

RESUM

La producció de soja ecològica és minoritària però existeix un mercat creixent, sobretot per al consum humà i per alimentació animal. No obstant, el seu cultiu presenta importants limitacions com el control de la flora adventícia. L'objectiu del projecte consistia en el disseny i l'avaluació de mètodes més sostenibles per a la producció de soja ecològica. Es va establir un assaig de camp a Juneda (Lleida) on es van avaluar quatre alternatives de maneig de soja: (1) tradicional (treball del sòl durant l'hivern i control de males herbes amb binadora), (2) coberta de sègol incorporada i control de males herbes amb binadora o (3) amb segadora i (4) control de la coberta de sègol amb corró laminat i sembra directa de soja (4). La coberta de sègol va mostrar una elevada acumulació de biomassa aèria i absorció de nitrogen (aprox. 12.000 kg/ha i 275 kg N/ha, respectivament), reduint els elevats continguts de nitrat del sòl que feien menys competitiva la soja enfront les males herbes d'estiu. Al juliol, la cobertura de males herbes al utilitzar el corró laminat va ser menor (15%) que al tractament amb sègol incorporat i passada de binadora (73%). Es va observar una tendència a una menor biomassa al utilitzar el corró laminat respecte els altres tractaments. La producció de gra va ser superior al maneig tradicional (1) i al utilitzar el corró laminat (4) (2691 i 2062 kg/ha, respectivament), sense diferències estadístiques entre ambdós, en comparació amb les alternatives (2) i (3) (1285 i 819 kg/ha, respectivament). El control d'herbes amb una coberta controlada amb corró laminat té la potencialitat de reduir la biomassa d'arvenses i assolir uns nivells de productivitat similars al maneig tradicional.

01. Introducció

La UE importa el 70% de les fonts de proteïna per a l'alimentació animal i el 97% de la soja que es consumeix (FAOstat, 2018). La producció ramadera és la principal consumidora de la proteïna importada. Un dels objectius estratègics de la UE és acostar-se a l'autosuficiència proteica (Comissió Europea, 2018). Igualment, Catalunya és deficitària pel que fa a la producció de proteïna, que es destina bàsicament a la fabricació de pinsos per alimentació animal.

El cultiu de la soja a Catalunya ha experimentat un creixement moderat en els darrers anys. Tot i això, encara és un cultiu molt minoritari, cobrint 150 hectàrees. La soja suposa una alternativa interessant per als sistemes de cultiu de regadiu de Catalunya, actualment basats en la producció de cereals d'estiu com el panís i d'hivern, com l'ordi i el blat, tots ells amb elevades exigències de nitrogen, fet que ha portat a nombrosos problemes ambientals com la contaminació dels aqüífers per nitrats. La producció de soja ecològica encara és minoritària però existeix un mercat creixent, sobretot per al consum humà i per a pinso ecològic. La impossibilitat d'utilitzar aminoàcids de síntesi en sistemes ecològics, fa que la proteïna sigui el component més car i, per tant, la possibilitat d'autoabastiment es presenta com una oportunitat per millorar la competitivitat de les explotacions, ja que en algunes explotacions ramaderes l'alimentació pot suposar un 70% dels costos. Alhora, el cultiu local de soja permet reduir les importacions de països tercers de la UE, fet que comporta un benefici mediambiental clar al disminuir el transport transoceànic de matèries primeres mitiganant enormement les emissions de CO₂.

El control de la flora adventícia és un dels aspectes cabdals de la producció ecològica de cultius herbacis extensius. En

el cas dels cultius d'estiu en condicions de regadiu, aquest aspecte pren major importància pel potencial productiu i per l'elevada taxa de desenvolupament de les males herbes. Les males herbes suposen una de les majors limitacions del cultiu de la soja degut, principalment, a l'escassa competitivitat del cultiu durant els primers estadis de desenvolupament. Aquestes limitacions han estat observades repetidament en treballs previs duts a terme a Catalunya. En alguns casos, fins i tot, foren necessaris controls manuals de les males herbes (e.g. López Querol, 2018; Santiveri i col. 2020). Tradicionalment, el control de la flora arvense en producció ecològica i de baixos insums en cultius a línies amples (e.g. panís, gira-sol, soja, etc.) s'ha basat en l'ús de binadores i/o grades de pures de diferent grau d'automatització i control (Sans i col. 2010). No obstant, aquest maneig implica una certa inversió en maquinària, hores de feina, recursos humans, consum de combustible i, alhora, compromet la qualitat de la superfície del sòl, disminuint-ne el contingut de la matèria orgànica i l'estabilitat de l'estructura.

En conseqüència, la sostenibilitat de la producció ecològica de soja depèn de la utilització d'innovacions tecnològiques que permetin reduir la competència amb les males herbes sense afectar negativament el sòl i, si és possible, amb un impacte ambiental nul o positiu. En aquest context, el desenvolupament de noves tècniques basades en (i) l'establiment de cobertes vegetals hivernals amb capacitat de competència amb les males herbes, (ii)

el control d'aquestes cobertes mitjançant un corró laminat (de l'anglès *roller-crimper*) i (iii) la sembra directa de soja sense un treball del sòl previ, apareixen com una alternativa de gran interès en la producció ecològica d'aquest cultiu (Halwani i col. 2019).

Recentment, s'ha començat a avaluar l'impacte de l'ús del corró laminat sobre la productivitat i el control de males herbes en l'horticultura catalana ecològica (Navarro-Miró i col. 2019). En producció de soja convencional, la tècnica està essent avaluada dins el marc del projecte EU LegumeGap (www.legumegap.eu) per la UdL- Agrotecnio, en col·laboració amb l'empresa familiar Jolbertal S.L. (Sucs, Lleida), amb resultats prometedors (Simon-Miquel i col. 2021). Desafortunadament, a Catalunya, com a la resta d'Europa, aquestes tècniques no estan gaire desenvolupades pel que fa a la producció de cultius herbacis extensius ecològics, amb petites excepcions de pioners, com el cas de la Droma francesa (Vincent-Caboud i col. 2017). Fora de la Unió Europea, existeixen exemples de la potencial viabilitat d'aquestes tècniques pel cultiu de la soja (Champagne i col. 2020), obtenint-se rendiments similars als obtinguts amb l'ús de binadores/escardadores però amb els beneficis de conservació del sòl associats a la disminució del treball del sòl.

L'objectiu principal del projecte PROSOY consistia en el disseny i l'avaluació de mètodes per a la producció de soja ecològica per maximitzar el rendiment d'una forma sostenible, aconseguint un millor control de la flora arvense i millorant la qualitat del sòl.

02. Metodologia

02.01. Disseny experimental, tractaments avaluats i tecnologia del cultiu

A la tardor de 2020 es va establir un assaig de camp a Juneda (Les Garrigues, Lleida; 41.534968º, 0.837261º; 257 msnm) en una finca en conversió a l'agricultura ecològica regada per aspersió on es van avaluar quatre alternatives de maneig per a la producció de soja ecològica basades en diferents itineraris tècnics:

1) Sòl nu + binadora (x2) (tradicional): sòl nu durant el període de guaret hivernal (mantingut amb treball del sòl intensiu) + sembra de la soja i control de males herbes amb 2 passades de binadora.

- 22/05/21: sembra la soja
- 07/06/21: passada de binadora de dits
- 25/06/21: passada de binadora de dits

2) Sègol enterrat + binadora (x2): coberta de sègol que va ser picada i incorporada al sòl al mes de maig, sembra de la soja i control de males herbes amb 2 passades de binadora.

- 26/11/20: sembra de sègol (var. Helltop)
- 07/05/21: es pica el sègol
- 16/05/21: s'incorpora el sègol
- 22/05/21: sembra la soja
- 7/06/21: passada de binadora de dits
- 25/06/21: passada de binadora de dits

3) Sègol enterrat + binadora + sega de les males herbes: coberta de sègol que va ser picada i incorporada al sòl al mes de maig, sembra de la soja i control de males herbes amb una passada de binadora i posterior passada simulant una segadora entre línies.

- 26/11/20: sembra de sègol (var. Helltop)
- 07/05/21: es pica el sègol
- 16/05/21: s'incorpora el sègol
- 22/05/21: sembra la soja
- 07/06/21: passada de binadora de dits
- 06/07/21: passada de desbrossadora

4) Coberta de sègol + corró laminat: coberta de sègol que va ser controlada amb un corró laminat i sembra directa de la soja a damunt de la coberta (Figura 1).

- 26/11/20: sembra de sègol (var. Helltop)
- 10/05/21: passada de corró laminat
- 22/05/21: sembra directa de la soja amb sembradora Gaspardo

L'assaig es basava en un disseny de blocs completament aleatoritzats amb 3 repeticions. Cada parcel·la elemental tenia una grandària mínima de 9 m d'amplada i 48 m de longitud. Totes les tècniques de cultiu es van dur a terme mitjançant maquinària comercial, per a assegurar la representativitat i realisme de l'estudi.

Les característiques del sòl de l'assaig es presenten a la Taula 1. El sòl presentava uns continguts molt elevats de fòsfor i potassi i una presència mitjana de salinitat i sodi, relativament limitants per al cultiu de la soja.

Taula 1. Característiques del sòl (0-30 cm de profunditat) a l'assaig de PROSOY a l'inici de l'experiment.

Característica	Valor
pH (ext. 1:2,5 H ₂ O)	7,9
Carbonats (% s.m.s)	35
Conductivitat elèctrica 25°C (dS/m)	1,5
Matèria orgànica (% s.m.s)	2,2
Nitrogen (Kjeldhal) (% s.m.s)	0,072
Fòsfor (P) (mg/kg s.m.s.)	166
Potassi (K) (mg/kg s.m.s.)	797
Sodi (Na) (mg/kg s.m.s.)	116
Classe Textural (USDA)	Argilosa

El cultiu es va protegir contra gasteròpodes i es van aplicar quelats i aminoàcids amb productes comercials autoritzats en producció ecològica. El 5 d'octubre de 2021, a maduresa fisiològica, es va dur a terme una presa de mostres de soja per a estimar el rendiment en gra.

02.02. Mesures

A continuació es resumeixen algunes de les principals mesures dutes a terme a l'assaig:

Durant el desenvolupament de la coberta de sègol es van prendre successives mostres de biomassa aèria en 3 observacions per cada parcel·la elemental. De cada mostra se'n va determinar el contingut en nitrogen mitjançant un mètode de combustió en sec. Alhora, just abans de la sembra de soja, es va quantificar el contingut de nitrogen nítric al sòl (0-60 cm de profunditat).

Es va mesurar l'establiment de la soja quantificant les plantes emergides i viables en una distància coneguda. Alhora, es va mesurar la biomassa de soja a l'estadi R6 (totes les tavelles plenes) i la producció de gra a partir de mostres representatives.

Pel que fa a les males herbes, es va mesurar la densitat d'herbes dins i entre les files de soja, el dia 7 de juny, després de la primera passada de binadora en els tractaments 1, 2 i 3, en tres quadrats de 0,25 m² a cada parcel·la. El mateix dia, i també al juliol, es va estimar el percentatge de cobertura d'herbes. Finalment, al juliol es va mesurar la biomassa d'herbes per espècies de la mateixa manera que la densitat de males herbes.



Figura 1. Sembrada directa de soja sobre coberta de sègol controlada amb corró laminat (superior) i desenvolupament inicial del cultiu sobre la coberta de sègol (inferior). (Fotos: Daniel Plaza Bonilla).



Figura 2. Binadora de dits K.U.L.T Habicht utilitzada per controlar les herbes (Foto: Bàrbara Baraibar).

03. Resultats

03.01. Coberta de sègol: biomassa i captura de nitrogen del sòl

L'acumulació de biomassa aèria de sègol utilitzat com a coberta vegetal i la seva absorció de nitrogen en els tractaments 2, 3 i 4 fou molt important, assolint valors propers als 12.000 kg de matèria seca/ha i els 275 kg N/ha, respectivament, just abans del seu control previ a la sembra de la soja (Figures 3 i 4). Aquest fet indica la molt elevada disponibilitat de nitrogen al sòl de l'assaig previ a la sembra de la coberta.

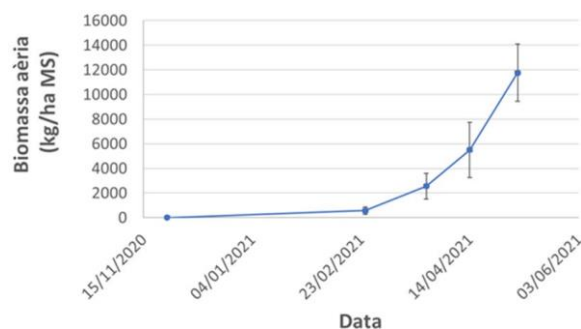


Figura 3. Dinàmica de l'acumulació de biomassa aèria de sègol a l'assaig de PROSOY. Les barres indiquen la desviació estàndard.

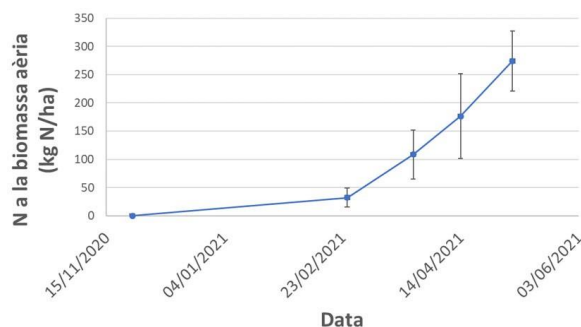


Figura 4. Dinàmica de l'acumulació de nitrogen a la biomassa aèria de sègol a l'assaig de PROSOY. Les barres indiquen la desviació estàndard.

El tractament 1, el maneig tradicional amb binadora i sense coberta hivernal presentava un contingut de nitrogen nítric de més de 500 kg N/ha en els primers 60 cm de sòl. En canvi, els tractaments alternatius avaluats (2, 3 i 4) presentaven continguts de nitrogen nítric significativament inferiors (120 - 220 kg N/ha en els primers 60 cm de sòl). És de vital importància esmentar que els elevats valors de nitrogen disponible en forma nítrica haurien compromès la competitivitat de la soja enfront a males herbes d'hàbit nitròfil com els blets (*Amaranthus retroflexus* i *Chenopodium album*), molt més competitives que les lleguminoses en ambients amb elevada disponibilitat de nitrogen.

03.02. Densitat, cobertura i biomassa d'herbes

La densitat d'herbes a principis de juny (després de la passada de binadora als tractaments 1, 2 i 3) va ser similar en tots els tractaments i amb una mitjana de 15 i 22 plantes/m² dins la línia i entre línies, respectivament. Tanmateix, mentre que les herbes als tractaments 1, 2 i 3 eren principalment blets (*Amaranthus retroflexus* i *Chenopodium album*) i gramínies com la cua de rata (*Setaria adhaerens*) i el cerrell (*Echinochloa crus-galli*), en el tractament amb la coberta controlada amb corró laminat només es van observar plantes de sègol provinents de fillols del sègol ajagut (Figura 1). La cobertura d'herbes als diferents tractaments tampoc va ser diferent en aquesta data (mitjana dels tractaments: 7%). Al juliol, la cobertura de males herbes al tractament del corró laminat (4) va ser significativament més baixa (15%) que al tractament amb sègol enterrat i passada de binadora (tractament 2: 73%). Els altres dos tractaments van resultar mitjans (40 i 46% pels tractaments 1 i 3, respectivament). Finalment, la biomassa de males herbes, mesurada al mes de juliol, no va diferir entre tractaments i va ser molt alta (mitjana de 4200 kg/ha). Tot i això, es va observar una tendència a una menor biomassa en el tractament 4 basat en l'ús del corró laminat (2700 kg/ha) comparat amb el tractament sense sègol i control amb binadora (tractament 1: 5900 kg/ha) mentre que els altres dos tractaments van presentar valors intermedis (3590 i 4620 kg/ha, respectivament, Figura 5). L'escàs creixement del cultiu (veure següent secció) degut a les limitacions imposades pel sòl de l'assaig va propiciar la germinació d'herbes i el seu creixement durant tota la campanya. Aquesta elevada densitat d'herbes a l'inici de la campanya no va poder ser controlada amb la binadora. A més, l'extremadament elevat contingut de nitrogen nítric del sòl al tractament 1 hauria afavorit el gran creixement de blets i gramínies observat. D'altra banda, l'ús del corró laminat (tractament 4) va controlar eficaçment els blets (*Amaranthus retroflexus*). Tot i això, herbes com la corretjola (*Convolvulus arvensis*), que repton buscant la llum, o blets blancs (*Chenopodium album*), van acabar trobant zones on la coberta estava més oberta i van créixer.

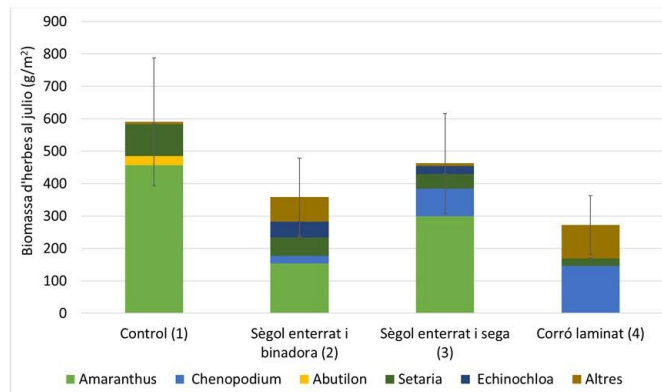


Figura 5. Biomassa (g/m²) d'herbes per espècie a finals del mes de juliol segons els tractaments (nombres entre parèntesi). Les barres corresponen a l'error estàndard de cada tractament.

03.03. Productivitat de la soja

Els diferents tractaments van mostrar un valor d'establiment del cultiu (% de plantes viables respecte les llavors sembrades) mitjà. El tractament 1 i el 4 van presentar l'establiment del cultiu més elevat (al voltant del 70%), mentre que els tractaments amb sègol enterrat (2 i 3) van mostrar un establiment del cultiu menor (al voltant del 50% de les llavors sembrades). La tasca de la binadora en els tractaments de sègol enterrat (2 i 3) va estar condicionada per la presència de restes de coberta a la superfície del sòl, afectant negativament algunes de les plàntules de soja. Tal i com es pot observar a la Figura 6, durant els primers estadis del cultiu es van començar a observar símptomes de clorosi que van ser relacionats amb la presència de sodi al sòl. D'altra banda, es pot observar com dies després d'una primera passada de binadora (Fig. 6 a-c) el control de les males herbes va ser qualitativament menor que el dut a terme per la coberta de sègol controlada amb corró laminat (Fig. 6d).

Sembra de soja sobre coberta vegetal

Aquesta estratègia està basada en la utilització d'un cultiu cobert durant l'hivern com el sègol, que presenta una bona rusticitat i competitivitat contra les males herbes i es fàcil d'establir. Posteriorment la coberta de sègol es controla mitjançant un corró laminat a l'estadi d'antesi d'aquest, que aixafa i trenca les tiges de la coberta. Posteriorment, el cultiu de la soja es sembla directament sobre la coberta vegetal mitjançant una sembradora equipada amb discos obridors específics i, de vegades, amb pes addicional per a afavorir una bona localització de la llavor al solc a través d'una gruixuda capa de coberta vegetal fresca.



Figura 6. Estat dels tractaments avaluats a l'assaig de PROSOY el 22 de juny de 2021, durant els primers estadi vegetatius del cultiu de la soja (a, Sòl nu + binadora - tradicional; b, sègol enterrat + binadora; c, sègol enterrat + sega; d, corró laminat) (Foto: Daniel Plaza Bonilla).

Les limitacions tant edàfiques com causades per les males herbes van afectar severament el creixement del cultiu, que en l'estadi reproductiu R6 (corresponent a l'emplenament total dels grans de les tavelles) presentava una biomassa minsa en tots els tractaments avaluats, amb els majors valors (6000 kg/ha) en el tractament control (sòl nu + binadora) i en el corró laminat (4250 kg/ha) i els més baixos en el tractament de sègol enterrat i sègol enterrat + sega de males herbes (< 3000 kg/ha).

Finalment, la producció de gra al 14% d'humitat va assolir els 2691 kg/ha en el tractament tradicional (1) i els 2062 kg/ha amb la utilització del corró laminat (4), sense observar-se diferències estadístiques entre ambdós (Figura 7). En canvi, els tractaments amb sègol incorporat al sòl i posterior ús de binadora (2) o segadora (3) van mostrar productivitats estadísticament menors (1285 i 819 kg/ha, respectivament) (Figura 7).

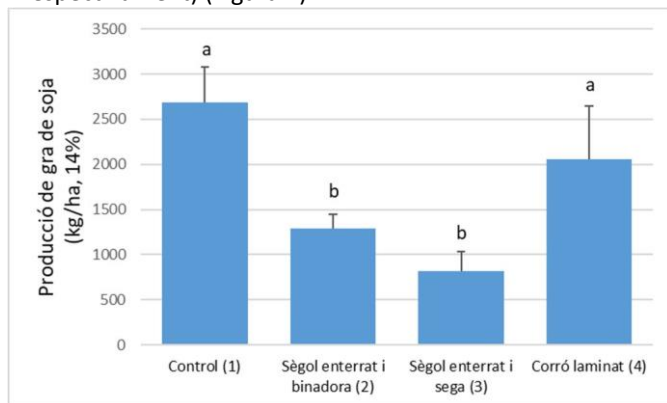


Figura 7. Producció de gra de soja (kg/ha al 14% d'humitat) segons els tractaments avaluats (nombres entre parèntesi). Les barres corresponen a l'error estàndard de cada tractament. Lletres diferents indiquen diferències estadísticament significatives amb $P < 0.05$.

04. Conclusions

El cultiu de soja en producció ecològica en les condicions edafoclimàtiques estudiades presenta una sèrie de limitacions significatives, de les quals el control de les males herbes n'és una de les principals. La soja presenta un creixement menor que altres cultius d'estiu tradicionals com el panís durant els primers estadi de desenvolupament, fet que la fa menys competitiva amb les males herbes.

Els resultats de PROSOY mostren que un element primordial per assegurar un bon creixement del cultiu de la soja en producció ecològica són les característiques del sòl on cultivar-la. Així, s'ha observat com la presència elevada de nitrogen disponible en forma de nitrats i de salinitat deguda a les aportacions continuades de dejeccions orgàniques en forma de purí, limiten la competitivitat de la soja enfront a males herbes nitròfiles com serien els blets, habituals als regadius de la plana de Lleida. En aquest escenari, la utilització de sègol com coberta hivernal prèvia a la sembra de la soja va portar a captures de nitrogen mineral equivalents a 275 kg N/ha degut a la seva elevada producció de biomassa aèria (al voltant de 12000 kg M.S./ha). La producció de gra va ser superior al maneig tradicional i al utilitzar el corró laminat (2691 i 2062 kg/ha, respectivament), sense diferències estadístiques entre ambdós, en comparació amb els tractaments amb sègol incorporat al sòl i posterior ús de binadora o segadora (1285 i 819 kg/ha, respectivament).

Els resultats d'un any d'experimentació indiquen que el control d'herbes amb una coberta controlada amb corró laminat té la potencialitat de reduir la biomassa d'arvenses i assolir uns nivells de productivitat similars al maneig tradicional basat en el treball intensiu del sòl durant l'hivern i posterior control de les males herbes però encara cal optimitzar-ne el seu ús i assegurar un cultiu el més competitiu possible.

05. Agraïments

Voldríem agrair el recolzament i la col·laboració dels Srs. Eduard Cau, Jordi Usall, Baltasar Mir, Rogeli Moncasi, Josep Maria Perera i Rodrigo Masip. Daniel Plaza-Bonilla és investigador Ramón y Cajal (RYC-2018-024536-I) co-finançat per l'AEI-MICIU i el Fons Social Europeu. Bàrbara Baraibar és investigadora del programa post-doctoral Beatriu de Pinós de la secretaria d'universitats i recerca, departament d'empresa i coneixement de la Generalitat de Catalunya (2019 BP 00142).

06. Referències

Champagne, R., i col. 2020. Renewable agriculture and food systems. DOI:<https://doi.org/10.1017/S1742170519000437>

Comissió Europea, 2018. Brusel·les, 22-11-2018. Com (2018) 757 final.

FAOstat. 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/>.

Halwani, M., i col. 2019. Agronomy 9, 883

López Querol, A. 2018a. Jornada tècnica sobre el conreu de soja ecològica. Tremp. 26 d'abril.

Navarro-Miró, D., i col. 2019. Agronomy for Sustainable Development 39, 55.

Sans, F.X., i col. 2011. Weed Research 51, 413-421.

Santiveri, F., i col. 2020. Vida Rural 477, 12-18.

Simon-Miquel, G., i col. 2021. Tierras 295, 106-108.

Vincent-Caboud, L., i col. 2017. Edition ISARA-Lyon/ITAB

**Daniel Plaza-Bonilla, Bàrbara Baraibar, Genís
Simon-Miquel**

**Universitat de Lleida – AGROTECNIO CERCA
Center**

973702856 – daniel.plaza@udl.cat

*El projecte ha estat finançat pel Departament
d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural de
la Generalitat de Catalunya a través de l'ajut per
incentivar la recerca aplicada en matèria de
producció agroalimentària ecològica*