

---

This is the **published version** of the bachelor thesis:

Escrits Mañosa, Albert; Domene, Xavier , dir. Efecte de la mínima llaurada i la no llaurada en els estocs de carboni en els sòls agrícoles d'Espanya. 2023. (Grau en Biologia Ambiental)

---

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/291991>

under the terms of the  license

# Efecte de la mínima llaurada i la no llaurada en els estocs de carboni en els sòls agrícoles d'Espanya



**UAB**  
Universitat Autònoma  
de Barcelona

Albert Escrits Mañosa  
Biologia Ambiental  
Treball de fi de grau; Anàlisi de dades  
Tutor: Xavier Domene  
Universitat Autònoma de Barcelona

## Índex

|                        |    |
|------------------------|----|
| Antecedents            | 2  |
| Hipòtesis i Objectius  | 5  |
| Materials i mètodes    | 6  |
| Resultats              | 8  |
| Discussió              | 17 |
| Conclusions            | 18 |
| Bibliografia           | 19 |
| Annex 1: Base de dades | 23 |

## Antecedents

### L'agricultura i el segrest de carboni

Els sòls agrícoles tenen un paper clau en el cicle del carboni, ja que l'agricultura constitueix una de les majors fonts d'emissió de carboni a l'atmosfera. (Lopez-Fando & Pardo, 2011). Ara bé, el segrest de carboni consisteix en emmagatzemar carboni atmosfèric al sòl evitant la seva emissió a l'atmosfera. Un cop retingut en el sòl, la degradació d'aquest carboni (matèria orgànica) pot durar segles, fins i tot mil·lennis. L'aplicació a gran escala de pràctiques agrícoles que permetin el segrest de carboni podria ajudar a eliminar més carboni de l'atmosfera que el que emet tot el sector agrícola (Moreno-García et al., 2020). El potencial de les diferents eco regions per a segrestar carboni varien en funció del clima, és major en zones tropicals i en temperades; on les condicions de creixement pels cultius són més favorables. I menor en les zones àrides i semiàrides degut a les sequeres i a la menor captura de carboni per àrea. Però, al haver gran superfície d'aquestes característiques a escala global la capacitat de captura és significativa. Algunes de les tècniques per afavorir-ho són: gestió del residu orgànic, mulching, sistemes de llaurada de conservació, rotació de cultius, evitar el sòl descobert... (Lopez-Fando & Pardo, 2011).

El segrest de carboni es pot donar per dues vies diferents: el segrest del carboni inorgànic (SIC) i/o a través del carboni orgànic (SOC). Les formes SIC predominants són minerals carbonatats o bé derivats de la roca mare (primari, litogènic) o sintetitzat durant la formació del sòl (secundària, pedogènica). Els carbonats secundaris es formen per la reacció de l'àcid carbònic diluït amb  $\text{Ca}^{2+}$  o  $\text{Mg}^{2+}$ . Aquest procés és el mecanisme principal pel segrest de SIC en climes àrids i semiàrids. En canvi, la capacitat de segrest SOC es regeix pel complex d'interaccions dels pools de SOC amb la comunitat microbiana. Creant estructures al llarg del temps, juntament amb factors biòtics, abiòtics i en el grau d'associació SOC amb compostos inorgànics persistents (Lal et al., 2015). Les plantes i la matèria orgànica del sòl (SOM) controlen l'estructura del sòl i la dinàmica del SOC. La quantitat i qualitat dels residus determinen la formació i estabilització de l'estructura agregada pel segrest SOC. Els residus vegetals a través de processos microbians generen complexos i substàncies que serveixen de marc mecànic per a l'enllaç de partícules del sòl en agregats. Les arrels i els residus de les plantes són l'esquelet orgànic primari per engranar les partícules inorgàniques i crear macro i microagregats mentre es segresta SOC. Hi ha tres principals agents aglutinants orgànics d'agregació: temporal (arrels vegetals, hifes de fongs i cèl·lules bacterianes), transitoris (polisacàrids) i persistents (compostos húmics i polímers) (Blanco-Canqui & Lal, 2004).

### “Soil organic carbon”

El carboni orgànic del sòl és considerat un indicador de la qualitat del sòl degut a les seves funcions agronòmiques i ecològiques. Els factors que influeixen en el contingut de carboni són l'ús del sòl, les propietats del sòl, la precipitació, temperatura, característiques del cultiu i practiques de gestió. Especialment sota clima mediterrani l'estoc de carboni del sòl està restringit per la baixa producció de biomassa (Carbonell-Bojollo et al., 2015). La dinàmica del carboni juga un paper crucial en el manteniment de la qualitat del sòl, promocionant la producció agrícola i protegint l'ecosistema. Un augment en el contingut de carboni del sòl;

millora l'estructura del sòl, redueix l'erosió, augmenta la retenció hídrica i la disponibilitat de nutrients pels cultius, proveeix aliment a la fauna edàfica, purifica l'aigua reduint, inhibint i diluint els contaminants, promou la biodiversitat i mitiga els efectes del canvi climàtic (*Sombrero & de Benito, 2010*).

## Degradació del sòl i Pràctiques agrícoles

L'agricultura a escala global causa degradació del sòl i altres problemes mediambientals com la contaminació, emissió de gasos d'efecte hivernacle i pèrdua de la biodiversitat. Però, ben gestionada també pot oferir un gran rang de serveis ecosistèmics (producció alimentària, regulació de l'aigua, segrest de carboni, adaptació i mitigació del canvi climàtic, augment de la biodiversitat, ús lúdic) (*Almagro et al., 2016*).

L'agricultura convencional, la més practicada a escala global, maximitza el servei ecosistèmic de provisió i pot alterar el balanç entre els serveis de regulació i suport (*De Leijster et al., 2019*). Accelera l'erosió del sòl, compactació, mineralització de la matèria orgànica, increment de les emissions dels gasos d'efecte hivernacle, increment de l'escorrentia superficial, menor control de plagues i pol·litzadors (*Almagro et al., 2016*) (*De Leijster et al., 2019*). Al contrari, l'adopció de la gestió sostenible del sòl pot mantenir o incrementar la productivitat mentre manté o inclús augmenta els serveis ecosistèmics; com el segrest de carboni, mitigació del canvi climàtic, biodiversitat i resiliència a les pertorbacions naturals i antròpiques (*Almagro et al., 2016*).

Les pràctiques de llaurada del sòl són d'especial importància en relació al carboni del sòl, perquè afecta en la dinàmica del carboni de forma directa i indirecta. La llaurada a llarg termini pot reduir l'estoc de carboni fins al 20-50% (*Lopez-Fando & Pardo, 2011*). També, de forma continuada i intensa o bé l'excés de llaurada pot causar pèrdua de SOC, induint a un increment de l'erosió i degradació de l'estructura del sòl. Provocant danys a la biota del sòl, compactació de l'estructura, encrostament i pèrdua de la fertilitat (*Soldevilla-Martinez et al., 2013*). En canvi, l'agricultura de conservació, "no llaurada", redueix l'efecte negatiu de l'impacte de la llaurada i s'ha confirmat que té un gran potencial de convertir sòls emissors de carboni en sòls embornal, captadors de carboni atmosfèric. Els sòls sota pràctiques conservatives poden ser considerats una de les eines de mitigació de les emissions de gasos d'efecte hivernacle més importants o amb major potencial (*Lopez-Fando & Pardo, 2011*). En detall, la no llaurada o la mínima llaurada acumula carboni orgànic i nitrogen en els primers centímetres del sòl durant varis anys (*Soldevilla-Martinez et al., 2013*).

## Els sòls agrícoles espanyols

Espanya té més de 50 milions d'hectàrees de superfície agrícola. Per tant, els sistemes agrícoles de conservació del sòl poden ser una eina important per emmagatzemar gran part del carboni orgànic del sòl. Per a l'any 2015, la quantitat d'emissions produïdes per l'agricultura era de 37,4 Tg de C. Si la quantitat de carboni supera aquest valor, l'aplicació d'aquestes pràctiques agrícoles no només compensaria les emissions produïdes per l'agricultura, sinó que també mitigarà la d'altres sectors com transport, residus, habitatge, etc. L'estoc de carboni acumulat a les terres agrícoles espanyoles s'ha estimat en 901,08 Tg. El mateix estudi dona una quantitat total de 2.819,86 Tg de carboni per a tots els sòls Espanya

(Moreno-García et al., 2020). Per tant, segons aquestes dades els sòls agrícoles espanyols tenen una mitjana de 18,02 Tones de carboni per hectàrea. En canvi, el contingut de carboni orgànic (SOC) mitjà en els sòls espanyols és de 1,727 T/ha (Rodríguez Martín et al., 2016). Llavors, l'objectiu hauria de ser que tots els sòls agrícoles es trobessin per sobre del valor agrícola mitjà de carboni ( 18,02 T/ha). D'aquesta manera, ajudariem a compensar les emissions de carboni.

En les zones àrides i semi-àrides, la menor concentració de matèria orgànica del sòl i la continua pèrdua degut al clima, fan de l'agricultura de conservació una interessant sistema de gestió. L'agricultura de conservació ( no llaurada) en zones semiàrides pot augmentar la sostenibilitat del sistema agrícola a llarg termini a través de l'augment de matèria orgànica del sòl i la millora en la qualitat del sistema bioquímic del sòl en els primers centímetres (Soldevilla-Martinez et al., 2013).

## Objectius concrets i Hipòtesis

- Poder determinar si la pràctica agrícola de no llaurar o mínima llaurada influeix positivament o negativament en el segrest de carboni en els sòls espanyols.
- Quin efecte produeix en el segrest de carboni en cas que afecti positivament o negativament.
- Com afecten altres variables al segrest de carboni en sòls espanyols com la precipitació mitjana anual, la temperatura mitjana anual, el percentatge d'argiles al sòl, els anys d'implementació i el clima?
- Quin paper tenen els sòls espanyols en aquest segrest de carboni en context de canvi climàtic.

### Hipòtesis principal

**Hipòtesis nul·la:** la tipologia de no llaurada no causa cap efecte en el contingut de carboni orgànic del sòl.

**Hipòtesis alternativa:** la tipologia de no llaurada està relacionada amb al contingut de carboni orgànic del sòl. S'espera obtenir una relació positiva, un increment en el contingut de carboni orgànic del sòl en pràctiques de no llaurada.

### Hipòtesis secundàries

- **Hipòtesis nul·la:** la tipologia de mínima llaurada no causa cap efecte en el contingut de carboni orgànic del sòl.
- **Hipòtesis alternativa:** la tipologia de mínima està relacionada amb al contingut de carboni orgànic del sòl. S'espera obtenir una relació positiva, un increment en el contingut de carboni orgànic del sòl en pràctiques de mínima llaurada.
- **Hipòtesis nul·la:** la precipitació no causa cap efecte en el contingut de carboni orgànic del sòl.
- **Hipòtesis alternativa:** la precipitació està relacionada amb al contingut de carboni orgànic del sòl.

- **Hipòtesis nul·la:** la temperatura no causa cap efecte en el contingut de carboni orgànic del sòl.
- **Hipòtesis alternativa:** la temperatura està relacionada amb al contingut de carboni orgànic del sòl.
- **Hipòtesis nul·la:** el contingut d'argiles del sòl no causa cap efecte en el contingut de carboni orgànic del sòl.
- **Hipòtesis alternativa:** el contingut d'argiles del sòl està relacionat amb al contingut de carboni orgànic del sòl.
- **Hipòtesis nul·la:** els anys d'implementació no causen cap efecte en el contingut de carboni orgànic del sòl.
- **Hipòtesis alternativa:** els anys d'implementació estan relacionats amb al contingut de carboni orgànic del sòl.
- **Hipòtesis nul·la:** el clima no causa cap efecte en el contingut de carboni orgànic del sòl.
- **Hipòtesis alternativa:** el clima està relacionat amb al contingut de carboni orgànic del sòl.

## Materials i mètodes (metodologia)

La mesura escollida per a analitzar és el contingut de carboni orgànic del sòl (estoc de carboni) en l'horitzó Ap, entre 0 i els primers 40 cm de profunditat. Comparant dues tipologies de llaurada; la no llaurada i la mínima llaurada. També, s'han anotat dades de textura del sòl, precipitació mitjana anual, durada del tractament, localització, clima i temperatura mitjana anual. Els criteris de recerca que s'han usat: "texture" & "agriculture" & "SOC" & "spain" & ("no tillage" OR "reduced tillage") i acotant a articles publicats a partir del 2009 en sòls agrícoles espanyols. Després de revisar aproximadament uns 1500 articles s'ha pogut obtenir una base de dades de 115 mesures a partir de 29 articles.

La base de dades obtinguda s'han categoritzat de la següent manera: nom del estudi, any de publicació, tipologia de llaurada (convencional, mínima o no llaurada), profunditat d'anàlisi, estoc de carboni (Mg/ha), desviació estàndard, nº de rèpliques, valor de precipitació mitjana anual, temperatura mitjana anual, percentatge d'argiles, clima, i anys d'implementació. Les dades aportades pels articles s'han verificat amb les coordenades de cada estudi i el portal climatecharts (*Zepner et al., 2021*). També, per estandaritzar, la tipologia climàtica de referència ha estat la classificació Köppen (*Kottek et al., 2006*).

El valor de llaurada convencional ha estat considerat el control i els valors de mínima llaurada i no llaurada s'han considerat tractaments. Per tant, obtenim un control i 2 tractaments. A continuació, s'han analitzat les dades obtingudes.

La metodologia escollida és la realització d'un metanàlisi. El metanàlisi és un mètode sistemàtic per sintetitzar resultats de diferents estudis empírics sobre l'efecte d'una variable independent, tractament en aquest cas, en un resultat final precís. Aquest el pondera per importància de les dades utilitzades. Ens permet obtenir un nivell de rigor científic i de fiabilitat molt més alt, a part, ens permet treballar amb les dades obtingudes i extreure conclusions (*Mario Ceroni Galloso, 2007*). La tipologia de Metaanàlisi usada ha sigut la

d'efecte aleatori, comparant la diferència de mitjanes. Ja que el conjunt d'estudis no són exactament idèntics en els seus mètodes i/o les característiques de les mostres incloses. Per tant, s'assumeix que els efectes veritables es distribueixen normalment amb mitjana i variància. L'objectiu és estimar l'efecte veritable mitjà i la quantitat (total) d'heterogeneïtat entre els efectes reals (*Mario Ceroni Galloso, 2007*).

Per a les variables climàtiques de precipitació, temperatura i pels anys d'implementació s'ha realitzat una regressió lineal simple i posteriorment un test d'anova. En el cas del % d'argiles, degut a que molts estudis només mostraven la textura sense especificar els percentatges concrets, s'han extrapolat en 7 categories usant de referència la piràmide de textures del sòl (*Yaalon, 1989*). Prèviament, totes les textures s'han revistat i modificat a partir del percentatge de llims, sorres i argiles (*soil-texture-calculator @ www.nrcs.usda.gov, s.d.*). En el cas de la variable clima, s'ha calculat la mitjana per a cada tipologia de clima i de llaurada obtenint un diagrama de barres on es mostren els nivells de carboni en el sòl segons tipologia climàtica.



## Resultats

### No llaurada, “No-tillage”

L'estoc de carboni és significativament diferent a les parcel·les amb no llaurada en el conreu en comparació amb les parcel·les amb conreu convencional quan es considera els primers 40cm del sòl. La diferència mitjana és de 4,03 tC ha<sup>-1</sup> més en conreu sense llaurada. El test Q mostra heterogeneïtat significativa (Q=3176.85, p-val<0,0001), reflectint la presència d'altres variables que afecten la relació i, per tant, la necessitat d'incloure altres factors en el model. Per últim, el valor Z = 4,14 i pval= <0,0001 per tant el metanàlisi és significatiu i suficientment representatiu.

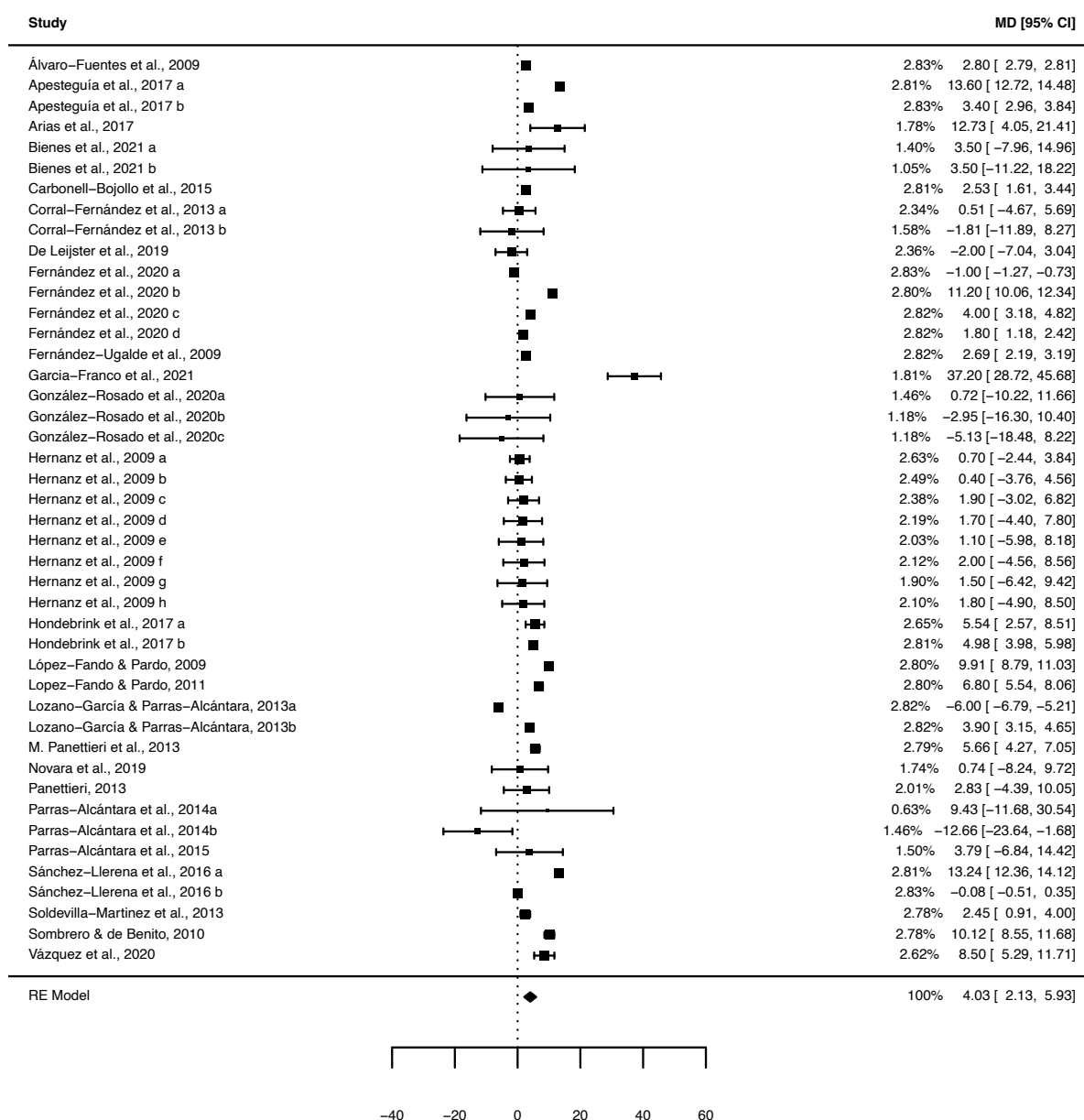
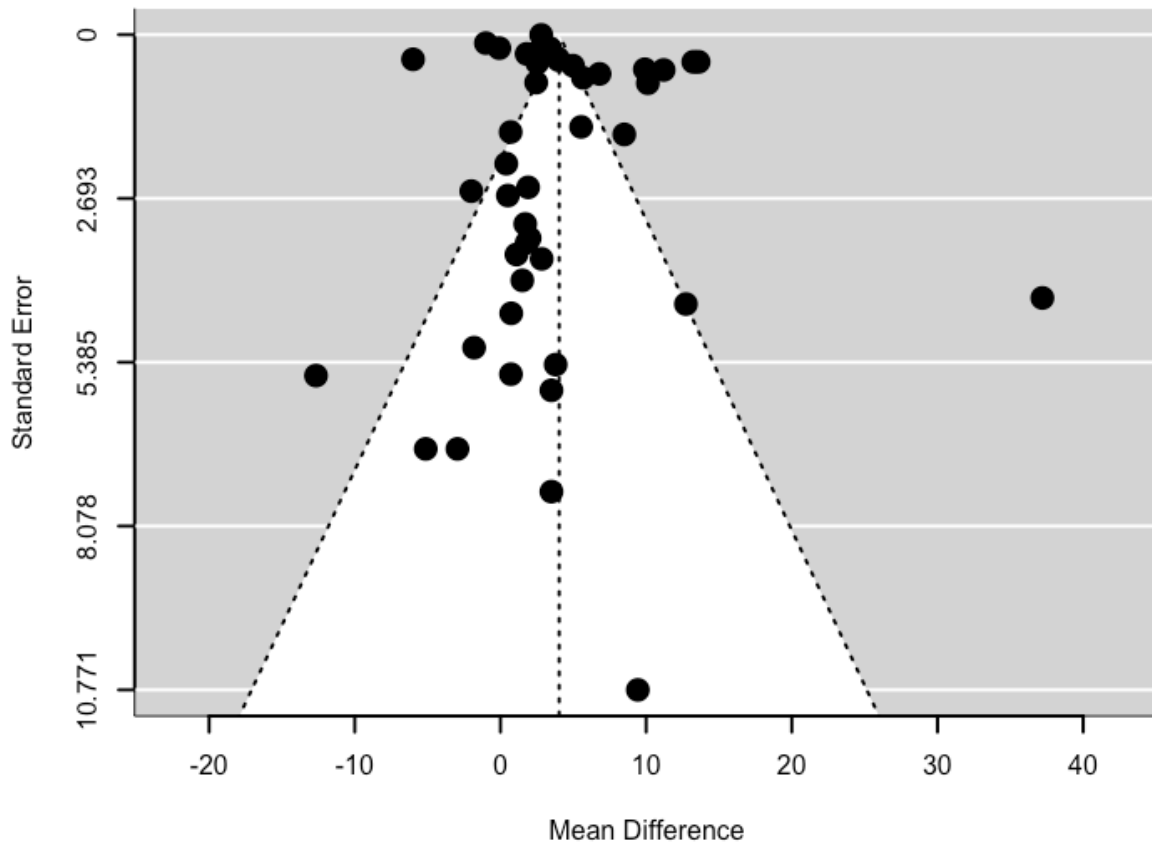


Figura 1: Metaanàlisi sobre l'efecte de la “no llaurada” sobre l'estoc de carboni en els sòls agrícoles espanyols.

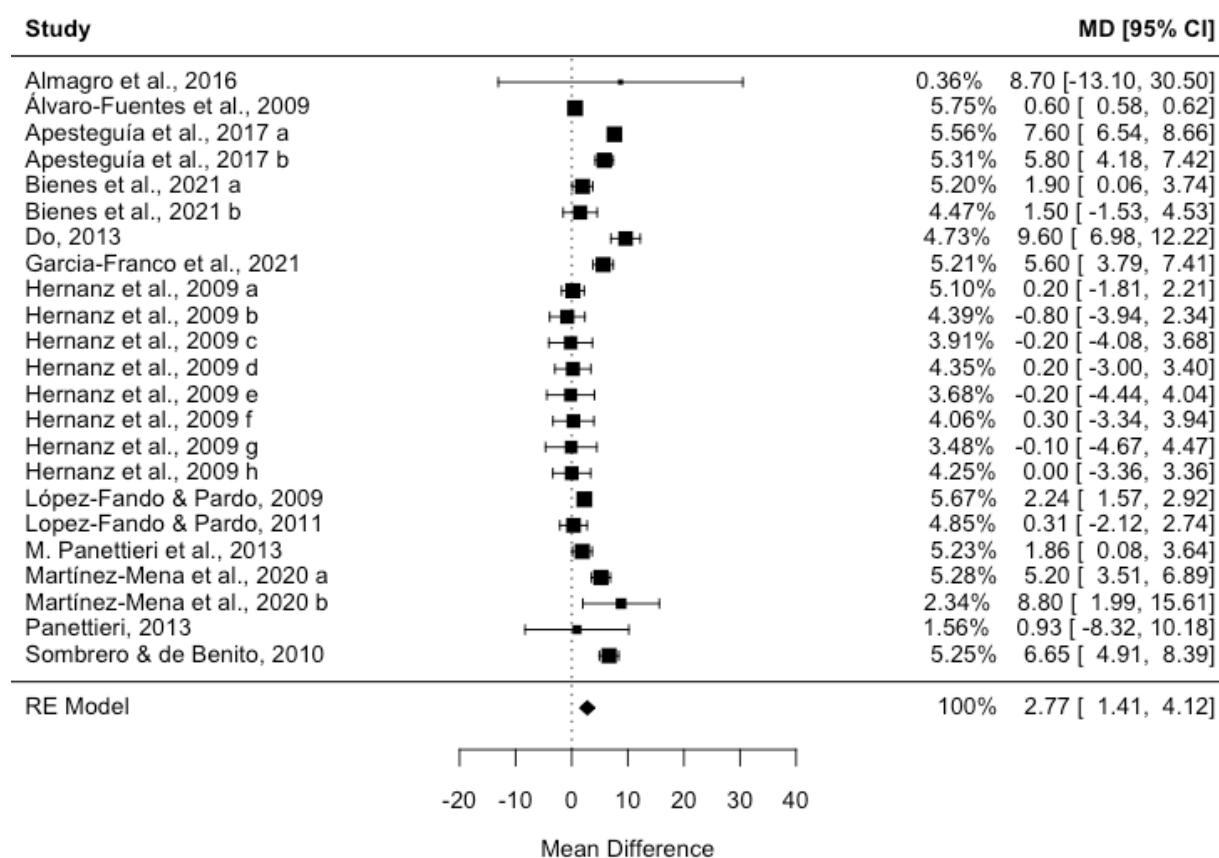
El "Funnel plot" ens mostra la relació entre la mida de l'efecte d'un estudi i la seva precisió. Ens aporta informació sobre el biaix de la publicació i l'heterogeneïtat. En aquest cas es compara amb l'error estàndard. Si les dades s'agrupen formant un embut significa que hi ha poca heterogeneïtat, en canvi quan més disperses es trobin les variables major biaix de la publicació i menor rigor científic. En el nostre cas, les dades es troben bastant agrupades a la zona de pseudo-confiança per tant tenim poca heterogeneïtat. El metanàlisi és vàlid.



**Figura 2:** "Funnel plot" comparatiu entre l'error estàndard i l'estock de carboni en els sòls agrícoles espanyols en la "no llaurada".

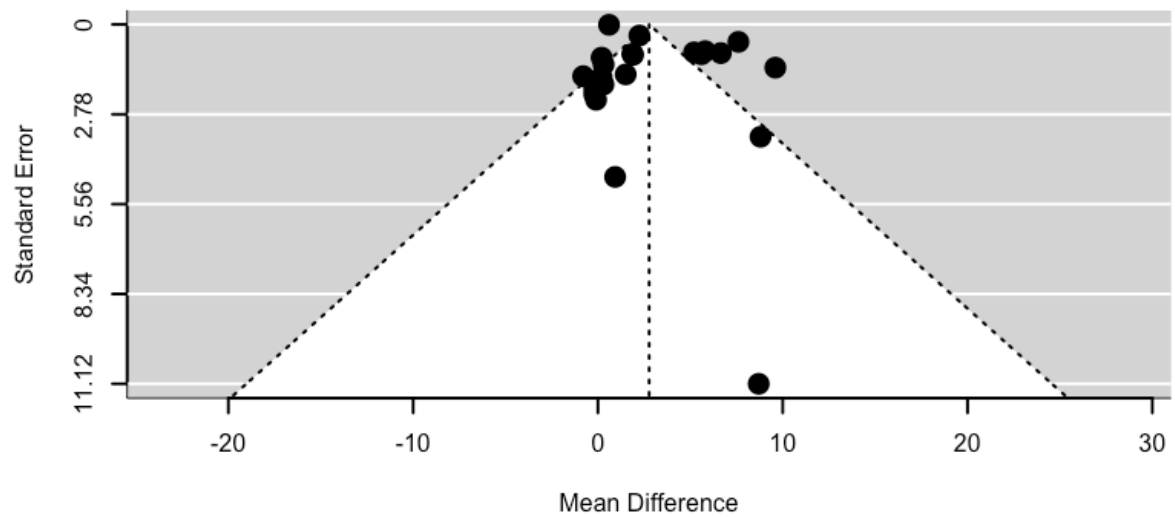
## Mínima llaurada “Reduced tillage”

L'estoc de carboni orgànic del sòl és significativament diferent a les parcel·les amb mínima llaurada en el conreu en comparació amb les parcel·les amb conreu convencional quan es considera els primers 40cm del sòl. La diferència mitjana és de 2,7697 tC ha<sup>-1</sup> més en conreu amb mínima llaurada. El test Q mostra una heterogeneïtat significativa (Q=392,73, p-val<0,0001), reflectint la presència d'altres variables que afecten la relació i, per tant, la necessitat d'incloure altres factors en el model. El valor Z = 4,0064 i el p-valor <0.0001, llavors podem concloure que el metanàlisi és representatiu i significatiu.



**Figura 3:** Metaanàlisi sobre l'efecte de la “mínima llaurada” sobre l'estoc de carboni en els sòls agrícoles espanyols.

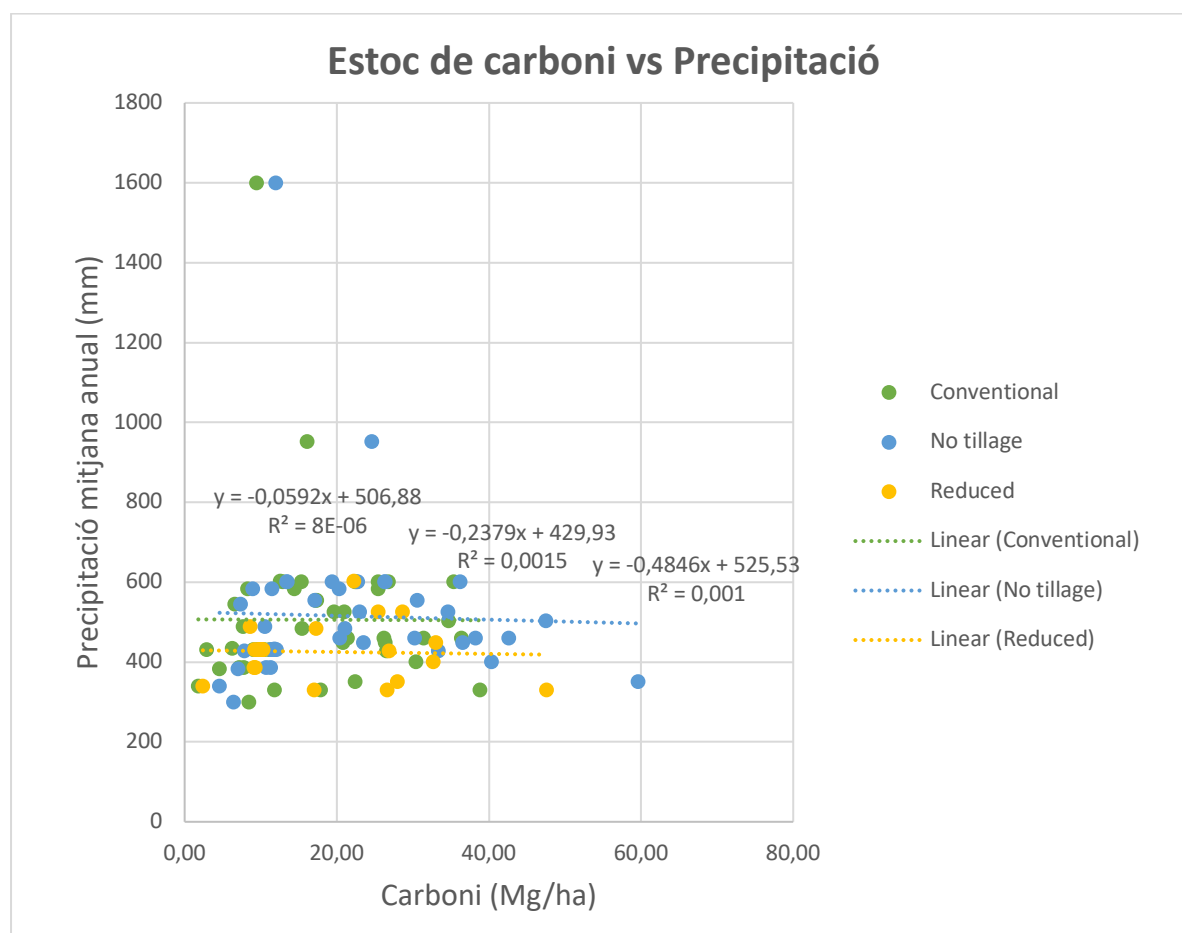
En el "Funnel plot" s'aprecia com les variables ( error estàndard) s'agrupen a la zona de pseudo-confiança. Tot i així tenim algunes dades fora de la zona, per tant, tenim major heterogeneïtat i biaix de publicació si ho comparem amb el "no tillage". Però, la variabilitat és baixa i per tant el metanàlisis és vàlid.



**Figura 4:** "Funnel plot" comparatiu entre l'error estàndard i l'estock de carboni en els sòls agrícoles espanyols en la "mínima llaurada".

## Precipitació

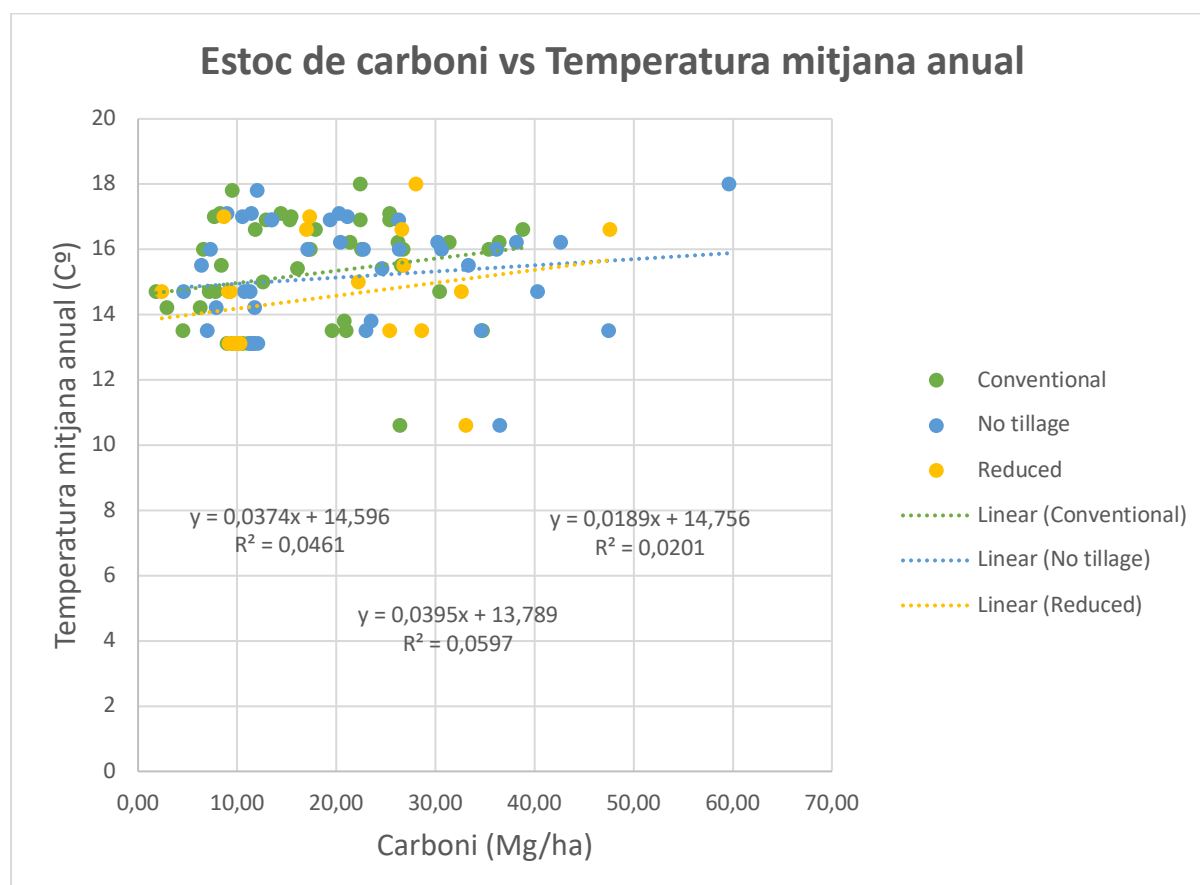
Per a determinar el possible efecte de la precipitació sobre el carboni orgànic del sòl en els sòls agrícoles s'ha comparat estadísticament amb la precipitació mitjana anual. S'han comparat les 3 tipologies: convencional, no llaurada i mínima llaurada. Els resultats obtinguts no són significatius, obtenint p-valors majors a l'interval de confiança, majors de 0,05. Concretament: en convencional 0,984, mínima llaurada 0,86 i no llaurada 0,84. Per tant, acceptem hipòtesi nul·la, no podem afirmar que hi hagi cap relació entre el contingut de carboni i la precipitació mitjana anual en els sòls agrícoles espanyols. A continuació, s'ha comparat les regressions lineals obtingudes entre elles amb un test anova, per veure si són iguals o estadísticament diferents. Els p-valors obtinguts no són significatius (0,98 i 0,86) per tant acceptem hipòtesis nul·la, les 3 regressions lineals són iguals. És a dir, es comporten de la mateixa manera vers la precipitació. Aquest fet ens reafirma la no relació entre precipitació i estoc de carboni.



**Figura 5:** Regressió lineal entre el contingut de carboni del sòl en 3 tipologies de llaurada diferent vs la precipitació mitjana anual.

## Temperatura

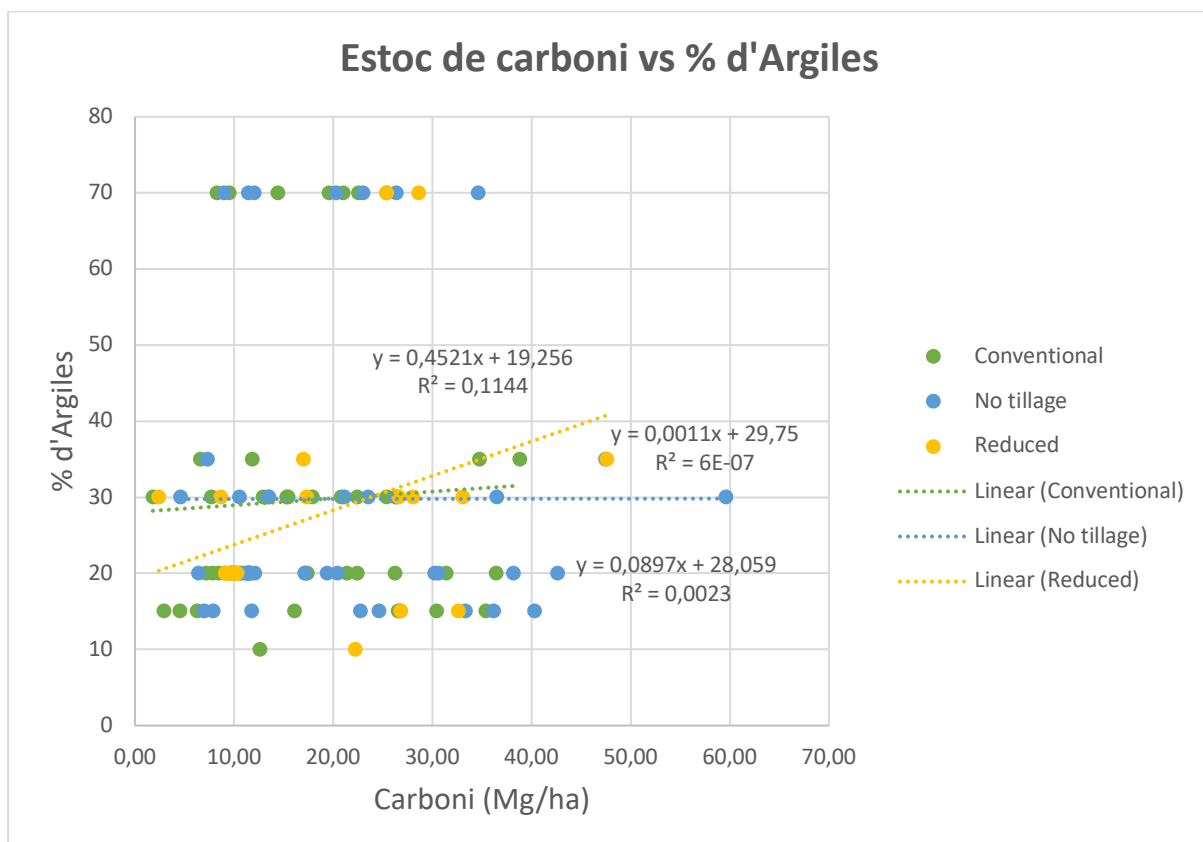
L'estoc de carboni orgànic del sòl no s'ha pogut relacionar estadísticament amb la temperatura mitjana anual. S'han comparat les 3 tipologies de llaurada amb el contingut de carboni i la temperatura mitjana anual. Els resultats obtinguts no són estadísticament significatius, obtenint valor de  $r^2$  molt baixos. Per tant, no hi ha correlació lineal entre les variables. Els p-valors obtinguts han sigut 0.143 per a convencional, 0.35 en no llaurada i 0.26 en mínima llaurada. Llavors, són majors a 0.05, acceptem hipòtesi nul·la, no hi ha efecte. No podem afirmar que hi hagi cap relació concreta entre el contingut de carboni i la precipitació mitjana anual en els sòls espanyols. També, els resultats del test d'anova, p valors no significatius ( 0.143 i 0.2612) ens mostren que les 3 regressions es comporten igual vers la temperatura.



**Figura 6:** Regressió lineal entre el contingut de carboni del sòl en 3 tipologies de llaurada diferent vs la temperatura mitjana anual.

## % d'Argiles

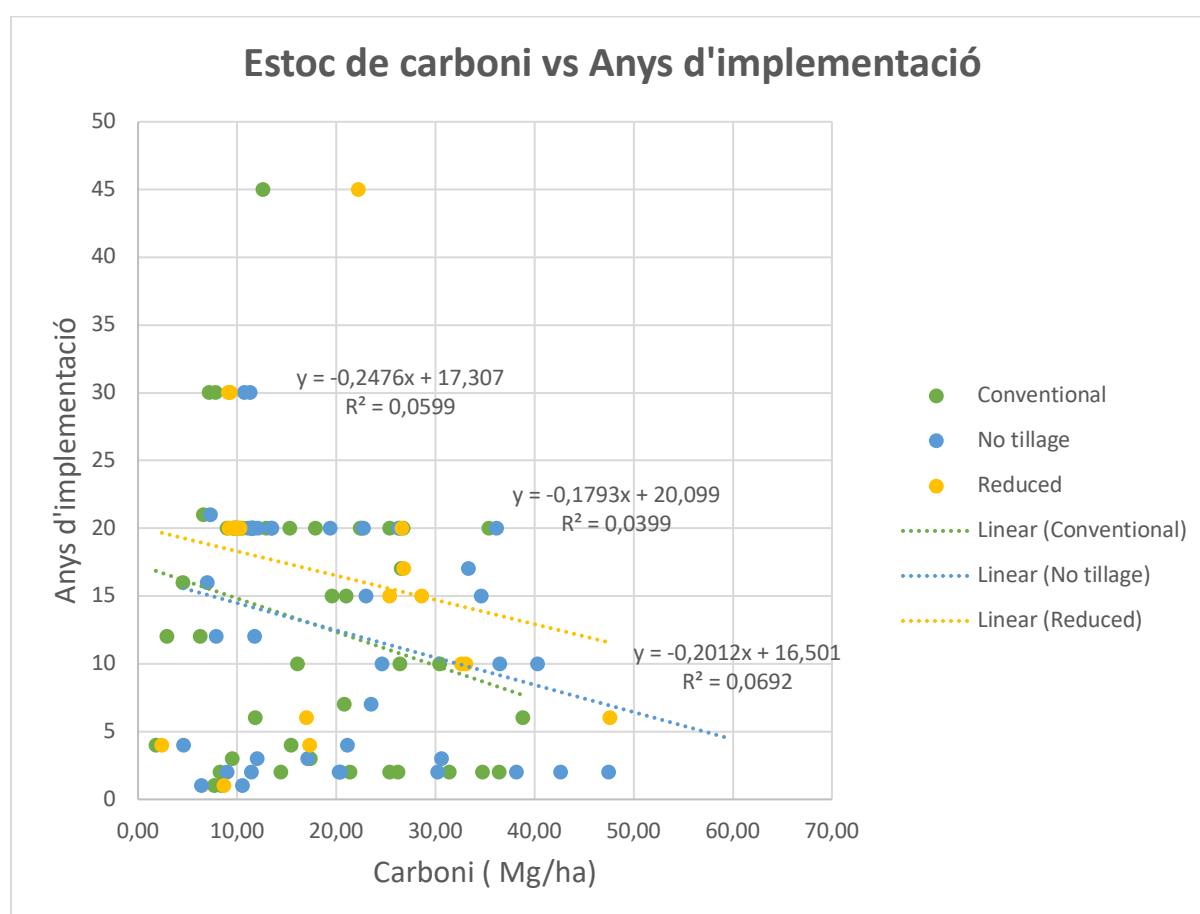
En el cas del percentatge d'argiles i com influeix en l'estoc de carboni, podem veure certa tendència a major proporció d'argiles major increment en el contingut de carboni orgànic del sòl. Tot i així, els resultats obtinguts no són estadísticament significatius, obtenint valor de  $r^2$  molt baixos i p-valors de 0.7484 per convencional, 0.11 en mínima llaurada i 0.9 en no llaurada. Per tant, acceptem hipòtesi nul·la. No podem afirmar que hi hagi cap relació concreta entre el contingut de carboni i el contingut d'argiles dels sòls espanyols. No es poden extreure conclusions significatives. En referència als resultats del test d'anova, p valors no significatius (0.74 i 0.12) ens mostren que les 3 regressions són iguals, es comporten igual vers el percentatge d'argiles.



**Figura 7:** Regressió lineal entre el contingut de carboni del sòl en 3 tipologies de llaurada diferent vs el percentatge d'argiles del sòl.

## Anys d'implementació

L'estoc de carboni del sòl no s'ha pogut relacionar estadísticament amb la durada del tractament, és a dir, anys d'implantació de la tipologia de llaurada. S'han comparat les 3 tipologies de llaurada (convencional, mínima i no llaurada). Els resultats obtinguts no són estadísticament significatius, obtenint p-valors de 0.09 per convencional, 0.37 per a la mínima llaurada i 0.08 per a la no llaurada. Per tant, acceptem hipòtesi nul·la, no hi ha relació en el contingut de carboni orgànic del sòl vers el temps d'implementació en els sòls agrícoles espanyols. De fet, els resultats del test d'anova ens aporten p-valors no significatius (0.09 i 0.37) ens mostren que les 3 regressions són iguals, es comporten igual vers el percentatge d'argiles.



**Figura 8:** Regressió lineal entre el contingut de carboni del sòl en 3 tipologies de llaurada diferent vs els anys d'implementació.



## Clima

En referència a com podria afectar el clima al segrest de carboni en els sòls agrícoles espanyols. S'han dividit en 4 categories climàtiques, les que vam poder extreure de la nostra base de dades, i s'han comparat amb la mitjana de carboni orgànic en el sòl expressat en T/ha de cada tipologia de clima.

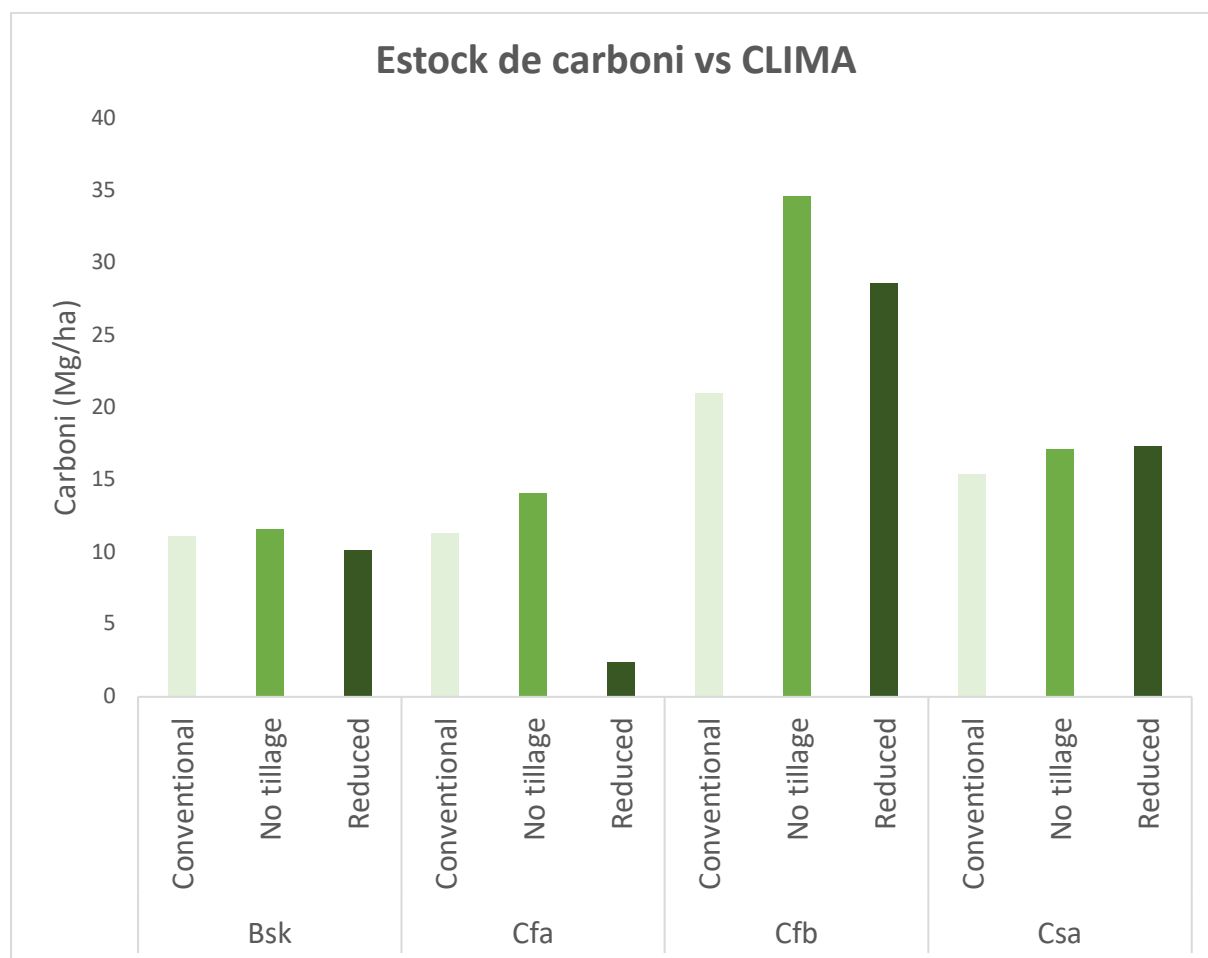
**Bsk:** Àrid, Estiu sec (precipitació) i estepa freda ( $T^{\circ}$  anual menor 18  $^{\circ}$ C).

**Cfa:** Clima temperat àrid, totalment humit i estiu calorós ( $T^{\circ}$  max > 22 $^{\circ}$ C).

**Cfb:** Clima temperat àrid, totalment humit i estiu temperat ( $4 T_{mon} \geq +10$   $^{\circ}$ C).

**Csa:** Clima temperat amb estiu sec i estiu calorós ( $T^{\circ}$  max > 22 $^{\circ}$ C).

Els resultats mostren com el clima més humit té major nivells de carboni comparat amb els climes més àrids. Ara bé, podem determinar que la no llaurada afavoreix molt més al carboni orgànic en el sòl que no pas la mínima llaurada en els climes Cfa, Cfb i lleugerament en Bsk. En canvi, en climes com el Csa la mínima llaurada té pràcticament els mateixos valors que la no llaurada. Com a conclusió podem dir que les dues pràctiques afavoreixen a augmentar el contingut de carboni orgànic del sòl, ara bé, la mínima llaurada és més efectiva en climes Csa i poc rellevant en altres climes. En canvi, en climes Bsk, Cfb i Cfa és molt més efectiu la no llaurada que no pas la mínima llaurada..



**Figura 9:** Diagrama de barres que mostra l'estock de carboni del sòl en cada tipologia de llaurada segons el clima.

## Discussió

Les pràctiques agrícoles de no llaurada o de mínima llaurada s'han pogut relacionar amb el contingut de carboni en el sòl. Els resultats obtinguts han sigut significatius i per tant es pot extreure una relació positiva. També, podem constatar la necessitat d'incloure més factors en el model, ja que els resultats mostren heterogeneïtat, és a dir, es tracta d'un procés on intervien més factors que no només la tipologia de llaurada. També, caldria diferenciar en diverses profunditats del sòl, ja que s'ha constatat en altres estudis que l'agricultura de conservació (no llaurada) augmenta el contingut de carboni en major proporció en els primers cm del sòl (0-10cm). En canvi, quan s'augmenta la profunditat els resultats són inconcloents degut al possible efecte de la llaurada i posterior trencament de l'estructura i enterrament del carboni en profunditat (*López Rodríguez, 2018*).

En referència als factors que s'han inclòs en l'anàlisi de la base de dades: la precipitació mitjana anual, la temperatura mitjana anual i el percentatge d'argiles del sòl. No s'han extret resultats significatius. No s'ha constatat relació entre aquestes condicions climàtiques i el contingut de carboni orgànic del sòl en sòls de conreu espanyols. Tot i sabent, per recerca bibliogràfica, que a Espanya existeix un gradient entre el contingut de carboni orgànic del sòl i la regió en la que es troba, regions més àrides tenen menor concentració de carboni orgànic del sòl que no pas regions més plujoses com el nord d'Espanya (*Moreno-García et al., 2020*). Tampoc s'ha constatat cap relació significativa amb els anys d'implementació. Segurament degut a que interfereixen molt les pràctiques de gestió agrícola, addició de matèria orgànica de forma periòdica o no, ja que si no s'afegeix matèria orgànica, els cultius en llaurada convencional tendeixen a reduir els estocs de carboni de forma progressiva. (*López et al., 2012*).

Per últim, relacionant el contingut de carboni orgànic del sòl amb el tipus de clima, podem veure com hi ha certa tendència tenir nivells més alts de carboni en el clima més humit que no pas en els més àrids. Ara bé, la no llaurada afavoreix molt més a l'increment de carboni orgànic en el sòl que no pas la mínima llaurada. Tot i així, destacar que en clima Csa el paper de la mínima llaurada és molt més rellevant i efectiu. Fet interessant alhora d'augmentar el contingut de carboni orgànic en el sòl, segrestar carboni i alhora augmentar la fertilitat del sòl. També, com a futura eina de gestió, que ens permeti valorar la implementació d'una tipologia de llaurada o una altre segons el clima de la finca en qüestió. Destacar el gran paper que podrien tenir els sòls agrícoles en regions semi àrides i mediterrànies on el nivell de carboni orgànic del sòl està lluny del punt de saturació i per tant, tenen molt marge en poder incrementar els estocs de carboni (*Lopez-Fando & Pardo, 2011*).

## Conclusions

Per concloure, podem afirmar amb certesa que les pràctiques agrícoles de no llaurada o mínima llaurada afavoreixen als estoc de carboni, ara bé es tracta d'un procés on intervenen molts factors. Llavors, caldria ajustar el model. S'hauria de diferenciar categories segons profunditat del sòl, augmentar la base de dades incloent més factors i articles per a poder tenir una mostra més real i significativa. Un altre possible factor a tenir en compte és la gestió agrícola del conreu, s'han de valorar les possibles aportacions de matèria orgànica externes per abonar els cultius. Aquesta matèria orgànica pot alterar els valors durant la presa de mostres. També, hem pogut observar que els factors climàtics per separat no tenien relació de forma significativa, llavors, caldria combinar els diversos factors i incloure altres factors com l'aridesa o disponibilitat hídrica. Factors que puguin tenir un paper rellevant. Una possible manera seria la diferenciació per clima amb més diversitat climàtica. Alhora, al augmentar la mostra ens permetria poder obtenir resultats amb major rigor científic.

Destacar que el paper del sòls agrícoles espanyols davant el segrest de carboni és rellevant. Degut al marge que tenen per a poder captar i fixar carboni atmosfèric, ja que es troben lluny del punt de saturació (*Soldevilla-Martinez et al., 2013*).

Simplement, com a punt de reflexió. Si ens trobéssim en un escenari hipotètic i poc realista, en el que s'apliqués la no llaurada a tots els camps de cultiu espanyols (50 milions d'hectàrees) i augmentes l'estoc de carboni en 4,03 T/ha, tal i com constata el metanàlisis. Es capturaria 201,5 milions de Tones de Carboni de l'atmosfera. A Espanya l'any 2020 es van emetre 274,7429 milions de Tones de CO<sub>2</sub> (*Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022*). Per tant, el potencial del sòl agrícola espanyol es vital per a la reducció d'emissions.

Finalment, Podem afirmar que per a fomentar el segrest de carboni cal combinar varies tècniques agrícoles, entre elles la no llaurada i la mínima llaurada, i alhora, per exemple; rotació cultius, aportació matèria orgànica, cultius de cobertura, mulching... (*Lopez-Fando & Pardo, 2011*). Per tant, estem davant d'un conjunt de mesures que per si soles no tenen un efecte molt rellevant però que juntes poden tenir un rol important en la captura de carboni atmosfèric.

## Bibliografía

- Almagro, M., de Vente, J., Boix-Fayos, C., García-Franco, N., Melgares de Aguilar, J., González, D., Solé-Benet, A., & Martínez-Mena, M. (2016). Sustainable land management practices as providers of several ecosystem services under rainfed Mediterranean agroecosystems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(7), 1029-1043. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9535-2>
- Álvaro-Fuentes, J., López, M. V., Arrúe, J. L., Moret, D., & Paustian, K. (2009). Tillage and cropping effects on soil organic carbon in Mediterranean semiarid agroecosystems: Testing the Century model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134(3-4), 211-217. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.07.001>
- Apesteuguía, M., Virto, I., Orcaray, L., Bescans, P., Enrique, A., Imaz, M. J., & Karlen, D. L. (2017). Tillage effects on soil quality after three years of irrigation in Northern Spain. *Sustainability (Switzerland)*, 9(8), 1-20. <https://doi.org/10.3390/su9081476>
- Arias, N., Orcaray, L., Bescansa, P., Enrique, A., & Virto, I. (2017). Implications of Rock Fragments for Soil Quality Evaluation: Assessing Changes in a Gravelly Irrigated Soil Following No Till Adoption. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(22), 2663-2677. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1416140>
- Bienes, R., Marques, M. J., Sastre, B., García-Díaz, A., Esparza, I., Antón, O., Navarrete, L., Hernández, J. L., Sánchez-Girón, V., Sánchez Del Arco, M. J., & Alarcón, R. (2021). Tracking changes on soil structure and organic carbon sequestration after 30 years of different tillage and management practices. *Agronomy*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy11020291>
- Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2004). Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(6), 481-504. <https://doi.org/10.1080/07352680490886842>
- Carbonell-Bojollo, R., González-Sánchez, E. J., Ruibérriz De Torres, M. R., Ordóñez-Fernández, R., Domínguez-Gimenez, J., & Basch, G. (2015). Soil organic carbon fractions under conventional and no-till management in a long-term study in southern Spain. *Soil Research*, 53(2), 113-124. <https://doi.org/10.1071/SR13369>
- Corral-Fernández, R., Parras-Alcántara, L., & Lozano-García, B. (2013). Stratification ratio of soil organic C, N and C: N in Mediterranean evergreen oak woodland with conventional and organic tillage. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 164, 252-259. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.11.002>
- De Leijster, V., Santos, M. J., Wassen, M. J., Ramos-Font, M. E., Robles, A. B., Díaz, M., Staal, M., & Verweij, P. A. (2019). Agroecological management improves ecosystem services in almond orchards within one year. *Ecosystem Services*, 38(January), 100948. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100948>
- Do, M. (2013). *Carrillo et al 2013 Land-use change effects on soil quality in.pdf*. <https://doi.org/10.5194/sed-5-163-2013>
- Fernández-Ugalde, O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, M. J., Enrique, A., & Karlen, D. L. (2009). No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.09.012>
- Fernández, D., Gómez, S., Albarrán, Á., Peña, D., Rozas, M. Á., Rato-Nunes, J. M., & López-Piñeiro, A. (2020). How the environmental fate of clomazone in rice fields is influenced by amendment with olive-mill waste under different regimes of irrigation and tillage.

- Pest Management Science*, 76(5), 1795-1803. <https://doi.org/10.1002/ps.5705>
- García-Franco, N., Wiesmeier, M., Colacho Hurtarte, L. C., Fella, F., Martínez-Mena, M., Almagro, M., Martínez, E. G., & Kögel-Knabner, I. (2021). Pruning residues incorporation and reduced tillage improve soil organic matter stabilization and structure of salt-affected soils in a semi-arid Citrus tree orchard. *Soil and Tillage Research*, 213(June). <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105129>
- González-rosado, M., Lozano-garcía, B., & Parras-alcántara, L. (2020). Journal Paper. *Science of the Total Environment*, 140683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140683>
- Hernanz, J. L., López, R., Navarrete, L., & Sánchez-Girón, V. (2002). Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 129-141. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00021-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00021-1)
- Hernanz, J. L., Sánchez-Girón, V., & Navarrete, L. (2009). Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133(1-2), 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.05.009>
- Hondebrink, M. A., Cammeraat, L. H., & Cerdà, A. (2017). The impact of agricultural management on selected soil properties in citrus orchards in Eastern Spain: A comparison between conventional and organic citrus orchards with drip and flood irrigation. *Science of the Total Environment*, 581-582, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.087>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Lal, R., Negassa, W., & Lorenz, K. (2015). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15(C), 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.09.002>
- Lopez-Fando, C., & Pardo, M. T. (2011). Soil carbon storage and stratification under different tillage systems in a semi-arid region. *Soil and Tillage Research*, 111(2), 224-230. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.10.011>
- López-Fando, C., & Pardo, M. T. (2009). Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi-arid environment. *Soil and Tillage Research*, 104(2), 278-284. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.03.005>
- López, M. V., Blanco-Moure, N., Limón, M. ángeles, & Gracia, R. (2012). No tillage in rainfed Aragon (NE Spain): Effect on organic carbon in the soil surface horizon. *Soil and Tillage Research*, 118, 61-65. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.012>
- López Rodríguez, S. (2018). *Impacts of conservation tillage on soil carbon sequestration: a meta-analysis Environmental Systems Analysis Impacts of conservation tillage on soil carbon sequestration: a meta-analysis* (Número July).
- Lozano-García, B., & Parras-Alcántara, L. (2013). Land use and management effects on carbon and nitrogen in Mediterranean Cambisols. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 179, 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.07.009>
- Mangalassery, S., Sjögersten, S., Sparkes, D. L., & Mooney, S. J. (2015). Examining the potential for climate change mitigation from zero tillage. *Journal of Agricultural Science*, 153(7), 1151-1173. <https://doi.org/10.1017/S0021859614001002>
- Mario Ceroni Galloso. (2007). Scielo @ Wwww.Scielo.Org.Pe. En *Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos: Vol. v.13 n.13.*

- [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1729-48272007000100009&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1729-48272007000100009&script=sci_arttext&tlng=en)
- Martínez-Mena, M., Carrillo-López, E., Boix-Fayos, C., Almagro, M., García Franco, N., Díaz-Pereira, E., Montoya, I., & de Vente, J. (2020). Long-term effectiveness of sustainable land management practices to control runoff, soil erosion, and nutrient loss and the role of rainfall intensity in Mediterranean rainfed agroecosystems. *Catena*, 187(April), 104352. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104352>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). España, Informe Inventarios GEI 1990-2020 (Edición 2022). *España, 2022*.
- Moreno-García, M., Repullo-Ruibérriz de Torres, M. Á., González-Sánchez, E. J., Ordóñez-Fernández, R., Veroz-González, Ó., & Carbonell-Bojollo, R. M. (2020). Methodology for estimating the impact of no tillage on the 4perMille initiative: The case of annual crops in Spain. *Geoderma*, 371(December 2019), 114381. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114381>
- Novara, A., Pulido, M., Rodrigo-Comino, J., Prima, S. D. I., Smith, P., Gristina, L., Giménez-Morera, A., Terol, E., Salesa, D., & Keesstra, S. (2019). Long-term organic farming on a citrus plantation results in soil organic carbon recovery. *Geographical Research Letters*, 45(1), 271-286. <https://doi.org/10.18172/cig.3794>
- Panettieri, M., Lazaro, L., López-Garrido, R., Murillo, J. M., & Madejón, E. (2013). Glyphosate effect on soil biochemical properties under conservation tillage. *Soil and Tillage Research*, 133, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.007>
- Panettieri, Marco. (2013). *Secuestro de carbono y mejora de la calidad del suelo bajo laboreo de conservación en condiciones mediterráneas (SO de Andalucía)*.
- Pareja-Sánchez, E., Cantero-Martínez, C., Álvaro-Fuentes, J., & Plaza-Bonilla, D. (2020). Soil organic carbon sequestration when converting a rainfed cropping system to irrigated corn under different tillage systems and N fertilizer rates. *Soil Science Society of America Journal*, 84(4), 1219-1232. <https://doi.org/10.1002/saj2.20116>
- Parras-Alcántara, L., Díaz-Jaimes, L., & Lozano-García, B. (2015). Organic Farming Affects C and N in Soils Under Olive Groves in Mediterranean Areas. *Land Degradation and Development*, 26(8), 800-806. <https://doi.org/10.1002/ldr.2231>
- Parras-Alcántara, L., Díaz-Jaimes, L., Lozano-García, B., Rebollo, P. F., Elcure, F. M., & Muñoz, M. D. C. (2014). Organic farming has little effect on carbon stock in a Mediterranean dehesa (southern Spain). *Catena*, 113, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.002>
- Rodríguez Martín, J. A., Álvaro-Fuentes, J., Gonzalo, J., Gil, C., Ramos-Miras, J. J., Grau Corbí, J. M., & Boluda, R. (2016). Assessment of the soil organic carbon stock in Spain. *Geoderma*, 264, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.10.010>
- Sánchez-Llerena, J., López-Piñeiro, A., Albarrán, Á., Peña, D., Becerra, D., & Rato-Nunes, J. M. (2016). Short and long-term effects of different irrigation and tillage systems on soil properties and rice productivity under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 77, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.005>
- soil-texture-calculator* @ [www.nrcs.usda.gov](http://www.nrcs.usda.gov). (s.d.). <https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/soil-texture-calculator>
- Soldevilla-Martinez, M., Martin-Lammerding, D., Tenorio, J. L., Walter, I., Quemada, M., & Lizaso, J. I. (2013). Simulating improved combinations tillage-rotation under dryland conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(3), 820-832.

<https://doi.org/10.5424/sjar/2013113-3747>

- Sombrero, A., & de Benito, A. (2010). Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. *Soil and Tillage Research*, 107(2), 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.02.009>
- Vázquez, E., Benito, M., Espejo, R., & Teutscherova, N. (2020). Response of soil properties and microbial indicators to land use change in an acid soil under Mediterranean conditions. *Catena*, 189(August 2019), 104486. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104486>
- Yaalon, D. H. (1989). Comments on "A Unifying Quantitative Analysis of Soil Texture". *Soil Science Society of America Journal*, 53(2), 595-595. <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300020053x>
- Zepner, L., Karrasch, P., Wiemann, F., & Bernard, L. (2021). ClimateCharts.net—an interactive climate analysis web platform. *International Journal of Digital Earth*, 14(3), 338-356. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112>

# Annex 1: Base de dades

| study                                   | year | tillage      | Ap_depth | difference | mean  | sd    | n     | precipitation | temperature | texture               | clay % | clima | year implementation |
|---|------|--------------|----------|------------|-------|-------|-------|---------------|-------------|-----------------------|--------|-------|---------------------|
| Álvarez-Fuentes et al., 2009            | 2009 | conventional | 30       |            | 1,80  | 0,00  | 3,00  | 340           | 14,7        | franc il·limos        | 30     | Cfa   | 4                   |
| Álvarez-Fuentes et al., 2009            | 2009 | reduced      | 30       | 0,60       | 2,40  | 0,02  | 3,00  | 340           | 14,7        | franc il·limos        | 30     | Cfa   | 4                   |
| Álvarez-Fuentes et al., 2009            | 2009 | no tillage   | 30       | 2,80       | 4,60  | 0,00  | 3,00  | 340           | 14,7        | franc il·limos        | 30     | Cfa   | 4                   |
| Hernanz et al., 2009 a                  | 2009 | conventional | 40       |            | 9,00  | 1,12  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 a                  | 2009 | reduced      | 40       | 0,20       | 9,20  | 1,72  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 a                  | 2009 | no tillage   | 40       | 5,10       | 9,70  | 3,00  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 b                  | 2009 | conventional | 40       |            | 11,10 | 1,78  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 b                  | 2009 | reduced      | 40       | -0,80      | 10,30 | 2,66  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 b                  | 2009 | no tillage   | 40       | 0,40       | 11,50 | 3,85  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 c                  | 2009 | conventional | 40       |            | 10,20 | 1,94  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 c                  | 2009 | reduced      | 40       | -0,20      | 10,00 | 3,45  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 c                  | 2009 | no tillage   | 40       | 1,90       | 12,10 | 4,63  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 d                  | 2009 | conventional | 40       |            | 9,80  | 1,92  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 d                  | 2009 | reduced      | 40       | 0,20       | 10,00 | 2,64  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 e                  | 2009 | no tillage   | 40       | 1,70       | 11,50 | 5,92  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 e                  | 2009 | conventional | 40       |            | 10,50 | 1,24  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 e                  | 2009 | reduced      | 40       | -0,20      | 10,30 | 4,14  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 e                  | 2009 | no tillage   | 40       | 1,10       | 11,60 | 7,12  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 f                  | 2009 | conventional | 40       |            | 9,60  | 1,63  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 f                  | 2009 | reduced      | 40       | 0,30       | 9,90  | 3,24  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 f                  | 2009 | no tillage   | 40       | 2,00       | 11,60 | 6,49  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 g                  | 2009 | conventional | 40       |            | 9,90  | 2,14  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 g                  | 2009 | reduced      | 40       | -0,10      | 9,80  | 4,14  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 g                  | 2009 | no tillage   | 40       | 1,50       | 11,40 | 7,79  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 h                  | 2009 | conventional | 40       |            | 9,70  | 2,01  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 h                  | 2009 | reduced      | 40       | 0,00       | 9,70  | 2,78  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Hernanz et al., 2009 h                  | 2009 | no tillage   | 40       | 1,80       | 11,50 | 6,54  | 4,00  | 430           | 13,1        | il·limos              | 20     | BSk   | 20                  |
| Almagro et al., 2016                    | 2016 | conventional | 15       |            | 17,90 | 11,70 | 3,00  | 330           | 16,6        | franc il·limos        | 30     | BSk   | 20                  |
| Almagro et al., 2016                    | 2016 | reduced      | 15       | 8,70       | 26,60 | 15,30 | 3,00  | 330           | 16,6        | franc il·limos        | 30     | BSk   | 20                  |
| Sombrero & de Benito, 2010              | 2010 | conventional | 30       |            | 26,40 | 1,34  | 5,00  | 448           | 10,6        | franc argilos         | 30     | Cfb   | 10                  |
| Sombrero & de Benito, 2010              | 2010 | reduced      | 30       | 6,65       | 33,05 | 1,46  | 5,00  | 448           | 10,6        | franc argilos         | 30     | Cfb   | 10                  |
| Sombrero & de Benito, 2010              | 2010 | no tillage   | 30       | 10,12      | 36,51 | 1,18  | 5,00  | 448           | 10,6        | franc argilos         | 30     | Cfb   | 10                  |
| Bienes et al., 2021 a                   | 2021 | conventional | 10       |            | 7,20  | 0,36  | 12,00 | 385           | 14,7        | il·limos              | 20     | BSk   | 30                  |
| Bienes et al., 2021 a                   | 2021 | reduced      | 10       | 1,90       | 9,10  | 3,24  | 12,00 | 385           | 14,7        | il·limos              | 20     | BSk   | 30                  |
| Bienes et al., 2021 a                   | 2021 | no tillage   | 10       | 3,50       | 10,70 | 20,25 | 12,00 | 385           | 14,7        | il·limos              | 20     | BSk   | 30                  |
| Bienes et al., 2021 b                   | 2021 | conventional | 20       |            | 7,80  | 0,81  | 12,00 | 385           | 14,7        | il·limos              | 20     | BSk   | 30                  |
| Bienes et al., 2021 b                   | 2021 | reduced      | 20       | 1,50       | 9,30  | 5,29  | 12,00 | 385           | 14,7        | il·limos              | 20     | BSk   | 30                  |
| Bienes et al., 2021 b                   | 2021 | no tillage   | 20       | 3,50       | 11,30 | 26,83 | 12,00 | 385           | 14,7        | il·limos              | 20     | BSk   | 30                  |
| López-Fando & Pardo, 2009               | 2009 | conventional | 30       |            | 30,39 | 0,83  | 6,00  | 400           | 14,7        | franc arenos          | 15     | BSk   | 10                  |
| López-Fando & Pardo, 2009               | 2009 | reduced      | 30       | 2,25       | 32,64 | 0,13  | 6,00  | 400           | 14,7        | franc arenos          | 15     | BSk   | 10                  |
| López-Fando & Pardo, 2009               | 2009 | no tillage   | 30       | 9,91       | 40,30 | 1,12  | 6,00  | 400           | 14,7        | franc arenos          | 15     | BSk   | 10                  |
| Lopez-Fando & Pardo, 2011               | 2011 | conventional | 30       |            | 26,52 | 0,75  | 3,00  | 428           | 15,5        | franc arenos          | 15     | BSk   | 17                  |
| Lopez-Fando & Pardo, 2011               | 2011 | reduced      | 30       | 0,31       | 26,83 | 2,01  | 3,00  | 428           | 15,5        | franc arenos          | 15     | BSk   | 17                  |
| Lopez-Fando & Pardo, 2011               | 2011 | no tillage   | 30       | 6,80       | 33,32 | 0,83  | 3,00  | 428           | 15,5        | franc arenos          | 15     | BSk   | 17                  |
| De Leijster et al., 2019                | 2019 | conventional | 20       |            | 8,40  | 5,10  | 6,00  | 300           | 15,5        | il·limos              | 20     | BSk   | 1                   |
| De Leijster et al., 2019                | 2019 | no tillage   | 20       | -2,00      | 6,40  | 3,70  | 6,00  | 300           | 15,5        | il·limos              | 20     | BSk   | 1                   |
| Carbonell-Bojollo et al., 2015          | 2015 | conventional | 20       |            | 9,48  | 0,88  | 4,00  | 1600          | 17,8        | argilos               | 70     | Csa   | 3                   |
| Carbonell-Bojollo et al., 2015          | 2015 | no tillage   | 20       | 2,53       | 12,00 | 0,30  | 4,00  | 1600          | 17,8        | argilos               | 70     | Csa   | 3                   |
| Soldevilla-Martinez et al., 2013        | 2013 | conventional | 7,5      |            | 4,56  | 1,55  | 4,00  | 383           | 13,5        | franc arenos          | 15     | Csa   | 16                  |
| Soldevilla-Martinez et al., 2013        | 2013 | no tillage   | 7,5      | 2,45       | 7,01  | 0,28  | 4,00  | 383           | 13,5        | franc arenos          | 15     | Csa   | 16                  |
| Panettieri, 2013                        | 2013 | conventional | 5        |            | 7,72  | 2,34  | 3,00  | 488           | 17          | franc argilo arenos   | 30     | Csa   | 1                   |
| Panettieri, 2013                        | 2013 | reduced      | 5        | 0,93       | 8,65  | 7,83  | 3,00  | 488           | 17          | franc argilo arenos   | 30     | Csa   | 1                   |
| Panettieri, 2013                        | 2013 | no tillage   | 5        | 2,83       | 10,55 | 5,94  | 3,00  | 488           | 17          | franc argilo arenos   | 30     | Csa   | 1                   |
| González-Rosado et al., 2020a           | 2020 | conventional | 35       |            | 8,26  | 6,72  | 3,00  | 583           | 17,1        | argilos               | 70     | Csa   | 2                   |
| González-Rosado et al., 2020a           | 2020 | no tillage   | 35       | 0,72       | 8,98  | 6,95  | 3,00  | 583           | 17,1        | argilos               | 70     | Csa   | 2                   |
| González-Rosado et al., 2020b           | 2020 | conventional | 35       |            | 11,38 | 11,60 | 3,00  | 583           | 17,1        | argilos               | 70     | Csa   | 2                   |
| González-Rosado et al., 2020b           | 2020 | no tillage   | 35       | -2,95      | 11,43 | 2,13  | 3,00  | 583           | 17,1        | argilos               | 70     | Csa   | 2                   |
| González-Rosado et al., 2020c           | 2020 | conventional | 35       |            | 25,40 | 11,60 | 3,00  | 583           | 17,1        | argilos               | 70     | Csa   | 2                   |
| González-Rosado et al., 2020c           | 2020 | no tillage   | 35       | -5,13      | 20,27 | 2,13  | 3,00  | 583           | 17,1        | argilos               | 70     | Csa   | 2                   |
| García-Franco et al., 2021              | 2021 | conventional | 15       |            | 22,40 | 1,22  | 6,00  | 350           | 18          | franc il·limos        | 30     | BSk   |                     |
| García-Franco et al., 2021              | 2021 | reduced      | 15       | 5,60       | 28,00 | 1,90  | 6,00  | 350           | 18          | franc il·limos        | 30     | BSk   |                     |
| García-Franco et al., 2021              | 2021 | no tillage   | 15       | 37,20      | 59,60 | 10,53 | 6,00  | 350           | 18          | franc il·limos        | 30     | BSk   |                     |
| Vázquez et al., 2020                    | 2020 | conventional | 10       |            | 16,10 | 2,60  | 4,00  | 952           | 15,4        | franc arenos          | 15     | Csa   | 10                  |
| Vázquez et al., 2020                    | 2020 | no tillage   | 10       | 8,50       | 24,60 | 2,00  | 4,00  | 952           | 15,4        | franc arenos          | 15     | Csa   | 10                  |
| Martínez-Mena et al., 2020 a            | 2020 | conventional | 20       |            | 11,80 | 1,27  | 6,00  | 330           | 16,6        | franc argilo il·limos | 35     | BSk   | 6                   |
| Martínez-Mena et al., 2020 a            | 2020 | reduced      | 20       | 5,20       | 17,00 | 1,69  | 6,00  | 330           | 16,6        | franc argilo il·limos | 35     | BSk   | 6                   |
| Martínez-Mena et al., 2020 b            | 2020 | conventional | 20       |            | 38,80 | 6,75  | 6,00  | 330           | 16,6        | franc argilo il·limos | 35     | BSk   | 6                   |
| Martínez-Mena et al., 2020 b            | 2020 | reduced      | 20       | 8,80       | 47,60 | 5,19  | 6,00  | 330           | 16,6        | franc argilo il·limos | 35     | BSk   | 6                   |
| Fernández et al., 2020 a                | 2020 | conventional | 20       |            | 21,40 | 0,17  | 3,00  | 460           | 16,2        | il·limos              | 20     | BSk   | 2                   |
| Fernández et al., 2020 a                | 2020 | no tillage   | 20       | -1,00      | 20,40 | 0,17  | 3,00  | 460           | 16,2        | il·limos              | 20     | BSk   | 2                   |
| Fernández et al., 2020 b                | 2020 | conventional | 20       |            | 31,40 | 0,86  | 3,00  | 460           | 16,2        | il·limos              | 20     | BSk   | 2                   |
| Fernández et al., 2020 b                | 2020 | no tillage   | 20       | 11,20      | 42,60 | 0,52  | 3,00  | 460           | 16,2        | il·limos              | 20     | BSk   | 2                   |
| Fernández et al., 2020 c                | 2020 | conventional | 20       |            | 26,20 | 0,51  | 3,00  | 460           | 16,2        | il·limos              | 20     | BSk   | 2                   |
| Fernández et al., 2020 c                | 2020 | no tillage   | 20       | 4,00       | 30,20 | 0,52  | 3,00  | 460           | 16,2        | il·limos              | 20     | BSk   | 2                   |
| Fernández et al., 2020 d                | 2020 | conventional | 20       |            | 36,40 | 0,17  | 3,00  | 460           | 16,2        | il·limos              | 20     | BSk   | 2                   |
| Fernández et al., 2020 d                | 2020 | no tillage   | 20       | 1,80       | 38,20 | 0,52  | 3,00  | 460           | 16,2        | il·limos              | 20     | BSk   | 2                   |
| Fernández-Ugalde et al., 2009           | 2009 | conventional | 30       |            | 20,82 | 0,21  | 3,00  | 448           | 13,8        | franc il·limos        | 30     | Cfa   | 7                   |
| Fernández-Ugalde et al., 2009           | 2009 | no tillage   | 30       | 2,69       | 23,51 | 0,39  | 3,00  | 448           | 13,8        | franc il·limos        | 30     | Cfa   | 7                   |
| Corral-Fernández et al., 2013 a         | 2013 | conventional | 20,9     |            | 12,91 | 2,87  | 3,00  | 600           | 16,9        | franc arenos          | 30     | Csa   | 20                  |
| Corral-Fernández et al., 2013 a         | 2013 | no tillage   | 20,9     | 0,51       | 13,42 | 3,57  | 3,00  | 600           | 16,9        | franc arenos          | 30     | Csa   | 20                  |
| Corral-Fernández et al., 2013 b         | 2013 | conventional | 20,9     |            | 15,32 | 4,20  | 3,00  | 600           | 16,9        | franc arenos          | 30     | Csa   | 20                  |
| Corral-Fernández et al., 2013 b         | 2013 | no tillage   | 20,9     | -1,81      | 13,51 | 7,86  | 3,00  | 600           | 16,9        | franc arenos          | 30     | Csa   | 20                  |
| Lozano-García & Parras-Alcántara, 2013a | 2013 | conventional | 19,6     |            | 25,40 | 1,00  | 12,00 | 600           | 16,9        | franc arenos          | 30     | Csa   | 20                  |
| Lozano-García & Parras-Alcántara, 2013a | 2013 | no tillage   | 20,9     | -6,00      | 19,40 | 0,90  | 10,00 | 600           | 16,9        | il·limos              | 20     | Csa   | 20                  |
| Lozano-García & Parras-Alcántara, 2013b | 2013 | conventional | 21,8     |            | 22,40 | 0,10  | 13,00 | 600           | 16,9        | il·limos              | 20     | Csa   | 20                  |
| Lozano-García & Parras-Alcántara, 2013b | 2013 | no tillage   | 16,9     | 3,90       | 26,30 | 1,20  | 10,00 | 600           | 16,9        | franc argilos         | 30     | Csa   | 20                  |
| Apesteúa et al., 2017 a                 | 2017 | conventional | 5        |            | 21,00 | 0,40  | 4,00  | 525           | 13,5        | argilos               | 70     | Cfb   | 15                  |
| Apesteúa et al., 2017 a                 | 2017 | reduced      | 5        | 7,60       | 28,60 | 1,00  | 4,00  | 525           | 13,5        | argilos               | 70     | Cfb   | 15                  |
| Apesteúa et al., 2017 a                 | 2017 | no tillage   | 5        | 13,60      | 34,60 | 0,80  | 4,00  | 525           | 13,5        | argilos               | 70     | Cfb   | 15                  |
| Apesteúa et al., 2017 b                 | 2017 | conventional | 5        |            | 19,60 | 0,40  | 4,00  | 525           | 13,5        | argilos               | 70     | Cfb   | 15                  |
| Apesteúa et al., 2017 b                 | 2017 | reduced      | 5        | 5,80       | 25,40 | 1,60  | 4,00  | 525           | 13,5        | argilos               | 70     | Cfb   | 15                  |
| Apesteúa et al., 2017 b                 | 2017 | no tillage   | 5        | 3,40       | 23,00 | 0,20  | 4,00  | 525           | 13,5        | argilos               | 70     | Cfb   | 15                  |
| Parras-Alcántara et al., 2015           | 2015 | conventional | 25       |            | 22,54 | 13,00 | 10,00 | 600           | 16          | argilos               | 70     | Csa   | 20                  |
| Parras-Alcántara et al., 2015           | 2015 | no tillage   | 25       | 3,79       | 26,33 | 11,19 | 10,00 | 600           | 16          | argilos               | 70     | Csa   | 20                  |
| Parras-Alcántara et al., 2014a          | 2014 | conventional | 20,9     |            | 26,77 | 7,32  | 4,00  | 600           | 16          | franc arenos          | 15     | Csa   | 20                  |
| Parras-Alcántara et al., 2014a          | 2014 | no tillage   | 20,9     | 9,43       | 36,20 | 20,26 | 4,00  | 600           | 16          | franc arenos          | 15</   |       |                     |