

Estudi del potencial de segrest de carboni del cultiu de fruita fresca a la comarca del Segrià

Mireia Gòdia-Martí

Departament de Química, Física i Ciències Ambientals i del Sòl (DQFAS), Universitat de Lleida (UdL)

REBUT: 14 D'OCTUBRE DE 2024 - ACCEPTAT: 8 DE FEBRER DE 2025

RESUM

Els petits productors de fruita fresca de la comarca del Segrià afronten dificultats econòmiques degudes als baixos preus de venda, l'augment dels costos de producció i les inclemències climàtiques. Quan les plantacions s'arrenquen, a manca d'alternatives viables, la crema de les restes és una pràctica habitual, la qual comporta impactes ambientals significatius. Aquest estudi proposa una metodologia per valoritzar aquests residus orgànics mitjançant la seva transformació en biocombustible per generar energia tèrmica, reduir la dependència de combustibles fòssils i contribuir a la descarbonització del sector agrícola. A més, aquesta alternativa pot esdevenir un complement econòmic per als productors. S'ha estimat la quantitat de biomassa per a transformació, disponible anualment a la comarca, i el resultat és un potencial productiu de 814 TJ/any, que equival a més de 27 milions de litres de gasoil. També s'ha calculat la demanda energètica de les explotacions ramaderes de porcí i aviram d'engreix, i s'ha demostrat que les restes de poda poden cobrir-la totalment. A més, el calendari de disponibilitat de restes de poda

Correspondència: Mireia Gòdia-Martí. Departament de Química, Física i Ciències Ambientals i del Sòl (DQFAS). Universitat de Lleida. A/e: mireiagodiarmarti@gmail.com.

coincideix amb els mesos de demanda energètica de les explotacions i no es presenten problemes de dispersió territorial. Pel que fa al carboni orgànic del sòl, s'ha utilitzat el model Roth C per inferir les existències en quatre escenaris l'any 2040, amb pràctiques de maneig que podrien generar fins a 2.264 €/ha i 1.864 €/ha després de vint anys per a fruiters de pinyol i de llavor, respectivament, en crèdits de carboni. S'ha fet una avaluació econòmica dels costos de diferents pràctiques de maneig possibles, els resultats de la qual confirmen la viabilitat econòmica de pràctiques de maneig beneficioses per al medi ambient, en diferents casuístiques d'explotacions. Aquestes pràctiques poden impulsar l'economia circular al territori, revalorar subproductes dins d'un cicle curt i contribuir al segrest de carboni.

PARAULES CLAU: segrest de carboni, crèdits de carboni, descarbonització, economia circular, fruiters, biocombustibles.

Study of the carbon sequestration potential of fresh fruit cultivation in the Segrià region

ABSTRACT

Small fresh fruit producers in the Segrià region (Lleida Province) are facing economic difficulties due to low selling prices, increased production costs, and adverse climatic conditions. When plantations are removed, in the absence of viable alternatives, burning the residues is a common practice, which results in significant environmental impacts. This study proposes a methodology to valorize these organic residues by transforming them into biofuel to generate thermal energy, reduce dependence on fossil fuels, and contribute to the decarbonization of the agricultural sector. Furthermore, this alternative could become an economic supplement for producers. The amount of biomass for transformation available annually in the region has been estimated to have a productive potential of 814 TJ/year, equivalent to more than 27 million liters of diesel oil. The thermal energy demand of pig and poultry fattening farms has also been calculated, demonstrating that pruning residues can fully meet this demand. Additionally, the availability calendar of pruning residues coincides with the months of energy demand from the farms, and no territorial dispersion issues arise. Regarding soil organic carbon, the Roth C model has been used to infer stocks in four scenarios for the

year 2040, with management practices that could generate up to 2,264 €/ha and 1,864 €/ha after twenty years for stone-fruit and seed-fruit crops, respectively, in carbon credits. An economic evaluation of the costs of different potential management practices has been carried out, with results confirming the economic viability of environmentally beneficial management practices across different types of farms. These practices can drive the circular economy in the region, revalorize by-products in a short cycle, and contribute to carbon sequestration.

KEYWORDS: carbon sequestration, carbon credits, decarbonization, circular economy, fruit crops, biofuels.

Estudio del potencial de secuestro de carbono del cultivo de fruta fresca en la comarca del Segrià

RESUMEN

Los pequeños productores de fruta fresca de la comarca del Segrià enfrentan dificultades económicas debido a los bajos precios de venta, el aumento de los costos de producción y las inclemencias climáticas. Cuando las plantaciones se arrancan, a falta de alternativas viables, la quema de los restos es una práctica habitual, la cual conlleva impactos ambientales significativos. Este estudio propone una metodología para valorizar estos residuos orgánicos mediante su transformación en biocombustible para generar energía térmica, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y contribuir a la descarbonización del sector agrícola. Además, esta alternativa puede convertirse en un complemento económico para los productores. Se ha estimado la cantidad de biomasa para transformación, disponible anualmente en la comarca, resultando en un potencial productivo de 814 TJ/año, equivalente a más de 27 millones de litros de gasoil. También se ha calculado la demanda energética de las explotaciones ganaderas de porcino y avicultura de engorde, demostrando que los restos de poda pueden cubrirla completamente. Además, el calendario de disponibilidad de restos de poda coincide con los meses de demanda energética de las explotaciones y no se presentan problemas de dispersión territorial. En cuanto al carbono orgánico del suelo, se ha utilizado el modelo Roth C para inferir las existencias en cuatro escenarios en el año 2040, con prácticas de manejo que podrían generar hasta 2.264 €/ha y 1.864 €/ha después de veinte años para frutales de hueso y de

semilla, respectivamente, en créditos de carbono. Se ha realizado una evaluación económica de los costos de diferentes prácticas de manejo posibles, cuyos resultados confirman la viabilidad económica de prácticas de manejo beneficiosas para el medioambiente, en distintas casuísticas de explotaciones. Estas prácticas pueden impulsar la economía circular en el territorio, revalorizar subproductos dentro de un ciclo corto y contribuir al secuestro de carbono.

PALABRAS CLAVE: secuestro de carbono, créditos de carbono, descarbonización, economía circular, frutales, biocombustibles.

1. Introducció

El carboni (C) és el component fonamental de tots els compostos orgànics i l'element primari de la vida. La quantitat de carboni a la Terra és limitada, per tant, aquest es recicla constantment. De fet, l'existència de vida a la Terra depèn de la circulació del carboni entre els diferents reservoris o dipòsits dins del cicle global del carboni (Montero, Ruiz-Peinado i Muñoz, 2006).

S'entén per *dipòsit* un o més components del sistema climàtic en què està emmagatzemat un gas d'efecte hivernacle (Nacions Unides, 1992). Hi ha cinc dipòsits globals de C: l'oceànic; el geològic, que comprèn tres subdipòsits (carbó, petroli i gas); l'edàfic, que comprèn el carboni orgànic del sòl (COS) i el carboni inorgànic del sòl (CIS); el biològic, i l'atmosfèric (Peña Salamanca, Torres González i Zúñiga Escobar, 2013). S'estima que en els primers 30 cm de sòl hi ha emmagatzemats 716 Pg de COS i en el primer metre de profunditat uns 1.417 Pg de COS (FAO i ITPS, 2021). Aquest emmagatzematge de COS representa més C que el contingut en l'atmosfera (aproximadament 800 Pg de C) i la vegetació terrestre (500 Pg de C) junts (FAO, 2017).

El canvi climàtic comprèn les alteracions en el clima per causes antròpiques que alteren la composició de l'atmosfera i se sumen a la variabilitat natural del clima observada durant períodes de temps comparables. S'entén per *gasos d'efecte hivernacle* (GEH) aquells components gasosos de l'atmosfera, tant naturals com antropogènics, que absorbeixen i emeten radiació infraroja. Les activitats humanes han provocat l'increment substancial de les concentracions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Aquest augment intensifica l'efecte hivernacle natural, fet que dona com a resultat un escalfament addicional de la superfície i l'atmosfera de la Terra, que afecta negativament els ecosistemes naturals i la humanitat (Nacions Unides, 1992).

El CO₂ és un gas d'efecte hivernacle generat per l'extracció de combustibles fòssils i per la seva combustió, pels incendis forestals i per processos naturals. Des de l'inici de

l'època industrial, la concentració atmosfèrica de CO_2 ha anat en augment. Aquest increment actualment s'atribueix principalment a l'ús de combustibles fòssils (FAO, 2002). En temps preindustrials el flux de C predominant va ser el derivat del canvi d'ús en la terra, principalment degut a la desforestació per a la conversió a ús agrícola (FAO, 2017).

El segrest de C en ecosistemes naturals i agrícoles és el procés mitjançant el qual el C es fixa des de l'atmosfera a través de plantes o residus orgànics i s'emmagatzema al sòl. Consta de tres fases principals: en primer lloc, el CO_2 de l'atmosfera és capturat a través de la fotosíntesi de les plantes; tot seguit, aquest C queda fixat en la biomassa vegetal, i, finalment, aquest C es transfereix al sòl, on s'emmagatzema en forma de COS, principalment en la reserva més làbil, és a dir, la que presenta un temps de permanència més curt en el sòl (FAO, 2017).

El segrest de C té un paper important en el canvi climàtic global tant en la seva causa com en la seva mitigació. El sòl i la vegetació actuen de forma natural com a embornals de C; el repte és saber si aquest embornal es pot incrementar mitjançant intervenció antropològica (Robert, 2006). S'entén per *embornal* qualsevol procés, activitat o mecanisme que absorbeix un gas d'efecte hivernacle de l'atmosfera. De la mateixa manera s'entén com a *font* qualsevol procés o activitat que l'allibera (Nacions Unides, 1992).

En un sistema agrícola hi ha diversos fluxos de gasos d'efecte hivernacle, principalment diòxid de carboni (CO_2), metà (CH_4) i òxid nítrós (N_2O). En el cicle de C d'un sistema agrícola, el CO_2 atmosfèric actua com a entrada de C, però no tot el C que ingressa al sistema hi roman. El CO_2 atmosfèric es fixa a la biomassa de les plantes mitjançant la fotosíntesi i s'allibera novament a l'atmosfera a través de la seva respiració (Montero, Ruiz-Peinado i Muñoz, 2006). A més, el CO_2 retorna a l'atmosfera quan la matèria orgànica del sòl es descompon o es mineralitza per l'acció dels microorganismes. També es poden donar pèrdues de C dins del sistema agrícola, ja sigui a causa de l'erosió del sòl o per l'exportació de carboni orgànic dissolt, procedent d'exsudats radiculars, cap a rius i oceans (FAO, 2017).

El COS en un moment donat resulta d'un balanç dinàmic entre l'aportació i la humificació de material vegetal mort i la pèrdua per mineralització (FAO, 2002). El COS es pot dividir en tres grups segons la seva estabilitat i, per tant, el seu temps de permanència en el sòl: la reserva ràpida (làbil) amb un temps de rotació d'1 o 2 anys, la reserva intermèdia amb un temps de rotació entre 10 i 100 anys i la reserva lenta (refractària) amb un temps de rotació des de 100 anys fins a més de 1.000 anys (FAO, 2017).

El C recentment agregat al sòl pot estabilitzar-se mitjançant mecanismes físics, químics o bioquímics, influïts per factors biòtics, abiòtics i de maneig. S'estabilitza físicament quan s'aïlla dins de microagregats i macroagregats del sòl i, per tant, resulta inaccessible pels organismes del sòl, quan s'estabilitza químicament ho fa absorbint-se

fortament a argiles a través d'enllaços químics que limiten el consum de C pels micro-organismes i quan ho fa bioquímicament es resintetitza en estructures complexes de molècules que poden impedir la seva descomposició (FAO, 2017).

El potencial de mitigació està limitat perquè els sòls assoleixen nivells de saturació de COS (McDonald *et al.*, 2021). Aquest concepte proposa que hi ha un nivell màxim de C en equilibri que s'aconseguirà quan es maximitzi la seva entrada. La saturació d'un sòl depèn de la quantitat de lim i d'argila, de la seva estructura, de la protecció del C dins dels agregats i de la complexitat dels compostos orgànics, entre d'altres factors (Stewart *et al.*, 2007).

Les terres cultivables han perdut aproximadament un 40% del seu contingut en C en menys de cinquanta anys (Robert, 2006). A causa del llaurat i de les baixes precipitacions anuals en els agroecosistemes mediterranis semiàrids, s'ha produït una disminució molt significativa de la matèria orgànica del sòl i un augment de les emissions de CO₂ del sòl cap a l'atmosfera (Álvaro-Fuentes *et al.*, 2007).

L'agricultura del C persegueix gestionar els reservoris de C i reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle per tal de mitigar el canvi climàtic (McDonald *et al.*, 2021). Està definida per tres principis que han de coincidir en espai i temps i ser aplicats de forma permanent per tal de desenvolupar sinergies: procurar la mínima pertorbació mecànica del sòl, mantenir una coberta orgànica permanent en el sòl i diversificar els cultius en rotacions i/o associacions on s'inclouin lleguminoses (Kassam *et al.*, 2012).

La coberta orgànica del sòl entre les fileres dels arbres implica la mínima pertorbació mecànica mentre la plantació està establerta. Es pot optar per mantenir una coberta vegetal viva (sembrada o espontània) o bé per establir una coberta orgànica inerta basada en l'ús d'encoixinat amb restes de poda o altres materials inerts.

Els cultius de coberta són una de les pràctiques amb major potencial per mantenir i millorar els nivells de COS (McDonald *et al.*, 2021). Protegeixen el COS físicament, químicament i biològicament de l'activitat microbiana i contribueixen al segrest de COS a llarg termini (Vicente-Vicente *et al.*, 2017). A diferència de les cobertes inertes, l'establiment i conservació de les cobertes vegetals vives comporta una major despesa d'aigua, que, en èpoques de sequera o en entorns amb menor disponibilitat hídrica, pot suposar una limitació.

Cal tenir en compte que aquest segrest de C no es dona en forma contínua ni en els sistemes forestals ni en els agrícoles. Això es deu al fet que, en determinats moments, el flux de C emès a l'atmosfera és superior al que se segresta, per exemple, a causa de la descomposició de matèria orgànica. En el cas de cultius permanents, després de segar la coberta vegetal viva, a finals de primavera, les restes de males herbes en descomposició poden incrementar el flux de CO₂ del sòl cap a l'atmosfera (Chamizo *et al.*, 2017).

L'encoixinat consisteix a cobrir el sòl amb material vegetal, com restes de poda, que a mesura que es descompon augmenta el contingut de matèria orgànica del sòl i alhora

redueix l'evapotranspiració. No obstant això, en condicions d'humitat poden contribuir a la proliferació d'alguns organismes perjudicials, fet que augmenta el risc de plagues i malalties (IFOAM - Organics International, 2020). La descomposició de la llenya d'algunes espècies també pot tenir un efecte al·lelopàtic degut al seu efecte supressiu de les males herbes, inhibint la germinació de les llavors (Duryea, English i Hermansen, 1999). A més, com es tracta de materials amb una elevada relació carboni/nitrogen (C/N), poden limitar la disponibilitat de nitrogen (N) per a les plantes durant la seva descomposició (El-Beltagi, 2022).

Quan una plantació arriba al final de la seva vida útil i s'arrenca, la pràctica habitual és cremar els residus en el mateix camp. De la mateixa manera, les restes de poda generades anualment pels cultius llenyosos també se solen cremar en algunes zones. No obstant això, hi ha diverses alternatives per gestionar i reutilitzar aquesta biomassa. Si les restes de poda s'exporten fora del camp, es poden utilitzar per fabricar biocombustible, com a element estructurant en el compostatge o bé com a material per disminuir l'erosió per escorrentia superficial, entre d'altres opcions. Si es queden en el camp, poden actuar com a coberta vegetal en forma d'encoixinat o ser incorporades al sòl. En aquest darrer cas, cal destacar que, tot i que la matèria orgànica és assimilada i transformada pels organismes del sòl (part del C s'allibera a l'atmosfera i una altra part s'estabilitza), les restes de poda tenen una relació C/N desequilibrada que pot ocasionar un bloqueig temporal del N disponible en el sòl (Den Boer *et al.*, 2020).

Actualment, hi ha dos mètodes principals per determinar el segrest de C: els mètodes de mesurament a través del mostreig (mesura, informe i verificació, MRV, de l'anglès *measurement, reporting, and verification*) i els mètodes d'estimació que combinen el mostreig i la modelització, com, per exemple, el *rothamsted soil organic carbon model* (model Roth C). Els elevats costos de mostreig són un obstacle per als mètodes MRV, així que la modelització resulta una alternativa a valorar, ja que ens permet inferir les existències i distribucions de COS en condicions que no s'han mesurat, com en condicions climàtiques futures o en zones sense dades.

El model Roth C requereix menys dades d'entrada que altres models i s'ha aplicat amb èxit a diverses escales. S'ha emprat per estimar emissions i absorcions de CO₂ en diferents inventaris nacionals de gasos d'efecte hivernacle i per elaborar el mapa mundial de potencial de segrest de COS de l'Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació (FAO, 2022).

L'objectiu principal d'aquest treball és realitzar una estimació del potencial de segrest de C dels principals cultius de fruita fresca a la comarca del Segrià, tant pel que fa al sòl com a la biomassa quan s'adopten pràctiques millorades de maneig, i quantificar el potencial econòmic que tindrien aquestes pràctiques si les superfícies de fruiters s'incloguessin en el mercat de crèdits de C.

A més, es realitza un estudi sobre la transformació de les restes de poda i de la llenya quan s'arrenca i renova el cultiu en biocombustible per generar energia tèrmica, com a alternativa a la pràctica habitual de la seva crema, i contribuir a la descarbonització de l'atmosfera.

2. Descripció de l'àrea d'estudi

La comarca del Segrià, situada a l'oest de Catalunya destaca per la seva activitat agrícola i producció fructícola. El clima és mediterrani continental sec amb pluges irregulars i amb un total anual escàs. Hi ha una amplitud tèrmica alta, ja que els estius són calorosos i els hiverns freds. El període lliure de glaçades és entre maig i octubre. Els sòls del Segrià tenen una textura mitjana, amb un bon equilibri entre la capacitat de retenció de l'aigua i el drenatge. La majoria són ben drenats i van des de molt superficials (< 20 cm) a molt profunds (> 120 cm). Contenen pocs elements grossos i alguns poden presentar graus variables de salinitat o guix (ICGC, 2019).

En les darreres campanyes s'han patit diverses inclemències climàtiques com ara calamarsades, episodis de calor extrema i sequera. En algunes zones s'han donat en campanyes consecutives, fet que ha compromès la productivitat tant en quantitat com en qualitat. A més, en tractar-se de cultius permanents, els danys condicionen les successives campanyes.

3. Metodologia

3.1. Estimació de la biomassa i del segrest de carboni

La biomassa aèria i subterrània es pot estimar amb mètodes destructius i no destructius. En aquest estudi s'ha fet mitjançant un mètode no destructiu basat en equacions modelitzades per a cada cultiu.

Les equacions utilitzades han estat les proposades per Funes *et al.* (2022) en un estudi fet a Catalunya. En el cas de l'albercoquer no es disposa d'una equació específica, per tant, s'ha optat per utilitzar la mateixa que per al préssec i la nectarina.

Per al càlcul, s'ha suposat que els marcs de plantació més estesos al territori són 3 x 2 m, que en el cas de fruiters de llavor corresponen a una densitat de 1.660 arbres/ha, i de 5 x 3 m per als fruiters de pinyol, és a dir, 660 arbres/ha. La biomassa de les arrels es considera un 30% de la part aèria de la planta per a fruiters de llavor i un 30% del total de la planta per als fruiters de pinyol, tal com indica el tercer informe del canvi climàtic (Ge-

neralitat de Catalunya, 2016). A més, el contingut de C es considera un 46,90 % sobre el contingut de biomassa (Funes *et al.*, 2022). Les equacions emprades són les següents, en què els coeficients per als fruiters de llavor són a : 34,794; b : 1,482; c : -0,111, i en el cas de fruiters de pinyol: a : 54,382; b : 2,572; c : -0,503.

$$\text{Biomassa aèria fruiters de llavor} \left(\text{kg arbre}^{-1} \right) = \left(-\frac{a}{1 + e^b} \right) + \left(\frac{a}{(1 + e^{(b+c \cdot \text{edat})})} \right)$$

$$\text{Biomassa aèria fruiters de pinyol} \left(\text{kg arbre}^{-1} \right) = \left(-\frac{a}{1 + e^b} \right) + \left(\frac{a}{(1 + e^{(b+c \cdot \text{edat})})} \right)$$

3.2. Estudi de la transformació de restes de poda en biomassa

S'ha estudiat la transformació de les restes de poda en biomassa per a la seva utilització com a biocombustible. L'estudi inclou una estimació del potencial d'energia tèrmica de les restes de poda dels cultius fruiters del Segrià, així com la seva equivalència en litres de gasoil. També s'ha identificat una veta de mercat per aquest biocombustible en el sector primari, cosa que contribueix a l'economia circular i revalora els residus com a subproductes. En aquest sentit, s'han analitzat les explotacions ramaderes presents a la comarca que tenen unes necessitats tèrmiques més elevades. S'ha estudiat la dispersió territorial de les explotacions fructícoles, l'accessibilitat entre les finques i els consumidors potencials i també el calendari de disponibilitat de les restes de poda per a cada cultiu.

S'ha suposat que una plantació de fruiters genera anualment unes 3,5 t/ha amb una base humida al 28 % d'humitat, que el poder calorífic inferior (PCI) d'aquestes restes de poda sobre base humida és de 10,60 MJ/kg i que el poder calorífic del gasoil és de 35,86 MJ/l.

Al Segrià, les granges amb major demanda d'energia tèrmica són les més industrialitzades, especialment les de porcí d'engreix i les d'aviram d'engreix per a carn. Aquestes representen la principal veta de mercat potencial per comercialitzar restes de poda com a biocombustible dins del sector primari. Al Segrià hi ha 621 explotacions ramaderes actives de porcí d'engreix, amb capacitat total per a 986.596 porcs, i 80 explotacions d'engreix de gallines i pollastres, amb capacitat total de 3.931.251 caps (DACAA, 2023c).

Determinar un consum mitjà de combustible és complicat, ja que depèn de diversos factors, com la situació geogràfica de les explotacions i la climatologia de cada zona, la qualitat de l'aïllament de les naus ramaderes, els mesos de l'any en què es produeix cada grup de cria, la fase productiva de cada explotació, la duració de cada cria i el nombre de baixes. S'ha emprat els consums específics de 35,40 Kwh per any i cap per al cas del porcí

(IAVOLA i ICAEN, 2007) i d'1,50 Kwh per any i cap per al cas de les gallines i pollastres d'engreix (ICAEN, 2007).

Primerament, s'han identificat les zones amb la major concentració de finques i s'ha calculat la distància mitjana entre les parcel·les de fruiters i les explotacions ramaderes de porcí d'engreix i de gallines i pollastres d'engreix. Aquest estudi s'ha realitzat amb el programari d'accés lliure Qgis, a partir de les coordenades UTM de les explotacions ramaderes (DACAA, 2023c) i de la ubicació de les parcel·les fructíferes del mapa de cultius DUN 2022 (Dades Obertes de Catalunya, 2022).

A la comarca, les tasques de poda es duen a terme entre setembre i febrer. El moment en què es fa la poda depèn del tipus de cultiu i del seu maneig.

3.3. Modelització i elaboració de mapes de potencial de segrest de C del Segrià mitjançant el model Roth C

Mitjançant el *Technical manual global soil organic carbon sequestration potential map* (GSOCseq) de la FAO (2020) i el programari de codi obert Rstudio, Qgis i Google Earth Engine, s'han elaborat mapes del potencial de segrest de COS en quatre escenaris. S'infereix el contingut de COS en vint anys, és a dir, en el 2040, ja que aquest període permet comparar regions per l'estabilització de les existències de COS. Dels quatre escenaris, un és amb pràctiques de maneig convencionals (BAU, de l'anglès *business as usual*) i tres amb pràctiques de maneig sostenibles (SSM, de l'anglès *sustainable soil management*). L'escenari BAU fa referència a les pràctiques de maneig típiques i predominants en la zona. En el cas dels cultius fruiters a la comarca del Segrià, la pràctica més estesa actualment és la fertilització mitjançant adobs minerals i no a partir d'esmenes orgàniques, fems o altres residus rics en C. En el cas de les SSM es fa referència a pràctiques de gestió que s'espera que eliminin el CO₂ de l'atmosfera i el conservin com a COS per tal de millorar l'acumulació o per mitigar o revertir les pèrdues. Hi ha tres pràctiques de maneig SSM que aconseguixen un augment baix, mitjà i alt, en les aportacions de C orgànic respecte a les pràctiques de maneig habituals, que correspon a un increment del 5 %, 10 % i 20 %, respectivament.

Les dades necessàries per executar el model són dades climàtiques, dades de sòl i dades de l'ús del sòl.

Les dades climàtiques per al model són la precipitació mensual (mm), la temperatura mitjana mensual (°C) i l'evapotranspiració potencial mensual (mm), extretes de Terraclimate, un conjunt de dades climàtiques accessible a través de Google Earth Engine, desenvolupat per la Universitat de Califòrnia Merced. Els períodes analitzats són les mitjanes de les sèries 1981-1990 i 1991-2000 i les dades any a any dels períodes 2001-2010 i 2011-2018.

Les dades de sòl inclouen els estocs inicials de COS a una profunditat de 0 a 30 cm (t C/ha), extrets del mapa de l'estoc de COS en sòls agrícoles de Catalunya (COS-30) a escala 1:500.000 (ICGC, 2018) i el contingut d'argila (%) a la mateixa profunditat extret de la plataforma SoilGrids (International Soil Reference and Information Centre, ISRIC). Les dades d'ús de sòl s'han obtingut d'una capa de coberta vegetal mensual, extreta mitjançant Google Earth Engine, en què es classifica el sòl en nu o vegetat. També s'ha utilitzat la capa de cobertes de sòl de de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) de l'any 2018.

3.4. Procediment per a l'elaboració dels mapes

Un cop preparades les capes necessàries per executar el model, s'executen els *scripts* (un total de 17) facilitats pel *Technical manual global soil organic carbon sequestration potential map* (GSOCseq) de la FAO (2020). Es poden dividir en tres passos: preparació de les dades (*scripts* del 0 al 12), execució del model (*scripts* del 13 al 15) i elaboració de mapes (*script* 16). En el cas de la capa d'ús de sòl, s'ha fet la transformació de les 41 classes d'ús de sòl que determina la capa de l'ICGC a les 12 classes que proposa la FAO.

4. Avaluació econòmica

4.1. Costos derivats de les diferents pràctiques de maneig

S'han estimat els costos associats a diverses pràctiques de maneig per al manteniment de la coberta en plantacions de fruiters, incloent-hi els costos de mà d'obra, maquinària i combustible per a cada tasca. Només s'avaluen els costos, ja que els ingressos varien segons altres factors de maneig i de cada explotació. Es descriuen tres tipus de pràctiques de maneig possibles: manteniment de la coberta vegetal viva espontània (pràctica 1), manteniment de la coberta vegetal amb dispositat de restes de poda triturades sobre el carrer de la plantació (pràctica 2) i encoixinat amb restes de poda (pràctica 3). No s'ha considerat la possibilitat de realitzar sembres per establir una coberta vegetal viva sembrada, tampoc no s'ha tingut en compte, per al càlcul dels costos, el maneig de la vegetació espontània que creix entre els arbres.

La maquinària necessària per a la pràctica 1 és una segadora; per a la pràctica 2, un raspall i una trituradora, i per a la pràctica 3, un raspall i una trituradora amb cargol sense fi per incorporar les restes de poda triturades sota el tronc dels arbres. Per calcular el cost d'adquisició de la maquinària, s'ha agafat el cost orientatiu que tindria el 2023 la compra d'una màquina bàsica.

El càlcul del cost d'ús de la maquinària i dels costos de consum de combustible s'han fet adaptant la metodologia per al càlcul de costos d'operació de tractors i maquinària agrícola (MARM, 2008); les fórmules emprades es mostren a la taula 1.

El temps necessari per a cada tasca s'ha estimat a partir de consultes realitzades a agricultors i tècnics experimentats de la zona. El cost de la mà d'obra s'ha determinat a partir del cost per hores extret de la mitjana dels salaris pagats per l'empresari agrari a Catalunya el 2023 (DACAA, 2023b), en què el cost mitjà a pagar per un operador de maquinària agrícola mòbil és de 48,60 €/h.

Per als costos totals de consum de combustible, s'ha suposat un preu per litre del gasoil B d'1,108 €/litre, extret de les dades dels preus pagats pel pagès a Catalunya en el període 2015-2023, publicades pel Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural (DACAA, 2023a). S'ha considerat, per a tots els càlculs, un tractor de 80 CV amb un consum de gasoil de 6 l/h.

TAULA 1
Fórmules emprades per al càlcul del cost unitari i horari de la maquinària

Amortització per desgast (€/h)	Amortització per obsolescència (€/h)
$\frac{\text{Preu d'adquisició de la maquinària (€)}}{\text{Hores màximes de vida útil (h)}}$	$\frac{\text{Preu d'adquisició de la maquinària (€)}}{\text{Anys de vida útil màxims (any)} \times \text{hores d'ús en l'explotació (h/any)}}$
Cost de resguard (€/h)	Cost dels interessos (€/h)
$\frac{0,1\% \text{ anual del preu d'adquisició de la maquinària (€)}}{\text{Hores d'ús en l'explotació (h/any)}}$	$\frac{7\% \text{ anual del } 60\% \text{ del preu d'adquisició de la maquinària (€)}}{\text{Hores d'ús en l'explotació (h/any)}}$
Vida útil de la maquinària (h)	Cost de l'assegurança (responsabilitat civil i incendis) (€/h)
$\frac{\text{Preu d'adquisició (€)}}{\text{Amortització per obsolescència (h/any)}}$	$\frac{0,2\% \text{ anual del preu d'adquisició de la maquinària (€)}}{\text{Hores d'ús en l'explotació (h/any)}}$
Cost de manteniment i reparacions (€/h)	
$\frac{\text{Cost de manteniment i reparacions (€/ha)}}{\text{Capacitat de treball (h/ha)}}$	
Cost horari total (€/h)	
Amortització per desgast (€/h) + amortització per obsolescència (€/h) + cost dels interessos (€/h) + cost de l'assegurança de responsabilitat civil i incendis (€/h) + cost de resguard (€/h) + cost de manteniment i reparacions (€/h)	
Cost unitari total (€/ha)	
$\text{Cost horari total} \left(\frac{\text{€}}{\text{h}} \right) \times \text{capacitat de treball} \left(\frac{\text{h}}{\text{ha}} \right)$	

FONT: Elaboració pròpia a partir de les dades extretes de MARM, 2008.

També s'ha tingut en compte que a la comarca del Segrià hi ha finques que es reguen amb sistema de degoteig i d'altres que encara es reguen mitjançant reg per superfície; aquest fet comporta diferències quant al maneig de la coberta vegetal viva, ja que en el cas de reg per gravetat el nombre de vegades que es realitza la tasca per campanya és major.

4.2. Ingressos potencials en crèdits de C

S'ha fet el càlcul dels ingressos potencials que podria percebre un agricultor un cop transcorreguts vint anys des de l'inici de la plantació, si el segrest de C, tant pel que fa al sòl com a la biomassa, es convertís en crèdits de C.

Per al càlcul dels crèdits de C referents al segrest de COS en el sòl, s'ha pres l'escenari més favorable modelitzat amb el Roth C, tenint en compte l'increment de COS entre l'any 2020 i el 2040 i compensant-lo econòmicament tant pel manteniment dels nivells de COS com pel seu increment al llarg d'aquests vint anys.

Per al cas del segrest de C en la biomassa dels arbres, es fa el càlcul del C present en la biomassa al final de la plantació i es proposa que, si es fa un bon ús de la biomassa quan aquesta s'arrenca, es podria compensar l'agricultor amb crèdits de C.

S'ha estimat un preu mitjà de 80 €/t de CO₂, ja que és el preu mitjà de venda dels crèdits de C en les subhastes durant l'any 2023 en el sistema de comerç de drets d'emissió de la Unió Europea, en què cada tona de CO₂ equival a un crèdit de C (Comissió Europea. Energia, Canvi Climàtic i Medi Ambient, 2024).

4.3. Viabilitat econòmica de la transformació de les restes de poda en biomassa per a combustible

Es fa el càlcul de costos per a la transformació de restes de poda en biomassa per a combustible mitjançant la recollida i trituració d'aquestes en la mateixa finca. En aquesta pràctica les restes de poda han estat prèviament dipositades sobre el carrer entre les files d'arbres i després una trituradora que disposa d'un sistema de recollida diposita la biomassa ja triturada en un remolc.

S'estima que es generen 3,5 tones de restes de poda per hectàrea i que el triturat resultant té un preu mitjà de venda d'entre 40 i 70 €/t.

Els càlculs dels costos de producció del triturat per a biomassa s'han fet per a una explotació de 20 ha de fruiters amb un tractor de 80 CV, una trituradora frontal i un remolc amb capacitat per a 4.000 kg. Per al càlcul del cost unitari i horari total, s'ha estimat un consum de combustible de 10 l/h. No s'ha inclòs en el càlcul el cost del transport fins al

consumidor. La metodologia de càlcul ha estat la mateixa que per al càlcul de costos de les pràctiques de maneig.

5. Resultats

5.1. Estimació de la biomassa i del segrest de C

Els resultats de determinar el C total (tronc, branques i arrels) de cada cultiu per a les diferents edats de la plantació es mostren en la taula 2. El contingut total de C en la biomassa de les plantacions és més elevat en els fruiters de pinyol, en què a partir de vint anys el contingut és de 22,30 MgC/ha.

TAULA 2
Contingut de C en la biomassa dels fruiters de pinyol i llavor al Segrià, segons l'edat de les plantacions

Edat (anys)	Contingut de C part aèria (MgC/ha)		Contingut de C en el sistema radicular (MgC/ha)		Contingut de C total (MgC/ha)	
	Fruiters de pinyol	Fruiters de llavor	Fruiters de pinyol	Fruiters de llavor	Fruiters de pinyol	Fruiters de llavor
5	7,0	2,70	3,0	0,8	10,0	3,5
10	14,3	6,0	6,1	1,8	20,4	7,8
15	15,5	9,8	6,7	2,9	22,2	12,7
20	15,6	13,3	6,7	4,0	22,3	17,3
25	15,6	16,2	6,7	4,9	22,3	21,1

FONT: Elaboració pròpia.

5.2. Estudi de la transformació de restes de poda en biomassa

La necessitat tèrmica de totes les explotacions porcínes d'engreix de la comarca del Segrià és de 125,70 MJ i per a les explotacions de pollastres i gallines d'engreix és de 21,22 MJ; per tant, la necessitat tèrmica total és de 146 MJ. El potencial productiu d'energia tèrmica que tindrien les restes de poda provinents de la poda anual dels fruiters de la comarca del Segrià si es transformessin en biocombustible, així com la seva equivalència en litres de gasoil, es mostren en la taula 3, amb un potencial productiu total de 814 TJ/any. Per tant, aquest fet demostra que teòricament es podria abastir totes aquestes explotacions ramaderes amb energia provinent de biomassa a partir de restes de poda de les plantacions fruiteres del Segrià.

TAULA 3

Potencial productiu d'energia tèrmica mitjançant restes de poda i la seva equivalència en litres de gasoil a la comarca del Segrià

Cultiu	Superfície cultivada al Segrià el 2022 (ha)	Restes de poda anual (t/any)	Terajoules (TJ)	Equivalència en litres de gasoil (l)
Albercoquers	1.418,55	4.964,92	52,63	1.467.601,92
Nectarina plana	223,14	780,99	8,28	230.855,94
Nectarina	6.740,96	23.593,36	250,09	6.974.055,10
Pereres	5.378,66	18.825,31	199,55	5.564.648,24
Pomeres	1.492,49	5.223,71	55,37	1.544.098,69
Préssec pla	3.607,35	12.625,73	133,83	3.732.088,26
Presseguers	3.080,92	10.783,22	114,30	3.187.454,88
Total:	21.942,07	76.797,25	814,05	22.700.803,04

FONT: Elaboració pròpia.

5.2.1. Dispersió territorial de les explotacions fructícoles de la comarca del Segrià

En la figura 1 veiem que entre les finques de cultius fruiters i les explotacions ramaderes estudiades no hi ha un problema de dispersió territorial i tampoc no es presenta un problema d'accessibilitat a finques ni de transport a potencials punts de consum, ja que aquestes finques no es troben en punts aïllats del territori, sinó pròximes tant a explotacions ramaderes com a nuclis de població i carreteres.

La distància mitjana entre els centroides de cada polígon, que corresponen a una finca de fruiters, i l'explotació ramadera de porcí o de pollastres d'engreix més propera és de 834 m, i la més llunyana es troba a 3.540 m de distància.

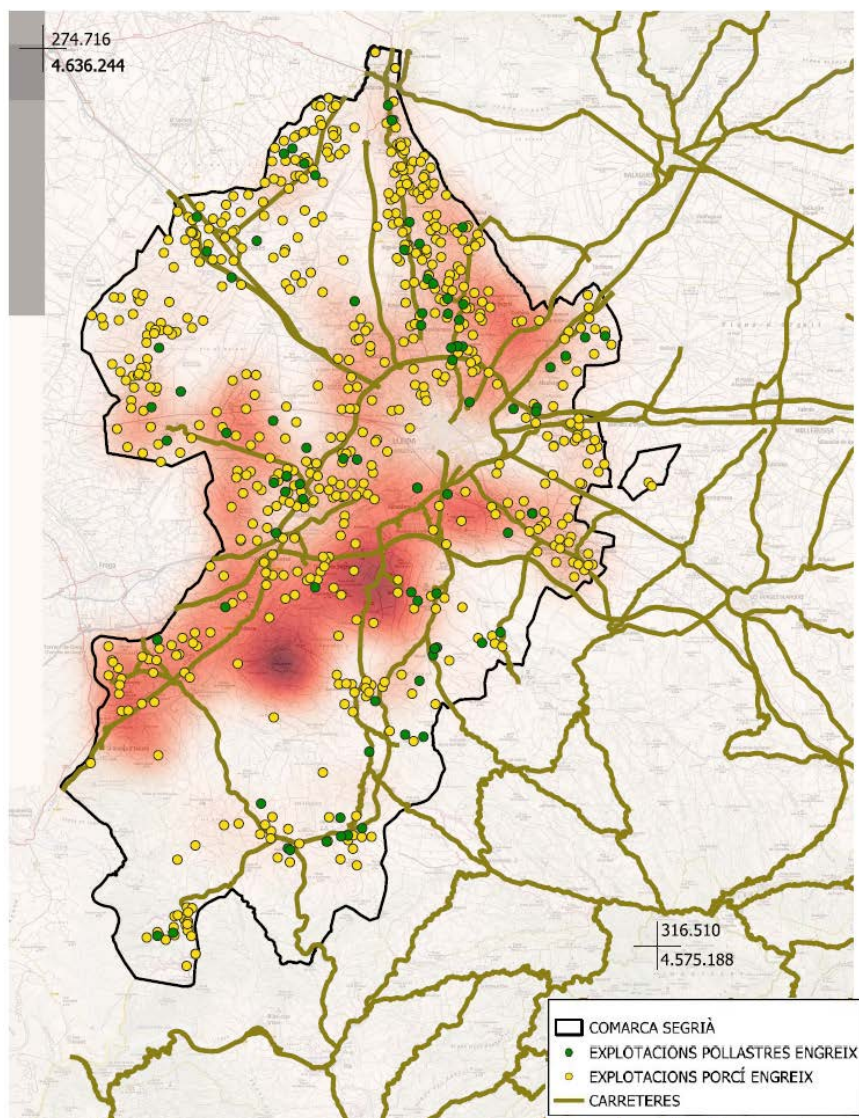
El calendari de tasques de poda per a cultius fruiters coincideix amb els mesos d'hivern i, per tant, en els mesos de necessitat d'energia tèrmica per a les calefaccions de naus ramaderes, edificis i habitatges, tal com es mostra en la figura 2.

5.3. Modelització i elaboració de mapes de potencial de segrest de C del Segrià mitjançant el model Roth C

De la modelització del potencial de segrest de C del Segrià s'obtenen vuit mapes. D'aquests, un representa el contingut de COS en la situació inicial l'any 2020, quatre representen el contingut de COS en cadascun dels quatre escenaris, i els altres tres representen la dife-

FIGURA 1

Mapa de calor en què es mostren les zones amb major densitat de parcel·les fructícoles (en vermell), i la distribució de les explotacions de porcí d'engreix (punts grocs) i de pollastres i gallines d'engreix (punts verds) a la comarca del Segrià



FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 2**Calendari de poda en fruiters a la comarca del Segrià**

	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL	AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE
ALBERCOQUER												
PRESSEGUER												
NECTARINA												
POMERA												
PERERA												

FONT: Elaboració pròpia.

rència relativa entre els tres escenaris que empren pràctiques de maneig respectuoses amb el sòl (SSM) i l'escenari en què se segueixen emprant les pràctiques de maneig convencionals (BAU).

Els resultats es mostren en la figura 3, en què l'escenari 1 es refereix a pràctiques de maneig convencionals; l'escenari 2, al contingut final el 2040 amb un increment d'un 5 % respecte de les aportacions de COS en pràctiques de maneig convencionals; l'escenari 3, al contingut final el 2040 amb un increment d'un 10 %, i l'escenari 4, al contingut final el 2040 amb un increment del 20 % de les aportacions de C orgànic.

Si comparem els mapes amb el contingut de COS inicial, veiem que si se segueixen les pràctiques de maneig habituals, és a dir, sense fer un maneig mitjançant pràctiques respectuoses amb el medi ambient, el contingut de COS el 2040 haurà disminuït en pràcticament tots els sòls. En l'escenari 2, algunes parcel·les perdran contingut de COS i d'altres n'augmentaran fins a 0,15 t C/ha. Veiem que l'augment de COS es dona en sòls en què el contingut de COS ja era el més elevat de la comarca. En el cas de l'escenari 3, veiem que la distribució del contingut de COS respecte a la situació inicial és molt similar, i el 2040 s'incrementa fins a 0,30 t C/ha. L'escenari 4, en el qual augmenten les aportacions de C orgànic en un 20 %, és el que més COS incrementa el 2040, i podria arribar a assolir les 0,60 t C/ha.

5.4. Avaluació econòmica

5.4.1. Costos derivats de les diferents pràctiques de maneig

Els resultats del càlcul dels costos unitaris i horaris de cada arreu es mostren en la taula 4. Tenint en compte que per a la pràctica 1 es necessita una segadora; per a la pràctica 2, un raspall alineador i una trituradora estàndard, i per a la pràctica 3, un raspall alineador i una trituradora amb un cargol sense fi, podem calcular el cost de cada pràctica de ma-

FIGURA 3

Mapes obtinguts mitjançant el model Roth C del contingut final de COS en cada escenari l'any 2040 i de la diferència relativa del contingut de COS l'any 2040 respecte a l'escenari en què es duen a terme pràctiques de maneig habituals

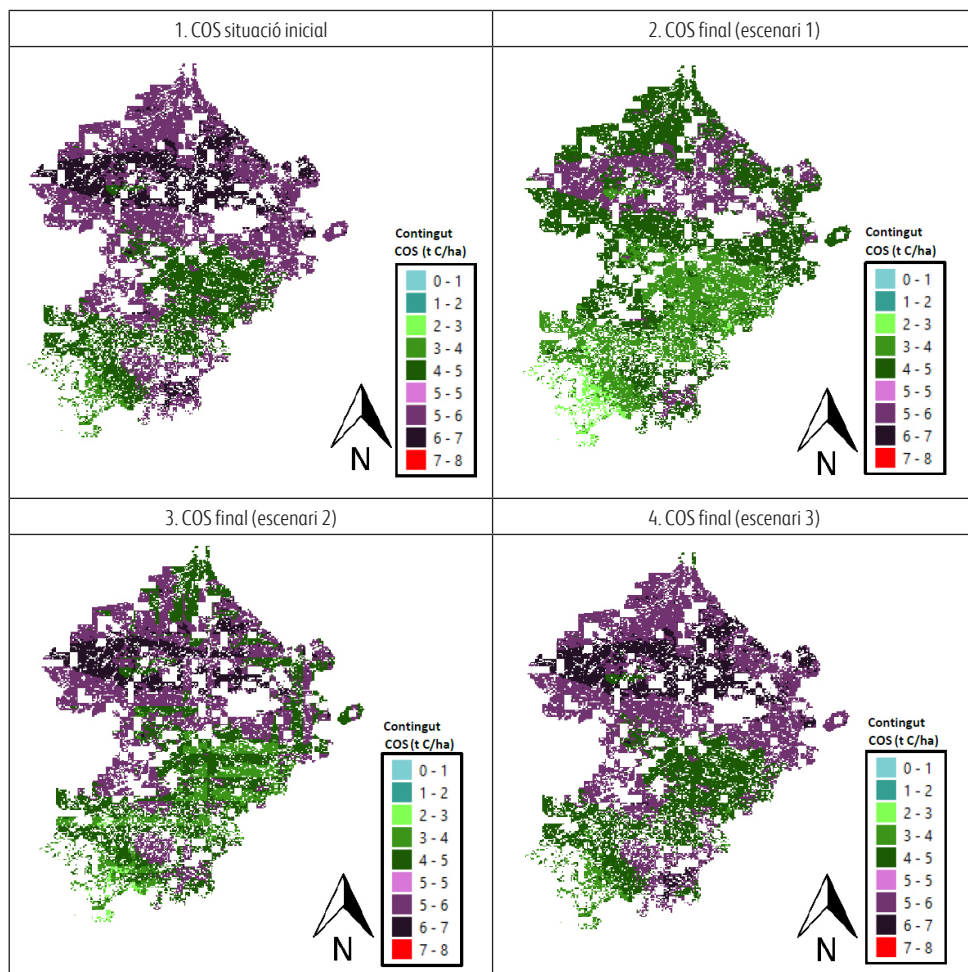
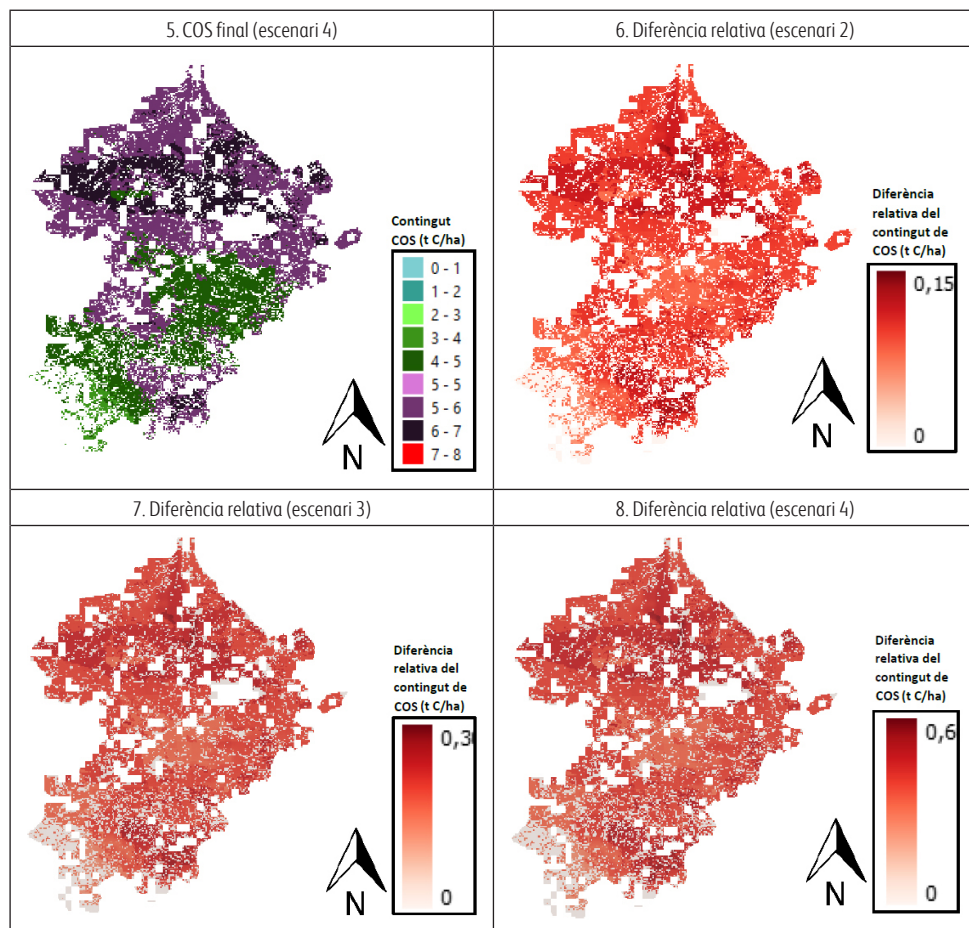


FIGURA 3

Mapes obtinguts mitjançant el model Roth C del contingut final de COS en cada escenari l'any 2040 i de la diferència relativa del contingut de COS l'any 2040 respecte a l'escenari en què es duen a terme pràctiques de maneig habituals (*Continuació*)



FONT: Elaboració pròpia.

neig, tal com es mostra en la taula 5. En la taula 6 es mostren els resultats del càlcul del cost del combustible; en la taula 7, el cost de la mà d'obra, i en la taula 8, els costos totals per a cada pràctica de maneig, que són el resultat de la suma dels costos de l'ús dels ar-reus, de la mà d'obra i de la despesa en combustible. Els càlculs s'han fet per a una explo-tació de 20 ha; es considera que el cost de reparacions és de 6,8 €/ha i que les hores de vida útil són 1.200 amb vint anys de vida útil màxims (MARM, 2008).

TAULA 4
Càlcul de cost horari i unitari per a cada arreu necessari en les diferents pràctiques de maneig de la coberta en fruiters

Tipus de reg	Arreu							
	Segadora		Raspall alineador		Trituradora estàndard		Trituradora amb un cargol sense fi	
	Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat
Nombre de vegades que es realitza la tasca per hectàrees i campanya	2	4	2	4	2	4	2	4
Capacitat de treball (h/ha)	1	1	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Hores d'ús per hectàrees i campanya (h/ha i any)	2	4	2,5	5	2,5	5	2,5	5
Preu d'adquisició de la maquinària (€)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	8.000	8.000
Hores de vida útil màxims (h)	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Anys de vida útil màxims (anys)	20	20	20	20	20	20	20	20
Hores d'ús anual per explotació (h)	40	80	50	100	50	100	50	100
Taxa d'interès (%)	7	7	7	7	7	7	7	7
Manteniment i reparacions (€/ha)	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
Amortització per desgast (€/h)	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	6,67	6,67
Amortització per obsolescència (€/h)	6,25	3,125	5	2,5	5	2,5	8	4
Interessos (€/h)	5,25	2,625	4,2	2,1	4,2	2,1	6,72	3,36
Assegurança de responsabilitat civil i d'incendi (€/h)	0,25	0,125	0,2	0,1	0,2	0,1	0,32	0,16
Resguard (€/h)	0,13	0,06	0,10	0,05	0,10	0,05	0,16	0,08
Manteniment i reparacions (€/h)	6,8	6,8	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44	5,44
Vida útil (h)	800	1600	1000	2000	1000	2000	1000	2000
Període d'amortització (anys)	20	20	20	20	20	20	20	20
Cost horari total (€/h)	22,84	16,90	19,11	14,36	19,11	14,36	27,31	19,71
Cost unitari total (€/ha)	22,8	16,9	23,9	17,9	23,9	17,9	34,1	24,6

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 5

Costos totals de la maquinària per a cada pràctica de maneig

	Cost					
	Pràctica 1		Pràctica 2		Pràctica 3	
	Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat
Cost horari total maquinària (€/h)	22,84	16,90	38,21	28,71	46,41	34,06
Cost unitari total maquinària (€/ha)	22,8	16,9	47,8	35,9	58,0	42,6

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 6

Cost del combustible per a cada pràctica de maneig

	Cost del combustible						
	Unitat	Pràctica 1		Pràctica 2		Pràctica 3	
		Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat
Consum de combustible	l/h	6	6	6	6	6	6
	l/ha i any	12	24	15	30	15	30
Hores de treball	h/ha	2	4	2,5	5	2,5	5
Cost combustible	€/ha i any	13,3	26,6	16,6	33,2	16,6	33,2
Preu mitjà gasoil B	€/l	1,108					

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 7

Cost de la mà d'obra per a cada pràctica de maneig

	Cost de la mà d'obra						
	Unitat	Pràctica 1		Pràctica 2		Pràctica 3	
		Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat
Cost mà d'obra	€/h	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6	48,6
	€/ha	97,2	194,4	121,5	243,0	121,5	243,0
Hores de treball	h/ha	2	4	2,5	5	2,5	5

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 8

Costos totals per a cada pràctica de maneig, que resulten de la suma dels costos de l'ús dels arreu, de la mà d'obra i de la despesa en combustible

Costos anuals totals							
Tipus de cost	Unitat	Pràctica 1		Pràctica 2		Pràctica 3	
		Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat	Degoteig	Gravetat
Arreu/s	€/h	22,84	16,90	38,21	28,71	34,06	46,41
	€/ha	22,84	16,90	47,77	35,89	42,58	58,02
Mà d'obra	€/h	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60	48,60
	€/ha	97,20	194,40	121,50	243,00	243,00	121,50
Combustible	€/h	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65
	€/ha	13,30	26,59	16,62	33,24	33,24	16,62
Cost total	€/h	78,09	72,15	93,46	83,96	89,31	101,66
	€/ha	133,34	237,90	185,89	312,13	318,82	196,14

FONT: Elaboració pròpia.

Veiem que la pràctica amb un cost més elevat és la pràctica 3, en el cas del reg per degoteig, amb un total de 318,82 €/ha, i la que té un cost menor és la pràctica 1, en el cas de finques amb reg per degoteig, amb un cost total de 133,34 €/ha. Entre la pràctica amb un cost menor i la pràctica amb un cost més elevat hi ha una diferència de 185,48 €. D'aquest increment, la mà d'obra representa un 78,61 %; el combustible, un 10,75 %, i el cost de la maquinària, un 10,64 %.

5.4.2. Ingressos potencials en crèdits de C

En el cas de la biomassa, una plantació de fruiters de pinyol amb una edat de vint anys ha acumulat un total de 22,30 tC/ha, que equival a 1.784 €/ha; en el cas dels fruiters de lla-vor, s'haurà segrestat un total de 17,30 tC/ha o, el que és el mateix, 1.384 €/ha en valor de crèdits de CO₂ no emesos a l'atmosfera durant aquests vint anys. En el cas del segrest de C en el sòl, prenem el valor de l'escenari més favorable que s'ha modelitzat amb Roth C, concretament el cas en què, mitjançant pràctiques de maneig sostenibles, s'aplica un 20% més de C orgànic al sòl, l'escenari 4. En el millor dels casos tenim sòls que podran presentar un augment de 0,30 tC/ha l'any 2040. Si es fa el càlcul un cop hagin transcorregut vint anys, el valor en crèdits de C serà de 48 €/ha. Si tenim en compte el C que no es perd perquè s'hi fan pràctiques de maneig adients, podem estimar que en vint anys el valor serà de 480 €/ha. Un cop transcorreguts vint anys d'una plantació fruitera i mitjan-

çant pràctiques de maneig adients, podem determinar que s'han segrestat de mitjana per al cas de plantacions de fruiters de pinyol un total de 28,3 tC/ha, que equivalen a 2.264 €/ha i de 23,3 tC/ha i 1.864 €/ha en el cas de plantacions de fruiters de llavor.

5.4.3. *Viabilitat econòmica de la transformació de les restes de poda en biomassa per a combustible*

El cost total de triturar les restes de poda en camp mitjançant una trituradora frontal i un remolc en la part posterior, on es disposen les restes de poda triturades, és de 183,01 €/h, que es tradueix en 274,52 €/ha. Les dades per al càlcul es mostren en la taula 9, de la qual s'extreu que el cost total unitari de la pràctica és de 185 €/ha per a la maquinària, 72,90 €/ha per a la mà d'obra i 16,62 €/ha en combustible, i, per tant, el cost total és de 274,52 €/ha, tal com es reflecteix en la taula 10. En la taula 11 es mostra la comparativa entre les tres alternatives i els seus ingressos i costos associats, i en la taula 12 es fa el balanç d'ingressos i despeses, en què el cas més favorable és el del manteniment de la coberta vegetal espontània amb exportació de les restes de poda fora de la finca en fruiters de pinyol amb sistema de degoteig i en un terreny elevat, amb un balanç de 2.119,60 € en vint anys.

6. Conclusions

En aquest estudi es presenta una metodologia per valoritzar residus orgànics derivats del conreu de fruiters en zones de regadiu. En concret, les plantacions de fruiters del Segrià poden ser un embornal de C si s'hi realitzen pràctiques de maneig sostenibles que contribueixen a la descarbonització de l'atmosfera i a la mitigació del canvi climàtic. Aquesta millora es pot donar al llarg del procés productiu i al final de les plantacions amb un bon maneig dels residus que se'n generen. Amb un increment de les aportacions de C orgànic en un 20 %, respecte de les pràctiques de maneig habitual en què la fertilització s'acostuma a basar en l'aplicació de fertilitzants minerals, una plantació de fruiters de pinyol pot arribar a segrestar fins a 28 tC/ha i 23,3 tC/ha en el cas de fruiters de llavor en un període de vint anys.

Aquest segrest de C es pot transformar en crèdits de C que resultaran un complement econòmic per a l'agricultor si duu a terme pràctiques de maneig sostenibles, és a dir, si incrementa l'aportació d'esmenes orgàniques en la fertilització, substituint els adobs minerals per fertilitzants orgànics rics en C, i, a més, si es fa una bona gestió dels residus de l'arrencada de les plantacions. Tot això es pot traduir en crèdits de C per un valor

TAULA 9

Dades per al càlcul del cost unitari i horari de la trituradora i del remolc per convertir les restes de poda en biomassa

	Trituradora	Remolc
Nombre de vegades que es realitza la tasca en cada campanya	1,00	1,00
Hores d'ús per hectàrea i campanya (h/ha i campanya)	1,50	1,50
Preu d'adquisició de la maquinària (€)	14000,00	16000,00
Hores de vida útil màximes (h)	1200,00	3000,00
Vida útil (anys)	20,00	20,00
Hores d'ús anual per explotació (h)	30,00	30,00
Taxa d'interès (%)	7,00	7,00
Capacitat de treball (h/ha)	1,50	1,50
Manteniment i reparacions (€/ha)	6,80	6,80
Amortització desgast (€/ha)	11,67	5,33
Amortització obsolescència (€/h)	23,33	26,67
Interessos (€/h)	19,60	22,40
Assegurança de responsabilitat civil i d'incendi (€/ha)	0,93	1,07
Resguard (€/h)	0,47	0,53
Manteniment i reparacions (€/h)	7,78	3,56
Vida útil (h)	600,00	600,00
Període d'amortització (anys)	20,00	20,00
Consum combustible (l/h)	10,00	10,00
Cost horari total (€/h)	63,78	59,56
Cost unitari total (€/ha)	95,67	89,33

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 10

Cost horari i unitari total de la transformació de les restes de poda en biocombustible

Tipus de cost	Unitat	Trituradora	Remolc
Maquinària	€/h	63,78	59,56
	€/ha	95,67	89,33
Mà d'obra	€/h	48,60	
	€/ha	72,90	
Combustible	€/h	11,08	
	€/ha	16,62	
Cost total	€/h	183,01	
	€/ha	274,52	

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 11

Ingressos i despeses de cada tipus de maneig de la coberta vegetal i de les restes de poda anuals

Alternativa	Tipus de reg	Maquinària necessària i cost d'adquisició	Cost unitari del manteniment de la coberta (€/ha i any)	Costos de la transformació de les restes de poda en triturat per a biocombustible (€/ha i any)	Ingressos anuals complementaris a la producció					Venda de restes de poda com a biocombustible (€/ha i any)
					Crèdits de carboni (€/ha i any)		Ajuts ecorègims PAC (€/ha i any)			
					Pinyol	Llavor	Pla	Mitjà	Elevat	
Manteniment de la coberta vegetal espontània amb exportació de les restes de poda fora de la finca	Degoteig	Trituradora (5.000 €)	133,34	171,74						245
	Superfície	+ trituradora i remolc per transformar les restes de poda en biocombustibles (14.000 € + 16.000 €) Total: 35.000 €	237,90							0
Manteniment de la coberta vegetal espontània amb dipositat de les restes de poda sobre el carrer de la plantació	Degoteig	Trituradora (5.000 €)	168,69	No es transforma						0
	Superfície	+ raspall alineador de restes de poda (4.000 €) Total: 9.000 €	299,21		113	93	57,18	107,20	155,64	0
Manteniment de la coberta vegetal inerta (encoixinat [mulch]) mitjançant restes de poda de la mateixa plantació	Degoteig	Trituradora amb un cargol sense fi (8.000 €)	175,25	No es transforma						0
	Superfície	+ raspall alineador de restes de poda (4.000 €) Total: 12.000 €	303,49							0

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 12

Balanç final (ingressos – despeses) de les diferents pràctiques de maneig de la coberta vegetal en fruiters, un cop transcorreguts vint anys

Alternativa maneig	Tipus de cultiu fruiter	Tipus de reg	Tipus de pendent segons la classificació dels ecorègims de la PAC	Total ingressos (€)	Total despeses (€)	Balanç final (€) (ingressos – despeses)
Manteniment de la coberta vegetal espontània amb exportació de les restes de poda fora de la finca	Pinyol	Degoteig	Pla	8.307,6	8.157,2	150,4
			Mitjà	9.308,0	8.157,2	1.150,8
			Elevat	10.276,8	8.157,2	2.119,6
		Gravetat	Pla	8.307,6	10.248,3	-1.940,7
			Mitjà	9.308,0	10.248,3	-940,3
			Elevat	10.276,8	10.248,3	28,5
	Llavor	Degoteig	Pla	7.907,6	8.157,2	-249,6
			Mitjà	8.908,0	8.157,2	750,8
			Elevat	9.876,8	8.157,2	1.719,6
		Gravetat	Pla	7.907,6	10.248,3	-2.340,7
			Mitjà	8.908,0	10.248,3	-1.340,3
			Elevat	9.876,8	10.248,3	-371,5
Manteniment de la coberta vegetal espontània amb dipositat de les restes de poda sobre el carrer de la plantació	Pinyol	Degoteig	Pla	3.407,6	3.717,7	-310,1
			Mitjà	4.408,0	3.717,7	690,3
			Elevat	5.376,8	3.717,7	1.659,1
		Gravetat	Pla	3.407,6	6.242,6	-2.835,0
			Mitjà	4.408,0	6.242,6	-1.834,6
			Elevat	5.376,8	6.242,6	-865,8
	Llavor	Degoteig	Pla	3.007,6	3.717,7	-710,1
			Mitjà	4.008,0	3.717,7	290,3
			Elevat	4.976,8	3.717,7	1.259,1
		Gravetat	Pla	3.007,6	6.242,6	-3.235,0
			Mitjà	4.008,0	6.242,6	-2.234,6
			Elevat	4.976,8	6.242,6	-1.265,8
Manteniment de la coberta vegetal inerta (encoixinat) mitjançant restes de poda de la mateixa plantació	Pinyol	Degoteig	Pla	3.407,6	3.922,7	-515,1
			Mitjà	4.408,0	3.922,7	485,3
			Elevat	5.376,8	3.922,7	1.454,1
		Gravetat	Pla	3.407,6	6.376,4	-2.968,8
			Mitjà	4.408,0	6.376,4	-1.968,4
			Elevat	5.376,8	6.376,4	-999,6
	Llavor	Degoteig	Pla	3.007,6	3.922,7	-915,1
			Mitjà	4.008,0	3.922,7	85,3
			Elevat	4.976,8	3.922,7	1.054,1
		Gravetat	Pla	3.007,6	6.376,4	-3.368,8
			Mitjà	4.008,0	6.376,4	-2.368,4
			Elevat	4.976,8	6.376,4	-1.399,6

FONT: Elaboració pròpia.

de 2.264 €/ha per a fruiters de pinyol i de 1.864 €/ha per als fruiters de llavor, un cop han transcorregut vint anys.

L'elaboració i comercialització de les restes de poda com a biocombustible és viable a la comarca del Segrià a causa de l'elevada concentració territorial de les finques, del baix pendent de les parcel·les on es cultiva fruita fresca i de la veta de mercat disponible. És una alternativa que podria donar solució a la crema descontrolada de la fusta provinent de les arrencades. Aquesta transformació impulsa l'economia circular revalorant en un cicle curt un residu i convertint-lo en un subproducte que minimitza l'impacte ambiental a conseqüència dels transports de llarga distància. En el cas del tractament de les restes provinents de les arrencades, la transformació de la part radicular presenta problemes. Es proposa com a solució utilitzar la part aèria com a biocombustible triturat i les arrels com a material estructurant per a compost en plantes de compostatge pròximes a les plantacions.

Resulta d'especial importància que s'impulsi l'adquisició, la fabricació i la millora de calderes que puguin funcionar de forma eficient amb aquest tipus de biocombustible. A més, els elevats costos de producció de biomassa dels residus provinents d'arrencades comprometen la seva viabilitat econòmica. Per tant, és necessari que les administracions s'hi impliquin fomentant-ne la investigació i facilitant que es puguin dur a terme.

Agraïments

Vull donar les gràcies a la meva tutora, Rosa Maria Poch Claret, per la seva orientació al llarg de l'elaboració del meu treball final de màster i per haver-me animat a escriure aquest article.

Bibliografia

- ÁLVARO-FUENTES, J. [et al.] (2007). «Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems». *Soil and Tillage Research* [en línia], vol. 96, núm. 1-2, p. 331-341. <<https://doi.org/10.1016/j.still.2007.08.003>>.
- CHAMIZO, S. [et al.] (2017). «Net ecosystem CO₂ exchange in an irrigated olive orchard of SE Spain: Influence of weed cover». *Agriculture, Ecosystems & Environment* [en línia], vol. 239, p. 51-64. <<https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.016>>.
- COMISSIÓ EUROPEA. ENERGIA, CANVI CLIMÀTIC I MEDI AMBIENT (2024). «Règim de comerç de drets d'emissió de la UE» [en línia]. UE. <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_es?prefLang=es> [Consulta: 6 febrer 2024].

- DACAA = DEPARTAMENT D'ACCIÓ CLIMÀTICA, ALIMENTACIÓ I AGENDA RURAL (2023a). «Preus pagats pel pagès. Catalunya 2015-2023» [en línia]. Barcelona: Gabinet Tècnic. Servei d'Estadística i Preus Agroalimentaris. <https://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de02_estadistiques_observatoris/20_observatori_agroalimentari_de_preus/03_preus/07_preus_i_salaris_pagats/fitxers_estatics/Plantilla_Preus_pagats2015_2023_15.pdf> [Consulta: 2 febrer 2024].
- (2023b). «Salaris pagats per l'empresari agrari. Catalunya 2023» [en línia]. Barcelona: Gabinet Tècnic. Servei d'Estadística i Preus Agroalimentaris. <https://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de02_estadistiques_observatoris/20_observatori_agroalimentari_de_preus/03_preus/07_preus_i_salaris_pagats/fitxers_estatics/Plantilla_Salaris_pagats2022_2023_22.pdf> [Consulta: 2 febrer 2024].
- (2023c). «Registre d'explotacions ramaderes» [en línia]. <<https://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/registres-oficials/ramaderia-sanitat-animal/registre-explotacions-ramaderes/index.html>> [Consulta: 20 juny 2023].
- DADES OBERTES DE CATALUNYA. «Mapa de cultius de Catalunya amb origen DUN» [en línia]. Barcelona. <<https://analisi.transparenciacatalunya.cat/Medi-Rural-Pesca/Mapa-de-cultius-de-Catalunya-amb-origen-DUN/yh94-j2n9>> [Consulta: 21 juliol 2023].
- DEN BOER, J. [et al.] (2020). «Life-cycle assessment of the use of peach pruning residues for electricity generation». *Energies* [en línia], vol. 13, núm. 11, 2734. <<https://doi.org/10.3390/en13112734>>.
- DURYEA, M.; ENGLISH, R.; HERMANSEN, L. (1999). «A comparison of landscape mulches: Chemical, allelopathic, and decomposition properties». *Journal of Arboriculture* [en línia], vol. 25, núm. 2, p. 88-97. <<https://doi.org/10.48044/jauf.1999.014>>.
- EL-BELTAGI, H. [et al.] (2022). «Mulching as a sustainable water and soil saving practice in agriculture: A review». *Agronomy* [en línia], vol. 12, núm. 8, 1881. <<https://doi.org/10.3390/agronomy12081881>>.
- FAO = FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra* [en línia]. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d8b7252e-03c2-4116-8b6c-ebd5ca3c9662/content>> [Consulta: 12 juliol 2023].
- (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto* [en línia]. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6e5e1fa9-ef55-4198-9160-fa580483f991/content>> [Consulta: 18 juliol 2023].
- (2020). *Technical manual global soil organic carbon sequestration potencial map GSOC-seq* [en línia]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <<https://fao-sid.github.io/GSOCseq/index.html#authors>>.

- FAO = FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2022). *Global soil organic carbon sequestration potential Map: GSOCseq v.1.1: Technical report* [en línia]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <<https://doi.org/10.4060/cb9002en>>.
- FAO - ITPS = INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS (2021). «Soil organic carbon and nitrogen: Reviewing the challenges for climate change mitigation and adaptation in agri-food systems». *Intergovernmental Technical Panel on Soils* [en línia], núm 2, p. 1-3. <<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6c09c455-577c-43df-ae4e-95668da78124/content>> [Consulta: 20 juliol 2023].
- FUNES, I. [et al.] (2022). «Carbon stocks and changes in biomass of Mediterranean Woody crops over six-year period in NE Spain». *Agronomy for Sustainable Development* [en línia], vol. 42, p. 98. <<https://doi.org/10.1007/s13593-022-00827-y>>.
- GENERALITAT DE CATALUNYA; INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS (2016). *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* [en línia]. <https://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER_INFORME_CANVI_CLIMATIC_web.pdf> [Consulta: 20 juliol 2023].
- GORELICK, N. [et al.] (2017). «Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone». *Remote Sensing of Environment* [en línia], vol. 202, p. 18-27. <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>>.
- ICAEN = INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA (2007). *Programa d'assessorament energètic: Informe sectorial derivat de les avaluacions energètiques* [en línia]. <https://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/08_guies_informes_estudis/informes_i_estudis/arxius/2009_informe_sector_avicola.pdf> [Consulta: 15 juliol 2023].
- ICGC = INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (2018). «Mapa de cobertes del sòl de Catalunya - any 2018» [en línia]. <<https://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Mapes/Mapa-de-cobertes-del-sol-de-Catalunya>> [Consulta: 16 juliol 2023].
- (2019). «Mapa de sòls de Catalunya 1:250.000» [en línia]. <<https://www.icgc.cat/es/Datos-y-productos/Geoinformacion-tematica/Cartografia-de-suelos/Mapa-de-sols-1250000>> [Consulta: 16 juliol 2023].
- IFOAM - ORGANICS INTERNATIONAL = INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS (2020). *Mulching in organic agriculture* [en línia]. <<https://teca.apps.fao.org/en/technologies/8365/>> [Consulta: 16 juliol 2023].
- KASSAM, A. [et al.] (2012). «Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate». *Field Crops Research* [en línia], vol. 132, núm. 1, p. 7-17. <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.023>>.
- LAVOLA; ICAEN (2007). *Estudis d'avaluació energètica a explotacions agràries de ramaderia intensiva de porcí* [en línia]. <https://icaen.gencat.cat/web/.content/20_Energia/24>

- _usos_energia/06_sector_primari/documents/arxiu/651123_informe_conclusions_ramader2007.pdf> [Consulta: 15 juliol 2023].
- MARM = MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (2008). «Previsión de costes de utilización de la maquinaria agrícola» [en línia]. <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/MetodologiaCalculoCostes_tcm30-58577.pdf> [Consulta: 10 juliol 2023].
- MCDONALD, H. [et al.] (2021). *Carbon farming: Making agricultura fit for 2030* [en línia]. Luxemburg: European Parliament. <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695482/IPOL_STU\(2021\)695482_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695482/IPOL_STU(2021)695482_EN.pdf)> [Consulta: 2 agost 2023].
- MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M. (2006). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles* [en línia]. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. <<https://gregoriomontero.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/2005-01-monografc3ada-forestal-13-m-produccic3b3n-de-biomasa-y-fijacic3b3n-de-co2-por-los-bosques-espac3b1oles.pdf>> [Consulta: 18 abril 2023].
- NACIONS UNIDES (1992). *Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático* [en línia]. <<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>> [Consulta: 2 març 2023].
- PEÑA SALAMANCA, E. J.; TORRES GONZÁLEZ, A. M.; ZÚÑIGA ESCOBAR, O. (2013). *Monitoreo del ciclo del carbono en ecosistemas de alta montaña del neotrópico: Métodos y estudios de caso*. Cali: Universidad del Valle.
- POGGIO, L. [et al.] (2021). «SoilGrids 2.0: Producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty». *Soil* [en línia], vol. 7, núm. 1, p. 217-240. <<https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021>> [Consulta: 16 juliol 2023].
- ROBERT, M. (2006) «Global change and carbon cycle: The position of soils and agriculture». A: ROOSE, J.; LAL, R.; FELLER, C.; BARTHÈS, B.; STEWART, B. A. (ed.). *Soil erosion and carbon dynamics*. Boca Raton: CRC Press.
- STEWART, C. E. [et al.] (2007). «Soil carbon saturation: Concept, evidence and evaluation». *Biogeochemistry* [en línia], vol. 86, p. 19-31. <<https://doi.org/10.1007/s10533-007-9140-0>>.
- VICENTE-VICENTE, J. L. [et al.] (2017). «Carbon saturation and assessment of soil organic carbon fractions in Mediterranean rainfed olive orchards under plant cover management». *Agriculture, Ecosystems & Environment* [en línia], vol. 245, p. 135-146. <<https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.020>>.