracció. Posarem un cronòmetre/"timer" en posició de count-up, i quan comencem a afegir el reactiu a les mostres el posarem en marxa, de mostra a mostra hem de deixar passar 30 s, que és el temps més que suficient per posar els reactius.
3. Traurem la Sal de Mohr de la nevera, necessita estar temperada per donar valors correctes.
4. Afegirem els reactius:
 - **10 ml de dicromat potàssic 1N**. Posarem el dicromat directament damunt de la mostra sense exercir pressió sobre l'èmbol, ja que podríem esquitxar-nos. El dicromat és molt TÒXIC (conté crom, que és

un metall pesat cancerigen), així que s'ha de manipular amb molta cura. L'agitarem una mica abans d'afegir-li l'àcid per assegurar un bon contacte entre el reactiu i el sòl.

- **20 ml d'àcid sulfúric concentrat 95%**. Quan posem l'àcid hem de procurar que aquest rellisqui per la paret de l'Erlenmeyer, ja que quan aquest entri amb contacte amb el dicromat, començarà a bombollejar, despendrà gasos tòxics i s'escalfarà, i així també evitarem escatxigades. S'ha de tenir molta cura, ja que aquest amb contacte amb la pell **pot cremar**.
- 5. Quan hagin passat 30 minuts des de l'afegit del dicromat a la primera mostra, pararem la reacció amb **50 ml d'aigua destil·lada**. Això ho farem amb el mateix ordre que hem seguit amb els reactius, amb 30s entre mostra i mostra. Així ens assegurem que el temps de reacció és el mateix per a totes les mostres.
- 6. Deixarem que es refredi la reacció, un cop passats uns 30 minuts aproximadament, i quan notem que els Erlenmeyers ja estan més freds, afegirem **7 gotes d'ortofenantrolina**, que actua d'indicador.
- 7. Començarem a valorar les reaccions amb la Sal de Mohr. Per això s'utilitzarà una bureta aforada de doble enràs. Comprovarem que les aixetes de la bureta estan tancades, i amb l'ajuda d'un embut, posarem la Sal de Mohr dins d'aquesta i l'enrasarem a 0. Al anar afegint Sal de Mohr va mostra va adquirint una coloració verd maragda (o grisenca en el cas de les mostres i del estàndard) i, finalment, vira a roig de forma clara.
En els blancs el canvi és més fàcil ja que només hi ha reactius i la solució és clara. En el cas de les mostres són més tèrboles.
- 8. Apuntar els ml de Sal de Mohr utilitzats en la reacció a la plantilla de dades.
- 9. Un cop determinades les mostres i anotats els resultats, haurem de netejar els Erlenmeyer. Per això, agitarem la solució i la tirarem a una garrafa especial per a residus. **Mai tirar per la pica, ÉS MOLT TÒXIC PEL MEDI AMBIENT**. Reomplirem els Erlenmeyer amb aigua i ho tornarem a tirar a la garrafa especial per a residus (primera esbandida). Després ja els podrem netejar amb aigua i sabó. Si s'han d'utilitzar en breu els ficarem a eixugar a l'estufa d'aire forçat.
- 10. Netejarem la bureta aforada amb sabó i aigua abundant.

Recomanacions a seguir:

1. La mostra ha d'estar en agitació contínua durant la determinació. Suau moviment de canell.
2. Generalment les mostres solen necessitar més de 10ml de Sal de Mohr, però de vegades no és així, precaució amb no passar-se de l'enràs.
3. Quan veiem que la gota que cau s'està tornant roja però al agitar no vira, vol dir que està apunt de virar, afegirem les gotes molt lentament.
4. Procurar no sobresaturar la reacció, quan veiem que vira la reacció no afegirem més gotes, estarem fent un error de lectura.

Precaucions a tenir en compte:

1. Per manipular aquests productes és imprescindible portar bata cordada i guants.
2. Treballar sempre dins de la campana. Els productes desprenen gasos TÒXICS.
3. Els dispensadors dels reactius, sobretot el de l'àcid, han de ser especials. Els plàstics es poden desfer pel contacte amb l'àcid si no són resistents.
4. Atenció al manipular els reactius, s'ha de vigilar molt on es fiquen les mans i els braços per evitar cremades. Si et cau reactiu a la pell, netejar immediatament amb aigua abundant i aplicar una crema per a cremades.

Resum del procediment:

1. Pesa 1 o 1.5 g de sòl mòlt i tamisat (0.5 mm). Apuntar el pes a la plantilla.
2. Afegir 10 ml de dicromat potàssic.
3. Afegir 20 ml d'àcid sulfúric.
4. Passats 20 minuts parar la reacció amb 30 ml d'aigua destil·lada.
5. Deixar refredar.
6. Afegir 7 gotes d'ortofenantrolina.
7. Determinar amb Sal de Mohr i apuntar el resultat a la plantilla.
8. Llençar els residus i la primera esbandida a la garrafa de residus.
9. Netejar i eixugar els Erlenmeyer per a la pròxima determinació.

Problemes que poden sorgir durant la determinació.

1. No hem apuntat el pes de les mostres. **Haurem de tornar a repetir-les ja que el pes de les mostres és vital.**
2. No hem connectat la campana extractora al afegir els reactius. **Connectar-la immediatament i obrir les finestres per airejar la sala.**
3. Els reactius han escatxigat sobre la pell o la campana. **Posar la pell exposada al reactiu amb aigua abundant i aplicar una crema per cremades. Netejar la campana amb paper o baieta, el que es tingui més a mà, i canviar els papers de filtre si és precís.**
4. Quan afegim l'àcid no veiem cap reacció. **L'àcid pot estar caducat o en mal estat. Descartar. Tirar-lo al contenidor de residus habilitat i repetir la mostra.**
5. Ens hem passat amb l'enràs en la bureta de la Sal de Mohr. **Repetir la mostra.**
6. Estem determinant la reacció, posem més del doble de Sal de Mohr i no obtenim viratge. **Ens hem oblidat de posar l'ortofenantrolina. Repetir la mostra.**
7. Hem ficat ortofenantrolina però no vira. **Està en mal estat, tirar-la a la garrafa de residus i preparar-ne de nova.**
8. L'ortofenantrolina precipita. **Està en mal estat, tirar-la a la garrafa de residus i preparar-ne de nova.**
9. Hem tirat la mostra a la pica per error. **Deixar baixar l'aigua una bona estona per provar de diluir-la i que no causi danys a les canonades, i NO TORNAR-HO A FER MÉS.**

REACTIUS

Dicromat potàssic 1N

Es compra preparat.

Àcid sulfúric 95%

Es compra preparat.

Sal de Mohr.

196.1 g sulfat amoni ferrós 0.5N

20 ml àcid sulfúric

Aigua destil·lada C.S.P. 1 L

Pesar 196.1 g de sulfat amoni ferrós 0.5N (o Sal de Mohr)

Posar-ho en un matràs aforat d'1 L i afegir 800 ml d'aigua destil·lada.

Afegir 20 ml d'àcid sulfúric. Sempre fent-lo relliscar per les parets, mai directament sobre l'aigua.

Agitar fins que estigui dissolt del tot, i enrasar fins a 1L.

Un cop utilitzat, guardar la resta a la nevera. La Sal de Mohr té una vida útil relativament curta. La deriva en els valors obtinguts en els blancs ens pot donar una idea del seu estat.

Ortofenantrolina

1.48 g ortofenantrolina monohidratada

0.7 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Aigua destil·lada C.S.P. 100 ml

Pesar els reactius i posar-los dins d'un matràs aforat de 100 ml. Amb 80 ml.

Agitar la solució. Costa una mica de desfer.

Un cop dissolt enrasarem amb aigua destil·lada fins 100 ml.

Posarem la solució en una botella amb comptagotes on apuntarem el nom del reactiu i la data de preparació.

MATERIAL A PREPARAR PER LA DETERMINACIÓ

Plantilla per apuntar les dades.

Reactius: Dicromat potàssic, àcid sulfúric, ortofenantrolina

Matràs de Sal de Mohr, a la nevera (deixar temperar a temperatura ambient) o preparar-la amb anterioritat.

21 Erlenmeyer retolats i ordenats de l'1 al 18 més els dos blancs i l'estàndard.

Dispensadors per a reactius de 10 ml, adaptats per àcids.

Paper d'alumini per tapar les puntes dels dispensadors.

Paper de filtre per la campana.

Botella d'aigua destil·lada amb dispensador de 100ml.

Garrafa de 5L d'aigua destil·lada.

Cronòmetre/ "timer".

Bureta aforada.

Soport de bureta.

Embut.

3 vasos de precipitats per purgar els reactius. 1 per cada un, **mai barrejar**.

Safata per pesar.

Cullera per pesar.

Garrafa de residus.

Safata gran per posar els Erlenmeyer.

Safata per posar el sòl.

Taper de l'estàndard.

Caixa buida per posar les mostres analitzades.

Material de protecció: Bata i guants.

3. TRACTAMENT DE DADES OBTINGUDES

3.1. CONTINGUT DE CARBONI ORGÀNIC INICIAL (2010)

Segons sistema de maneig del sòl:

SISTEMA DE MANEIG	PROFUNDITAT	Contingut de C _{org} (t C ha ⁻¹)
SEMBRA DIRECTA	TOTAL	202,3152193
	0-5	45,57309554
	5-10	40,28060722
	10-25	116,4615165
MANEIG INTENSIU	TOTAL	197,1195563
	0-5	44,0398337
	5-10	39,8159916
	10-25	113,263731

Segons sistema de fertilització:

SISTEMA DE FERTILITZACIÓ	PROFUNDITAT	Contingut de C _{org} (t C ha ⁻¹)
0	TOTAL	85,08261808
	0-5	19,4558477
	5-10	16,48393539
	10-25	49,142835
75 MIN	TOTAL	79,88695511
	0-5	17,92258585
	5-10	16,01931976
	10-25	45,9450495
150 MIN	TOTAL	74,69129214
	0-5	16,389324
	5-10	15,55470414
	10-25	42,747264
75 ORG	TOTAL	85,08261808
	0-5	19,4558477
	5-10	16,48393539
	10-25	49,142835
150 ORG	TOTAL	74,69129214
	0-5	16,389324
	5-10	15,55470414
	10-25	42,747264

3.2. CONTINGUT DE CARBONI ORGÀNIC FINAL (2017)

Segons sistema de maneig del sòl:

SISTEMA DE MANEIG	PROFUNDITAT	Contingut de C _{org} (t C ha ⁻¹)
SEMBRA DIRECTA	TOTAL	224,2255346
	0-5	66,66465173
	5-10	47,99782536
	10-25	109,5630575
MANEIG INTENSIU	TOTAL	188,2367917
	0-5	40,1154858
	5-10	39,35840804
	10-25	108,7628979

Segons sistema de fertilització:

SISTEMA DE FERTILITZACIÓ	PROFUNDITAT	Contingut de C _{org} (t C ha ⁻¹)
0	TOTAL	74,24416452
	0-5	17,46220717
	5-10	17,2329907
	10-25	39,54896665
75 MIN	TOTAL	78,97497954
	0-5	18,13847767
	5-10	16,02203019
	10-25	44,81447168
150 MIN	TOTAL	88,92148519
	0-5	25,40051686
	5-10	18,70052793
	10-25	44,82044041
75 ORG	TOTAL	83,84571313
	0-5	21,10611029
	5-10	18,10993866
	10-25	44,62966418
150 ORG	TOTAL	86,47598391
	0-5	24,67282554
	5-10	17,29074593
	10-25	44,51241244

3.3. DIFERÈNCIA CAPTACIÓ DE CARBONI ORGÀNIC (2017-2010)

Segons sistema de maneig del sòl:

SISTEMA DE MANEIG	Contingut de C_{org} 2010	Contingut de C_{org} 2017	DIFERÈNCIA C_{org} (t C ha⁻¹)
SEMBRA DIRECTA	202,3152193	224,2255346	21,9103153
MANEIG INTENSIU	197,1195563	188,2367917	-8,882764577

Segons sistema de fertilització:

SISTEMA DE FERTILITZACIÓ	Contingut de C_{org} 2010	Contingut de C_{org} 2017	DIFERÈNCIA C_{org} (t C ha⁻¹)
0	85,08261808	74,24416452	-10,83845357
75 MIN	79,88695511	78,97497954	-0,911975577
150 MIN	74,69129214	88,92148519	14,23019305
75 ORG	85,08261808	83,84571313	-1,23690495
150 ORG	74,69129214	86,47598391	11,78469176

3.4. TAXA CAPTACIÓ de CARBONI ORGÀNIC AL SÒL

Segons sistema de maneig del sòl:

SISTEMA DE MANEIG	DIFERÈNCIA C_{org}	TAXA CAPTACIÓ CARBONI (t C $ha^{-1} any^{-1}$)
SEMBRA DIRECTA	21,9103153	3,13
MANEIG INTENSIU	-8,882764577	-1.268966

Segons sistema de fertilització:

SISTEMA DE FERTILITZACIÓ	DIFERÈNCIA C_{org} (t C ha^{-1})	TAXA CAPTACIÓ CARBONI (t C $ha^{-1} any^{-1}$)
0	-10,83845357	-1,54835
75 MIN	-1,23690495	-0,1767
150 MIN	-0,911975577	-0,13028
75 ORG	11,78469176	1,683527
150 ORG	14,23019305	2,032885