

JORNADA ENERGIES RENOVABLES I MÓN RURAL

20 i 21 d'agost del 2026. Universitat Catalana d'Estiu. Prada de Conflent

Experiència d'agrovoltaisme en horta: Primers resultats al Baix Llobregat



Gil Gorchs Altarriba

Professor jubilat, curs 2025-26.

Escola d'Enginyeria Agroalimentària i de Biosistemes de Barcelona (EEABB)

Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia (DEAB)

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

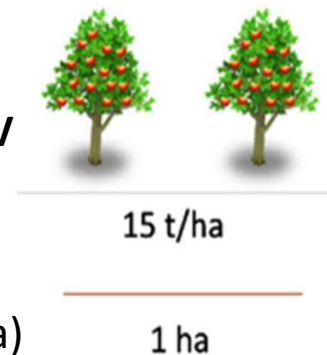


Funded by
the European Union

Premisses

- Inevitable fotovoltaica en superfície agrícola
- Cal ús dual terra, combinar producció agrícola (agri/agro) + fotovoltaica (PV): **Agrovoltaica - APV**
- Superfície necessària per **PV en sòl agrícola?**
- Món: $\approx 0,5\%$ SAU (25 Mha)
- Cat: $\approx 2,2\%$ (25.000 ha SAU, de 31.000 ha a terra)
- Cal Identificar àrees i cultius amb LER alt ($\approx > 1,5?$), si es fa amb APV
- Evitar falses APV, no acceptable socialment

Ús separat 2 ha



Ús combinat 2 ha



$$\text{Land Equivalent Ratio (LER)} = 14/15 + 0,9/1 = 1,83$$

83% increment eficiència

Ambició, objectiu i disseny

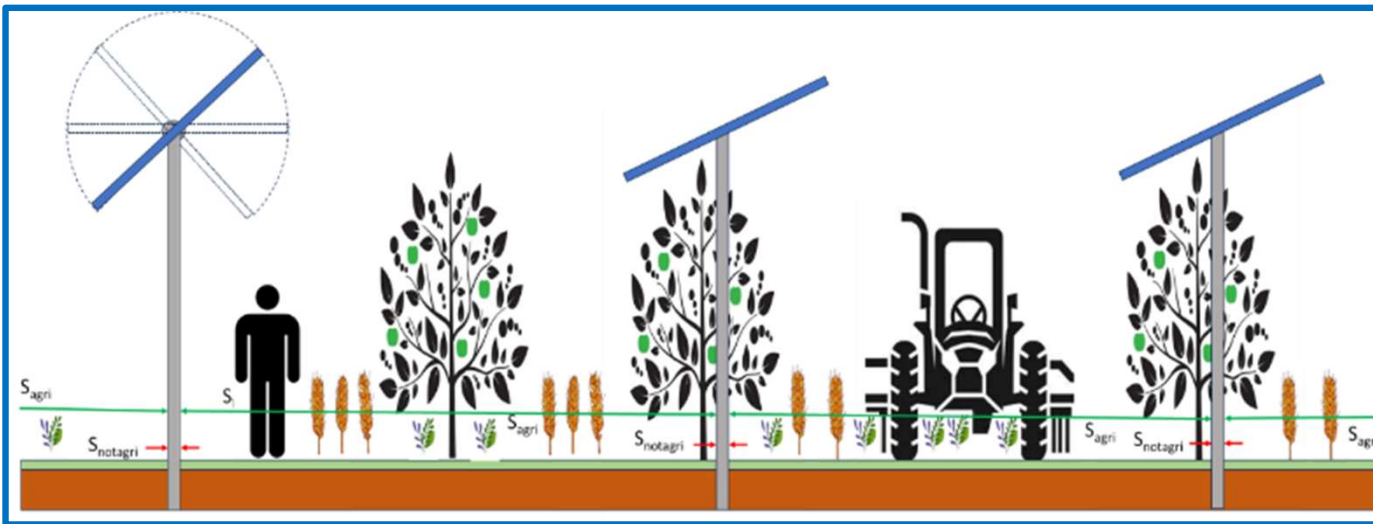
Ambició:

Posar bases, des del disseny a la implementació, per definir sistemes APV (Agrovoltaic) **que optimitzin la relació mútuament beneficiosa entre agricultura i fotovoltaica**

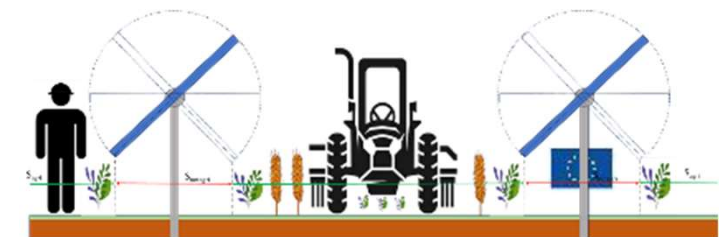
Objectiu principal:

Assolir coneixement necessari per crear i gestionar sistemes APV innovadors, agroambientalment eficients i socialment acceptables

Es planteja amb sistemes APV mòbils i amb cultiu a sota



Opcions descartades: sistemes fixes i sense cultiu a sota panells PV





El concepte «symbiosis»

Es tracta d'aprofitar els beneficis mutus, dels:

🌿 PANELLS → PLANTES

- **Protecció termal i abiòtica:** a l'estiu, baixa temperatura fulla 2–10°C, prevenint aturada metabòlica i fotoinhibició. A l'hivern, protegeix de gelades...
- **Eficiència ús aigua:** l'"efecte oasi" redueix l'evaporació, cosa que permet estalviar en el reg (>15% a 50%*).
- **Redistribució llum:** la llum difusa impulsa la fotosíntesi del dosser inferior de les fulles.

⚡ PLANTES → PANELLS

- **Refredament natural:** transpiració cultiu manté panells PV a temperatures òptimes.
- **Augment eficiència i durada panells:** panells més freds produeixen més electricitat, augmenta la potència de sortida i durada instal·lació.
- **Mitigació deposició pols:** la vegetació atrapa partícules.
- **Gestió natural sòl:** cultiu o ramaderia controla la vegetació de sota la instal·lació de manera neta i barata.

* En àrees mediterrànies càlides. Escarano et al. 2026



Participants i ubicació 4 pilots



Funded by
the European Union

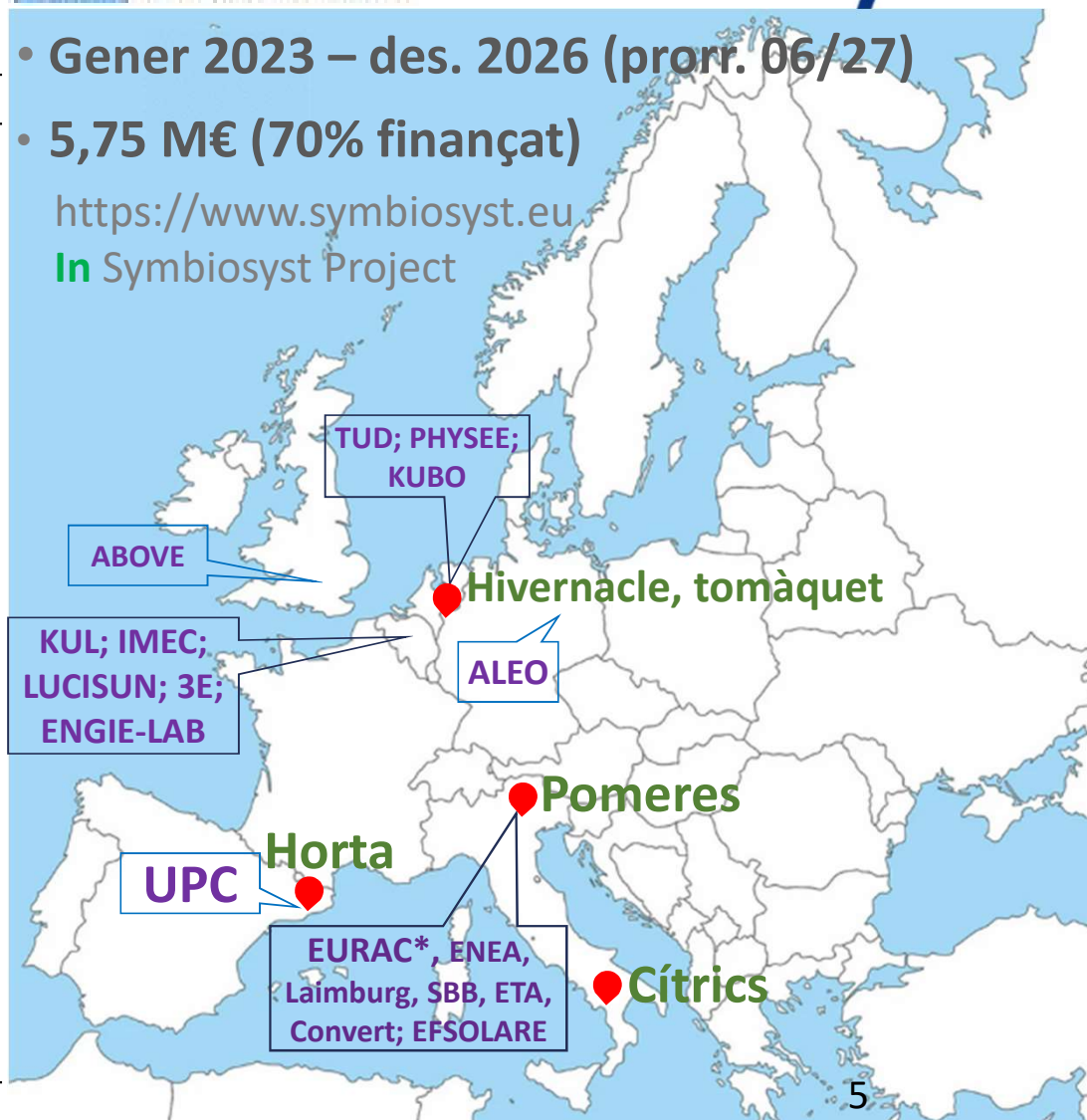


• Gener 2023 – des. 2026 (prorr. 06/27)

• 5,75 M€ (70% finançat)

<https://www.symbiosyst.eu>

In Symbiosyst Project



Participant	País
1 EURAC Accademia Europea di Bolzano¹, Coordinador	IT
2 IMEC Interuniversitair Micro-electronica Centrum ¹	BE
3 TUD Technische Universiteit Delft ¹	NL
4 ENEA Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile ¹	IT
5 ABOVE Above Surveying Ltd ²	UK
6 ALEO Aleo Solar GmbH ²	DE
7/8 KUL / 3E Katholieke Universiteit Leuven ¹ / 3E ²	BE
9 LAIMBURG Versuchszentrum Laimburg ¹	IT
10 SBB Südtiroler Bauernbund	IT
11 ETA ETA- Energia, Trasporti, Agricoltura SRL ²	IT
12 UPC Universitat Politècnica de Catalunya¹	ES
13 PHYSEE PHYSEE Products B.V. ²	NL
14 KUBO Kubo Innovations b.v. ²	NL
15 CONVERT CONVERT Italia S.p.a. ²	IT
16 LUCISUN LUCISUN ²	BE
17 ENGIE-L. Belgisch Laboratorium van elektriciteitsindustrie ²	BE
18 EFSOLARE EF Solare Italia ²	IT

Tipus organisme: 1 RTO; 2 Indústria



Grups UPC que participen al SYMBIOSYST



GRIC: LCA – sensòrica. **M. Macarulla (IP UPC)**

CDEI: robot – sensòrica. David Caballero

IDEAI: Digital twins. Cecilio Angulo

CER+AGROTECH: Impacte social – comunicació.

Montse Solsona

DEAB: Agronomia – sensòrica

- Ramon Salcedo
- Irma Roig (IP DEAB)
- Anna Gras
- Núria Carazo*
- Gil Gorchs*



* Jubilats curs 2025/26



Fases del projecte

FASE 01

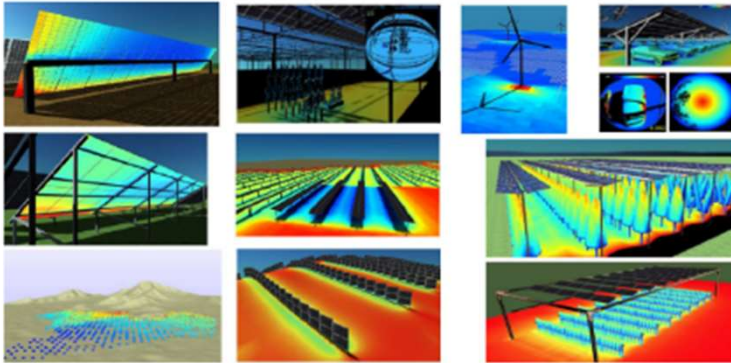


Figure 1: Previous PV or Agri-PV simulations carried out with the LuSim modelling framework.
Dissemination Level [PUBUC]

Modelització digital, circularitat, LCA...

Optimitzar tant el disseny com el rendiment (equilibri simbiòtic entre rendiment del cultiu i energètic).

FASE 02



Implementació tècnica

Construint i avaluar sistemes agrovoltaics (resultats energètics, agronòmics, ambientals i econòmics).

FASE 03



Justícia social i política

Analitzar l'acceptació social APV, l'equitat en l'ús del sòl i aportar eines per una transició energètica justa i centrada en l'agricultor.

El nostre pilot: Agrivoltopolis

Escola d'Enginyeria Agroalimentària i de Biosistemes de Barcelona (EEABB)



Campus Baix Llobregat,
Castelldefels



5 Seguidors = 75 par

Anys 2023-24: estudi,
modelització, definició i
construcció pilots

Anys 2025-26: obtenció i
anàlisi dades i “lligar caps”

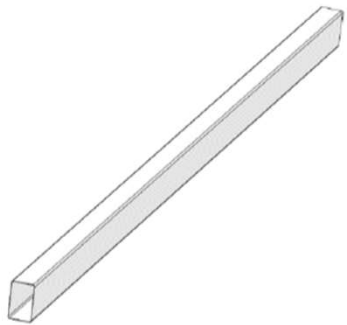


El nostre pilot: Agrivoltopolis

Estructura relativament simple:

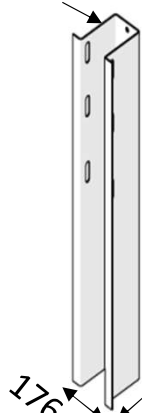
- Pilars perfil omega, clavats a terra
- No s'utilitza formigó

(E) MAIN BEAM

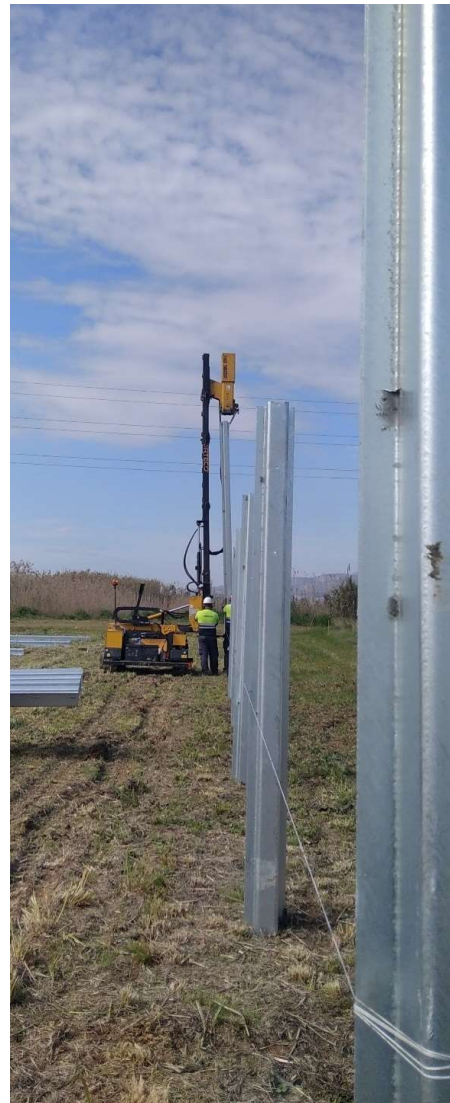


(F) POST(*)

4 mm x40



(G) LINEAR ACTUATOR



El nostre pilot: Agrivoltopolis

Ubicat a UPC Agròpolis, Viladecans

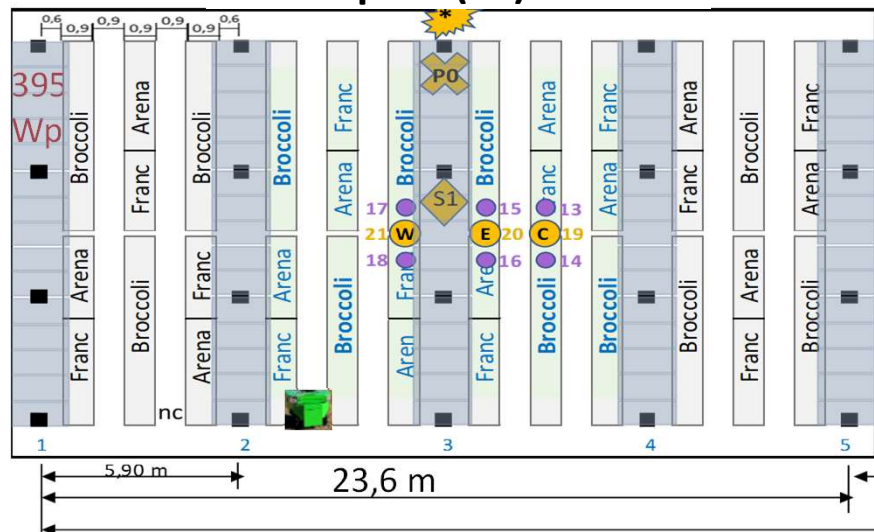




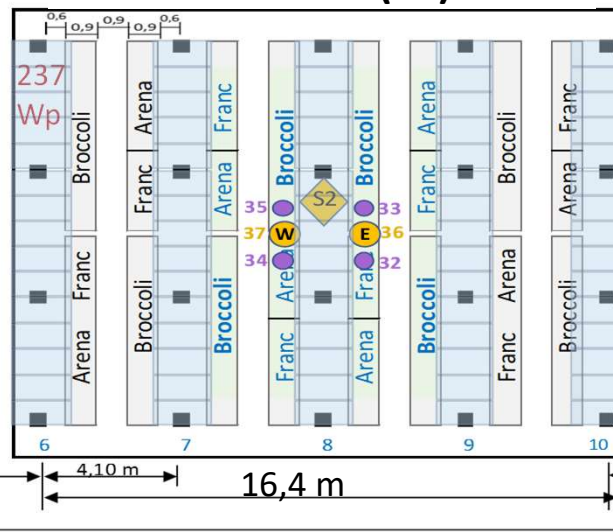
El nostre pilot: tardor 2025 (2n cicle cultiu)



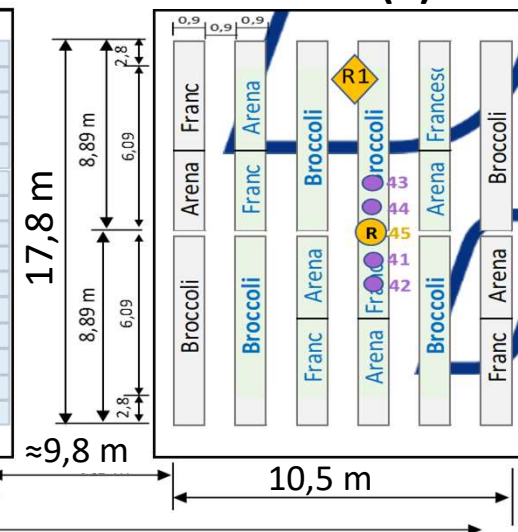
PV Opacs (S1) – 45%



PV Translúcids (S2) – 5%



Control (C)



2 Seccions APV (800 m²) + 1 C (250 m²)

- 5 seguidors – 75 panells PV bifacials/secció
- **48 kWp total** (30 S1+18 S2) – ≈ 90MWh/any

Pèrdua superfície cultiu* Densitat potència

S1: 2,4% – 5,1%

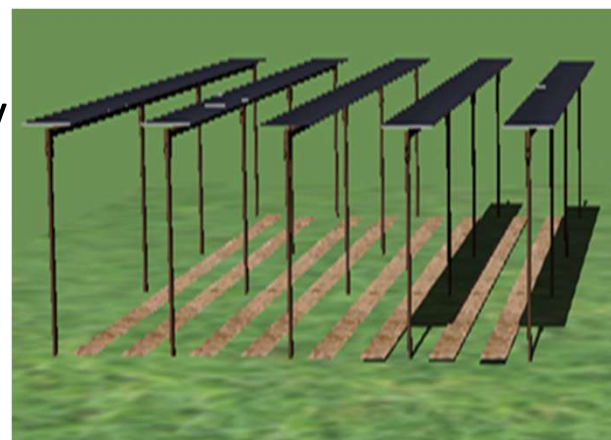
0,07 kWp/m²

S2: 3,4% – 7,3%

0,06 kWp/m²

* Franja pilars, real equips UPC

Secció 2



Cultiu, àrea controlada

Cultiu, borera

Pal àcer

Panell PV

Armari principal sensors

Armari secundari

Sensors

Inversor

Robot + sensors

11





Objectius agronòmics

Objectiu específic del grup DEAB: determinar l'impacte dels panells fotovoltaics convencionals i d'última generació en la producció de cultius hortícoles

Experiments de camp

4 cicles de cultiu en 2 anys:

1. **Estiu 2025.** Enciam, 2 CV.: Arena i Francesca
2. **Tardor 2025.** 2 enciam, 1 bròcoli
3. **Hivern 2026.** 2 enciam, 1 espinac
4. **Estiu 2026.** 2 enciams, 1 tomàquet

* Resultats que es presenten

Principals agroparàmetres mesurats

Cultius:

Durant el cicle de cultiu:

- Creixement i forma
- Índex de vigor, contingut clorofil·la - SPAD

A collita:

- Biomassa total i comercial
- Contingut aigua
- Paràmetres qualitat
 - Sucres, pH
 - Calibre, duresa, color...
 - Aspecte visual i sanitat
- Contingut Ca, N, K

Ambient (microclima):

- Radiació global i albedo (x2)
- ePAR (x6)
- Temperatura (T)
- Humitat relativa (HR)
- Vent i precipitació (x1)

Sòl:

- Temp. (T) i humitat (Hu) (x12)

Robot autònom

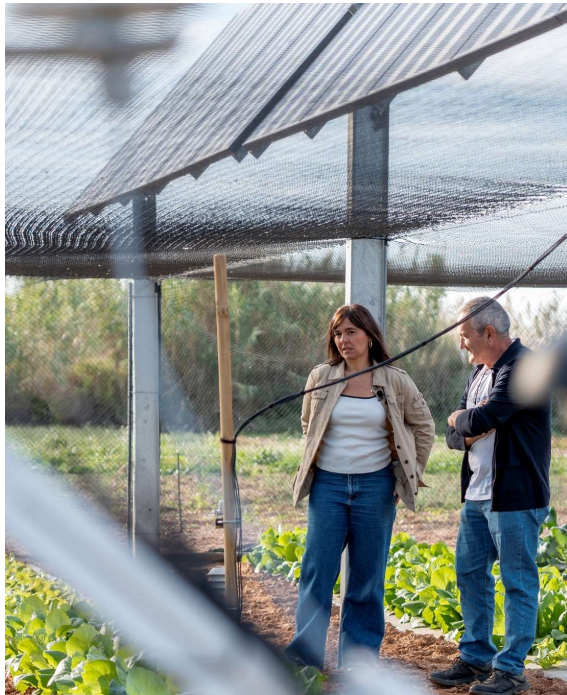
- Càmera RGB i tèrmica (x2)
- Sensor radiomètric (Crop Circle)
- ...

Primers aprenentatges

Treballar en APV presenta una complexitat $\approx$ a fer-ho amb aspersió fixa

L'APV és un nou SC, cal concebre'l integralment:

- Elegir PV-Cultius-Equipament considerant interaccions per optimitzar resultat de cada component i global
- Facilita instal·lar malla antiocells, pedra...



Primers aprenentatges

Millora les condicions de treball al camp: l'ombra baixa estrès tèrmic i fatiga d'operaris...

Nova estètica del paisatge agrícola, és el que més sorprèn i destaquen les persones que ens visiten...

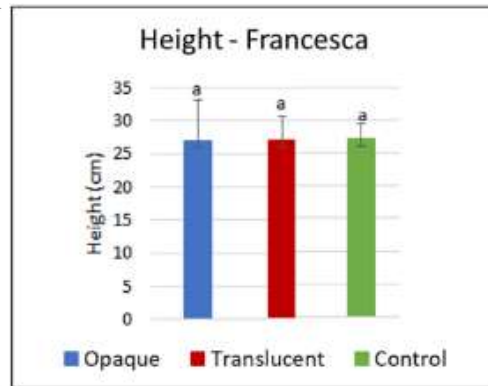
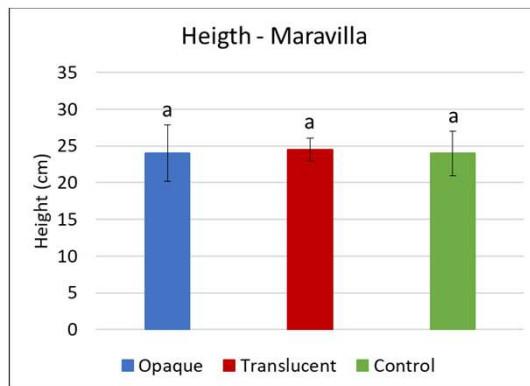


Primers resultats agronòmics

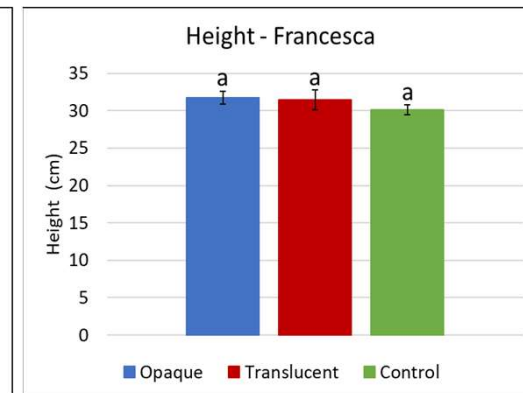
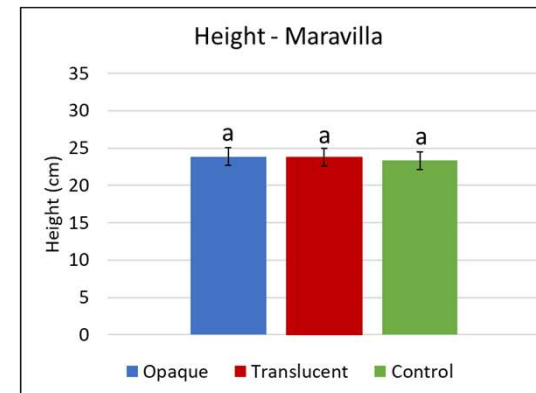
Enciam – Alçada a collita



Cicle 1 – estiu 2025



Cicle 2 – tardor 2025



Les plantes sota l'ombra dels panells PV van mostrar:

1. Bona adaptació morfològica a la menor disponibilitat de llum, mantenint el creixement, el desenvolupament de les fulles i el vigor (NDVI).

Primers resultats agronòmics

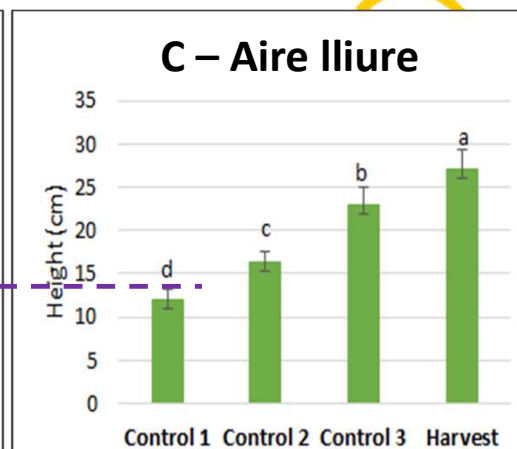
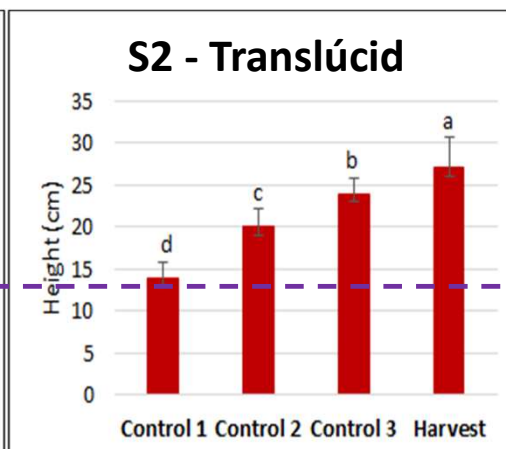
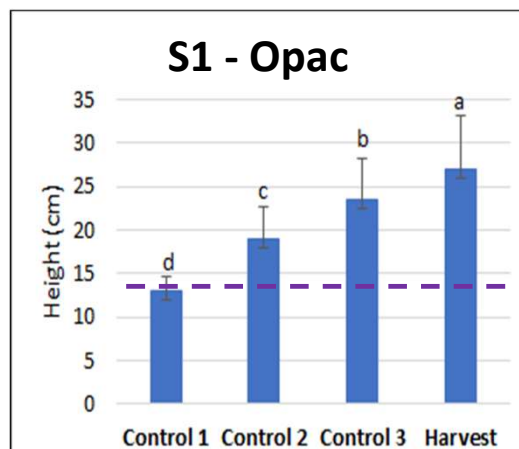
Enciam – Evolució alçada en Francesca



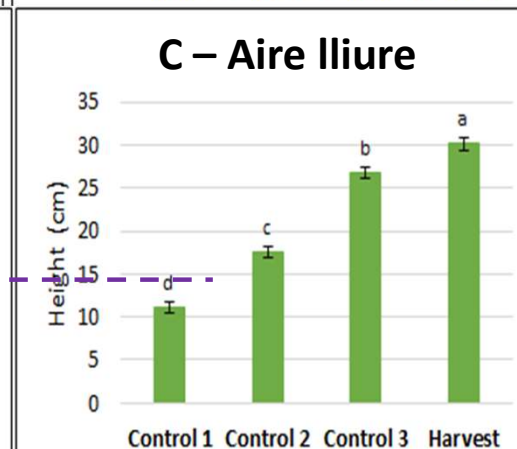
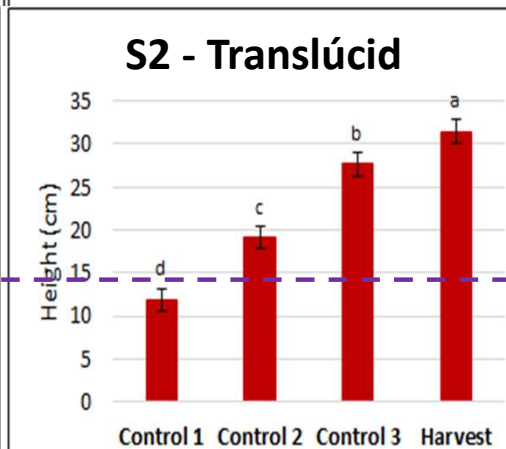
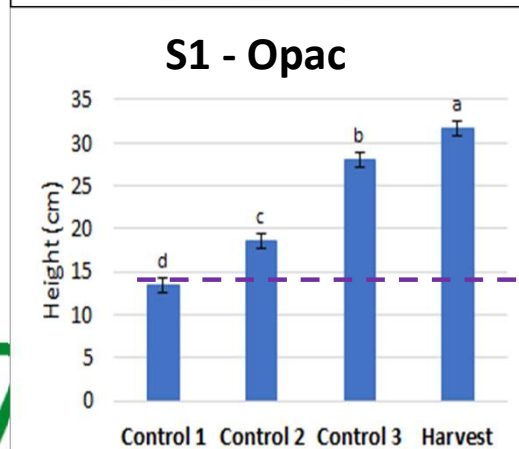
Les plantes en APV:

2. Apunten millor implantació i creixement inicial ...
3. ... que tendeix a igualar-se (o revertir-se?) al final del cicle de cultiu.

Cicle 1 – estiu 2025



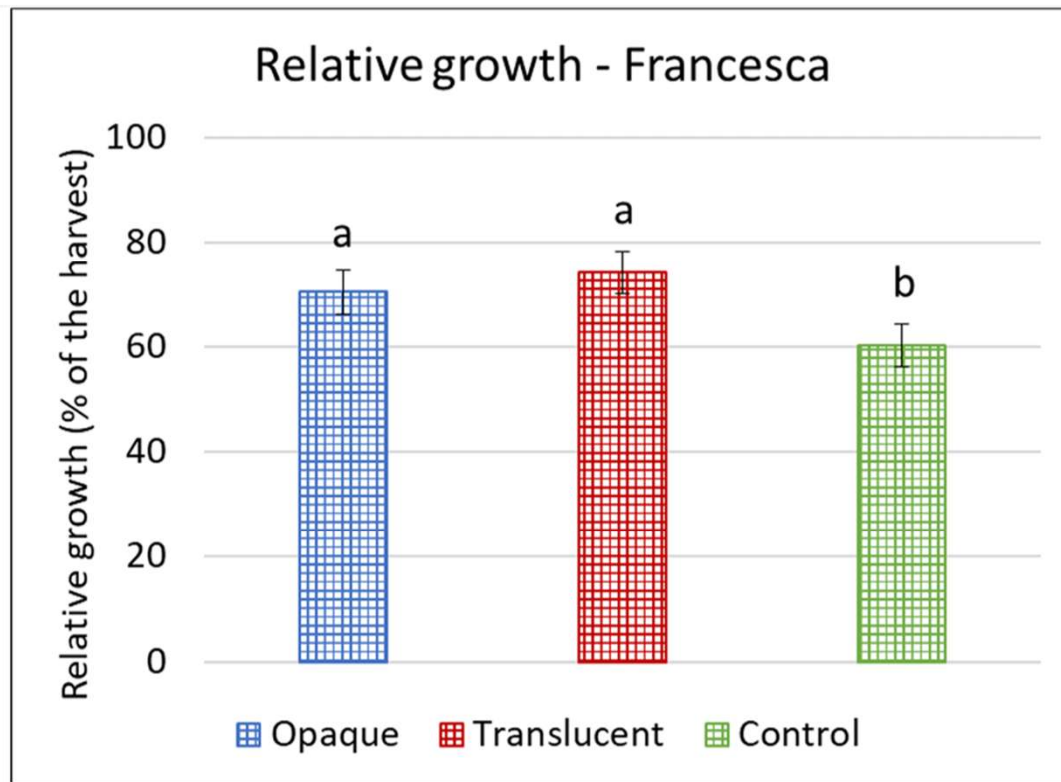
Cicle 2 – tardor 2025



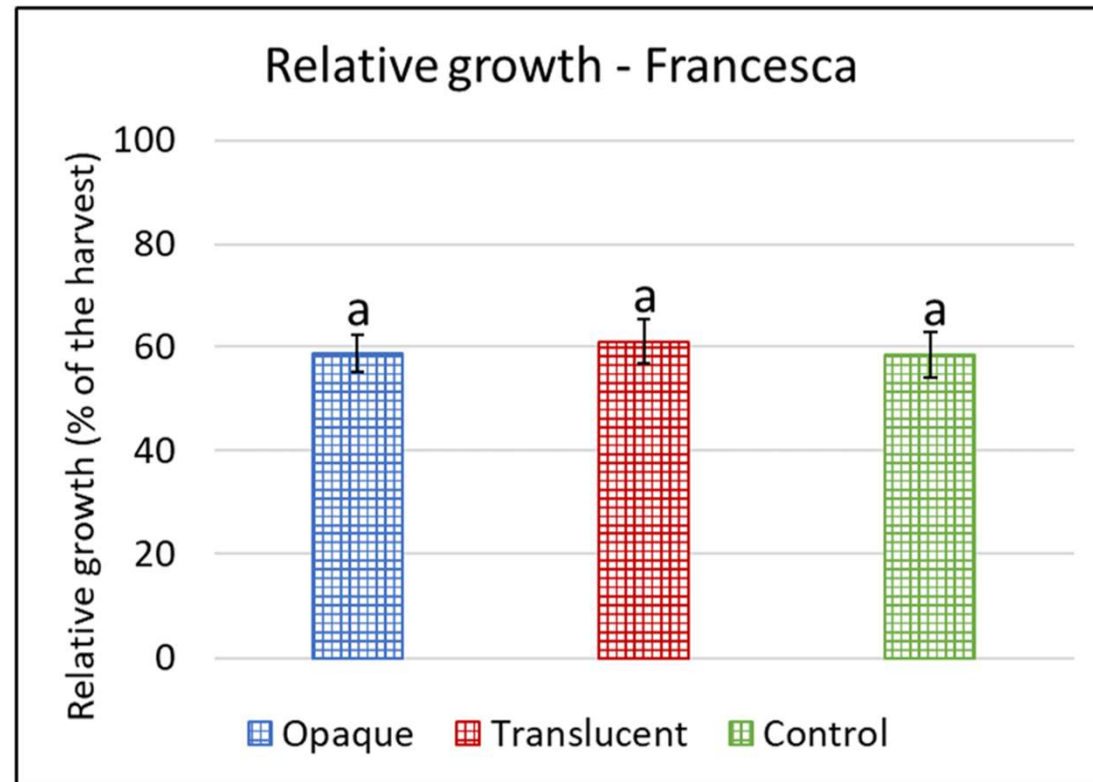
Primers resultats agronòmics

Enciam – Creixement relatiu en alçada a mig cicle

Cicle 1 – estiu 2025



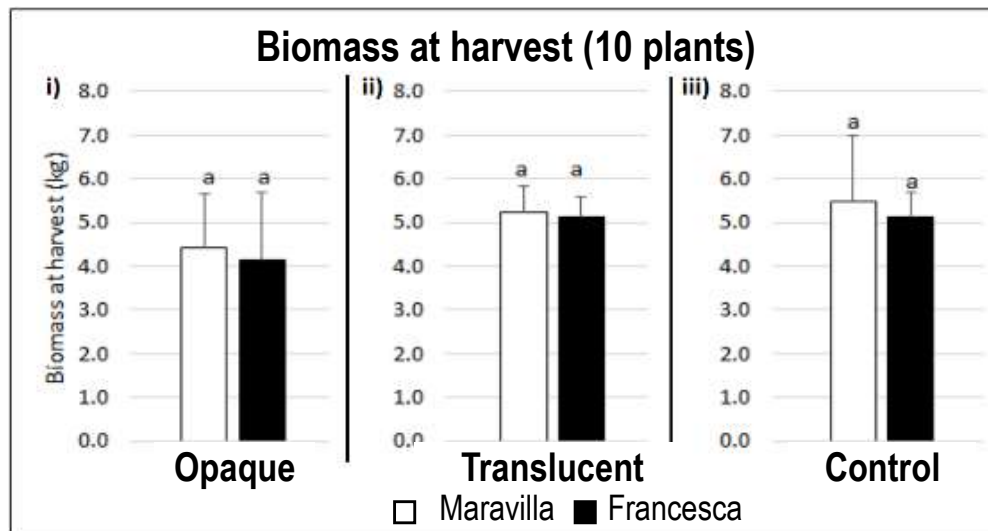
Cicle 2 – tardor 2025



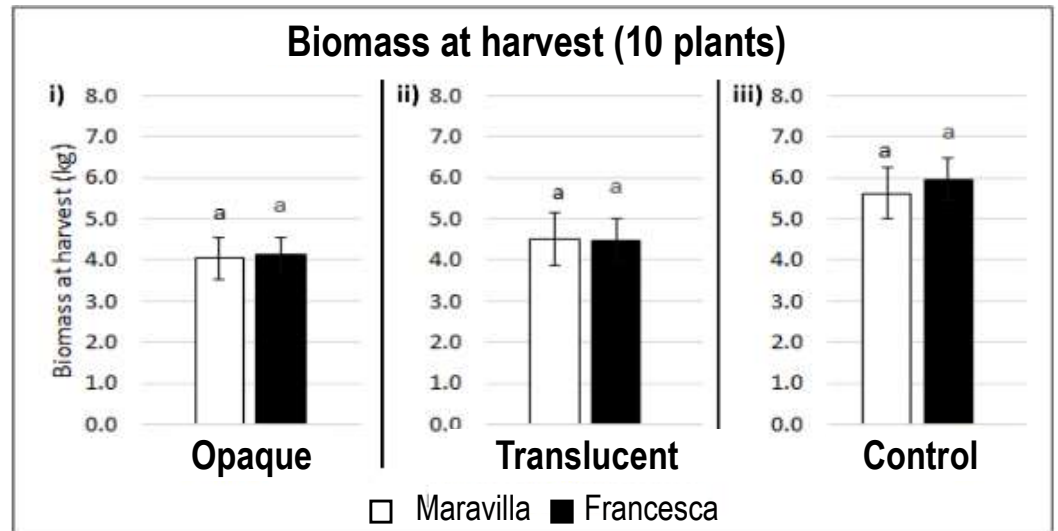
Primers resultats agronòmics

Enciam – Biomassa

Cicle 1 – estiu 2025



Cicle 2 – tardor 2025



Les plantes en APV:

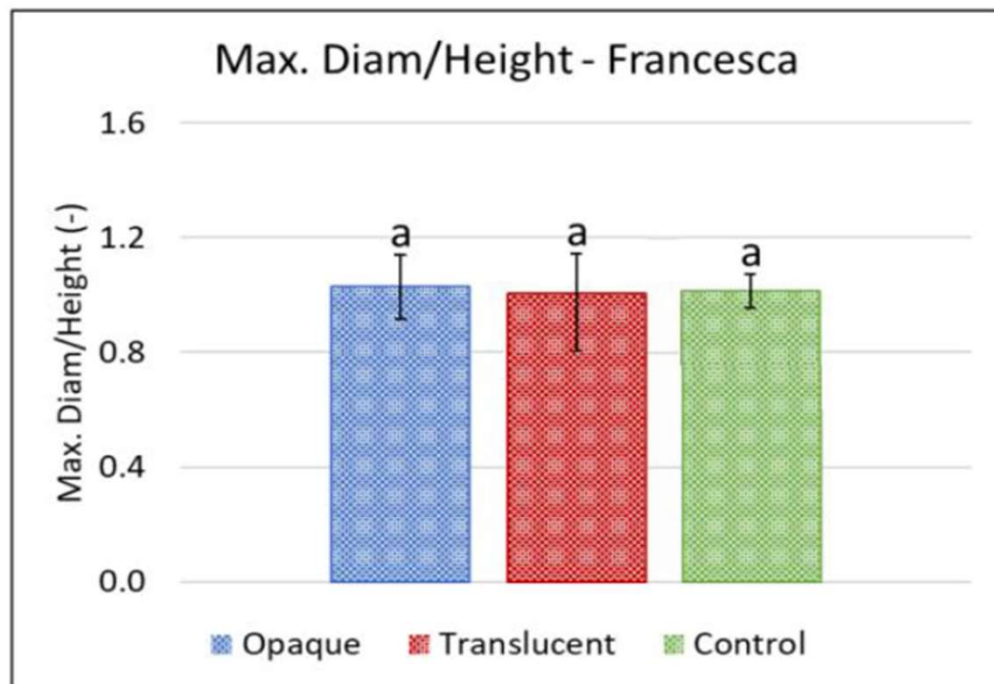
- Mantenen rendiments finals similars a les del control, compensant les diferències en l'entorn lumínic durant tot el cicle de cultiu.

Primers resultats agronòmics

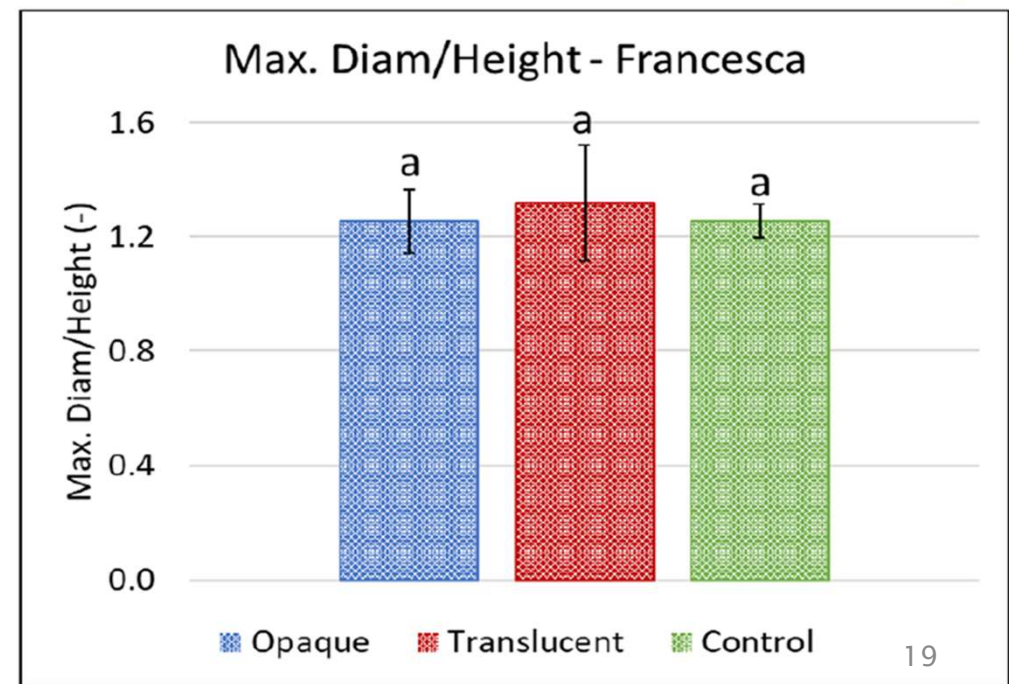
Enciam – Trets morfològics a collita

Rati entre diàmetre màxim i alçada – *cv. Francesca*

Cicle 1 – estiu 2025



Cicle 2 – tardor 2025



Primers resultats agronòmics

Enciam – Trets morfològics a collita

Índex de compacitat (%)* – *cv. Francesca*

Secció	Cicle 1 – Estiu 2025	Cicle 2 – Tardor 2025
Opac	93,1	85,7
Translúcid	93,1	81,1
Control	92,9	82,9

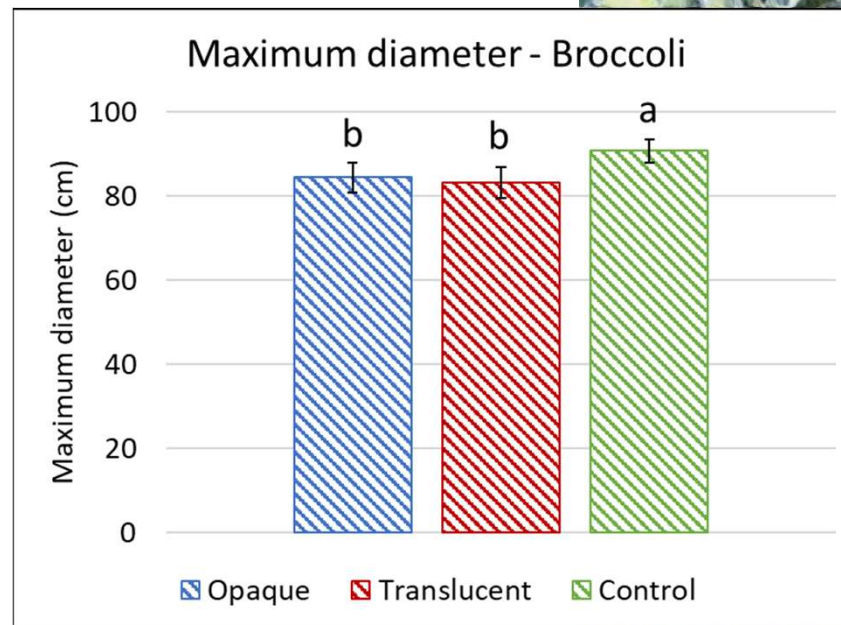
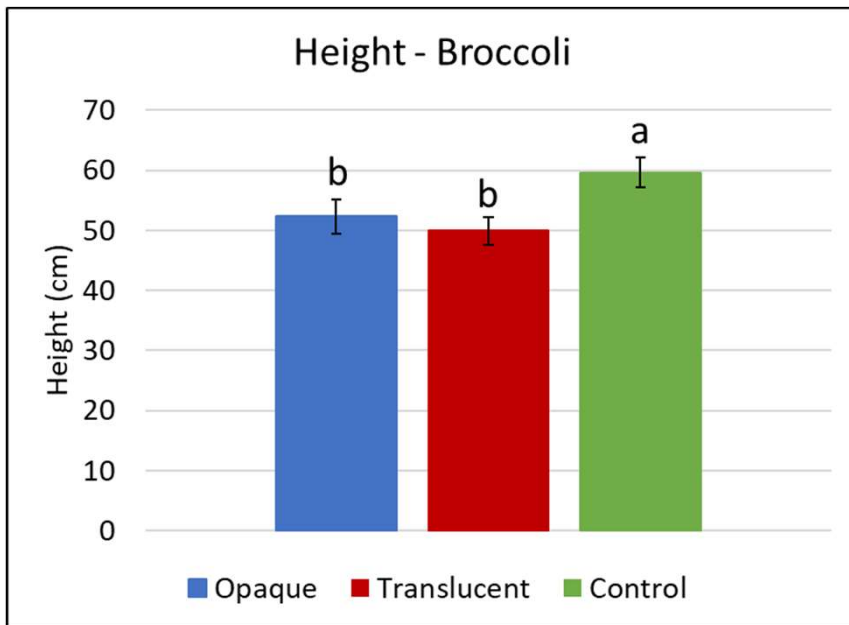
* IC = $\text{Diàmetre mínim} / \text{D. Màxim} \times 100$

Les plantes en APV:

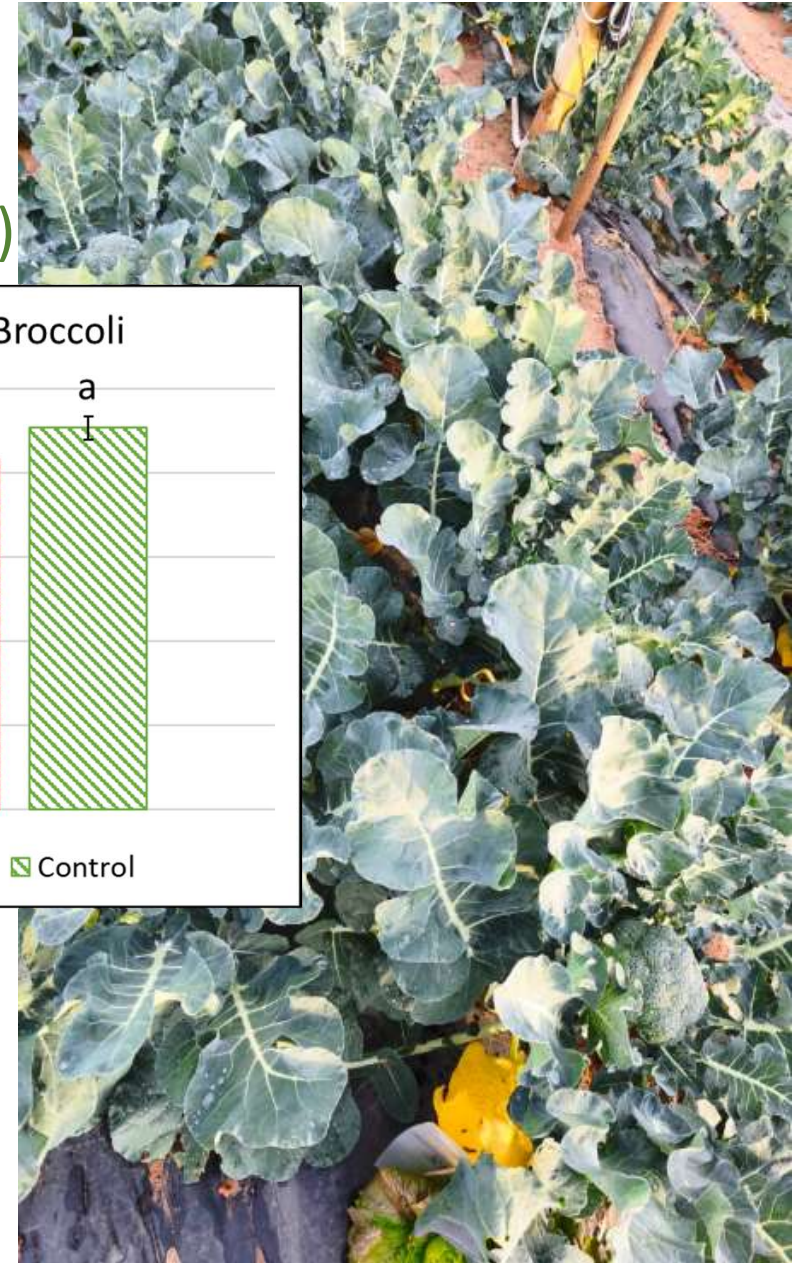
- Van presentar trets morfològics similars a les plantes del control (mides i equilibri estructural), suggerint que la qualitat comercial no es veu afectada.

Primers resultats agronòmics

Bròcoli – Alçada i calibre a collita (tardor 2025)

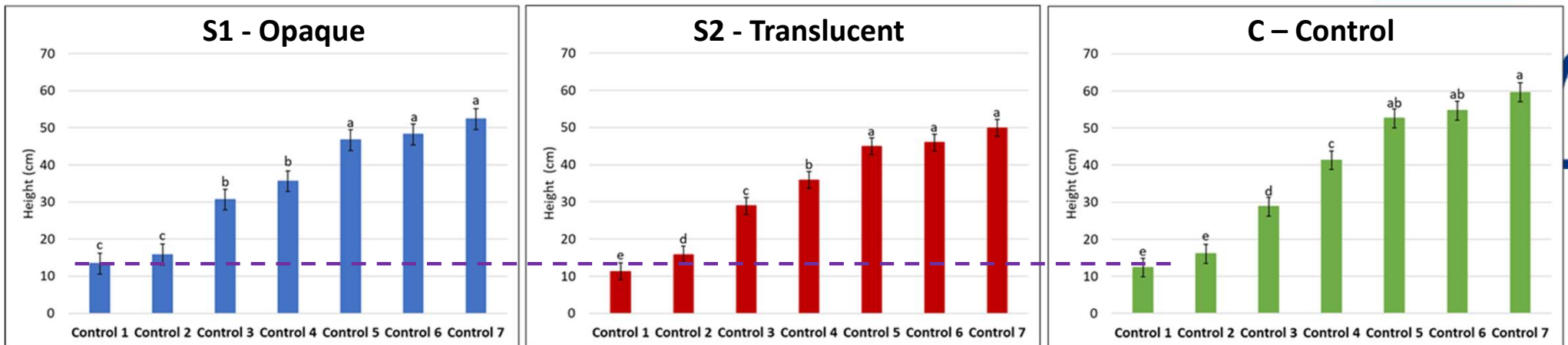


- Les plantes a l'aire lliure van presentar major alçada i Ø màxim
- No s'observen diferències clares entre els tractaments APV opacs i semitransparents.



Primers resultats agronòmics

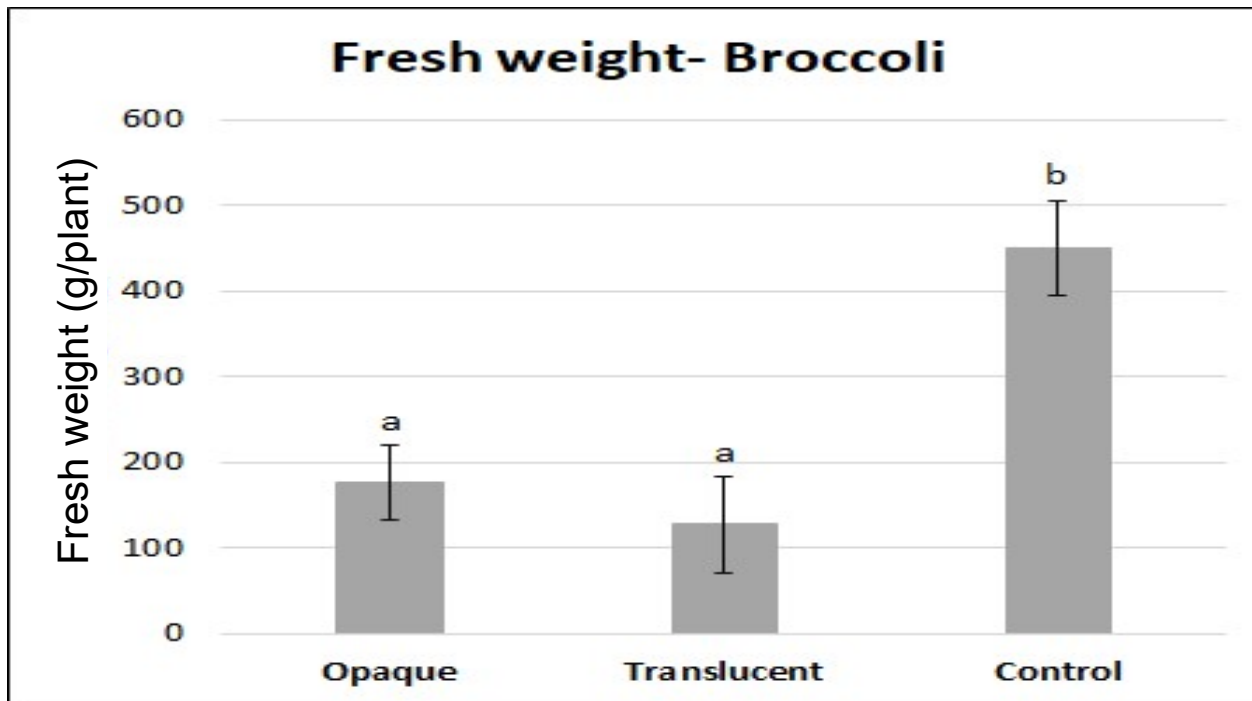
Bròcoli – Evolució alçada (tardor 2025)



Les plantes en APV van presentar una implantació i creixement inicial similar, però un creixement menor a partir de mig cicle de cultiu, respecte a les plantes a l'aire lliure

Primers resultats agronòmics

Bròcoli – Biomassa (tardor 2025)



- **Pes fresc superior a l'aire lliure**, cosa que reflecteix condicions de creixement més favorables en absència d'ombra.
- En conjunt, aquestes dades suggereixen que **l'ombreig dels panells PV va limitar el creixement del bròcoli**: posposar collita?





Treball en curs, fins al final del projecte (06/2027)*



1. Analitzar tots els resultats agronòmics, dels 4 cicles de cultiu realitzats fins avui.
2. Correlacionar les troballes agronòmiques amb les dades ambientals.
3. Integrar el rendiment agronòmic i energètic per calcular LER (Land Equivalent Ratio), els indicadors ambientals (LCA, Life Cycle Assessment), els resultats econòmics, etc.





Reptes de futur

Quins cultius hortícoles, i amb quins cicles de cultiu, es beneficiarien més de la implementació de sistemes APV a àrees amb clima mediterrani temperat?

Quina radiació PAR necessita cada cultiu en cada fase del cicle, per no limitar-ne el seu creixement en APV?

- És la **informació clau, necessària per definir l'algoritme** per optimitzar el sistema APV

Allargar el cicle de cultiu (avançant la plantació o endarrerint la collita) permetria assolir una biomassa en APV similar a l'obtinguda a l'aire lliure?

- Sí, aparentment, en bròcoli a la tardor
- No en enciam, a collita pujava a floració, tan en cicle 1 com en el cicle 2!

Quin estalvi en aigua de reg es pot obtenir amb APV en zones mediterrànies?

Agraiements

Investigadors:

Irma Roig (coordinadora DEAB)
Anna Gras; Ramón Salcedo
Núria Carazo¹ Gil Gorchs¹
Marcel Macarulla; David Caballero

Tècnics de suport:

Miquel Masip; Dani Fenero i Karim
(FMA); Ana C. Ramos, Maria Julià i Sheila Alcalà.

Graduats i estudiants de grau:

Davinia Oyagüe; Salvador Soler; Sara Bustos
Alex Andreu; Ariadna Sánchez; Ángel s. Campos;
Mariona Oliveras.

**Gràcies també a resta de socis UPC i de
SYMBIOSYST i a EU Funding Agency**

1 Professors jubilats curs 2025/26





Moltes gràcies!

