



Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís



Universitat de Lleida



PATT_ Pla Anual 2026 de Transparencia Tecnològica

Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos

Leire Sandonís
Grup de recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió – GRAP
Universitat de Lleida / Agrotecnio-CERCA Center



Universitat de Lleida
Grup de Recerca AgròTICa i Agricultura de Precisió (GRAP)



EXCELLENCE IN FOOD AND AGRICULTURE RESEARCH



Centres de Recerca de Catalunya

PAgPROTECT (PID2021-1266480B-I00)



1

Contexto de Transformación del sector frutícola en España

Introducción y objetivos

Sistemas tradicionales

Baja densidad, secoano




< 400 árboles ha⁻¹



Universitat de Lleida





Centres de Recerca de Catalunya

Jornada PATT PAgPROTECT

2

2



Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Transformación del sector frutícola en España

Introducción y objetivos

Sistemas tradicionales

Aumento de densidad de plantación (~1970s)

Baja densidad, seco



< 400 árboles ha⁻¹

Avances en tecnología y maquinaria



Jornada PATT PAgPROTECT

3

3

Transformación del sector frutícola en España

Introducción y objetivos

Sistemas tradicionales

Aumento de densidad de plantación (~1970s)

Sistemas de alta densidad de plantación (2010-actualidad)

Baja densidad, seco



< 400 árboles ha⁻¹

Avances en tecnología y maquinaria



Intensivo



400-1500 árboles ha⁻¹

Superintensivo



> 1500 árboles ha⁻¹



Jornada PATT PAgPROTECT

4

4



Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Intensificación de los almendros en España Introducción y objetivos

Superficie cultivada por almendros (ha)

Fuente: ESYRCE 2023

Demanda global incrementa 5 % cada año

Year	ha (%)
2010	0
2012	~20
2014	~50
2016	~100
2018	~180
2020	~280
2022	367

a)

Jornada PATT PAgPROTECT

5

5

Ventajas de la Intensificación Introducción y objetivos

PROS

- Incremento de mecanización
- Mayor precisión tratamientos
- Entrada precoz en producción

Jornada PATT PAgPROTECT

6

6



Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Retos de la Intensificación **Introducción y objetivos**

- Fertirrigación eficiente**
- Optimización LAI e interceptación de luz**
- Heladas / condiciones climáticas extremas**

RETOS

Intensificación: alta dependencia en

Estos retos siguen sin resolverse en plantaciones de alta densidad: *arquitecturas 3D, grandes superficies, etc.*

La gestión de la variabilidad intraparcelar es clave para la sostenibilidad económica y ambiental de estos sistemas.

Universitat de Lleida Jornada PATT PAgPROTECT 7

7

Tecnologías de Agricultura de Precisión **Introducción y objetivos**

Las tecnologías de AP permiten **detectar, monitorizar y gestionar la variabilidad espacial** en plantaciones de alta densidad.

Remote sensing (satellite, UAVs, etc)

- Monitorización frecuente mediante imágenes libres y gratuitas
- Limitaciones por nubosidad, resolución espacial y mezcla de píxeles
- Alta precisión para medir el LAI y la vegetación
- Baja eficiencia en grandes explotaciones agrícolas

Proximal sensing (soil sensors, LiDAR, etc)

Universitat de Lleida Jornada PATT PAgPROTECT 8

8

Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Objetivos

Introducción y objetivos

1. Monitorización estructural LiDAR

? ¿Permiten los **índices LiDAR** estimar con precisión el LAI?

01 **Evaluar el Leafiness-LiDAR Index (LLI)** como estimador de LAI en momentos clave de la campaña

2. Variabilidad y manejo mediante satélite

? ¿Permiten los **índices de vegetación** cuantificar la variabilidad del manejo agronómico?

02 Determinar la **fecha óptima de adquisición de imágenes** para apoyar tratamientos pre-cosecha

3. Patrones temporales y zonas de manejo

? ¿Existen **patrones temporales estables de variabilidad** en cultivos leñosos?

03 Identificar **zonas de manejo estable** mediante modelos (mclust)

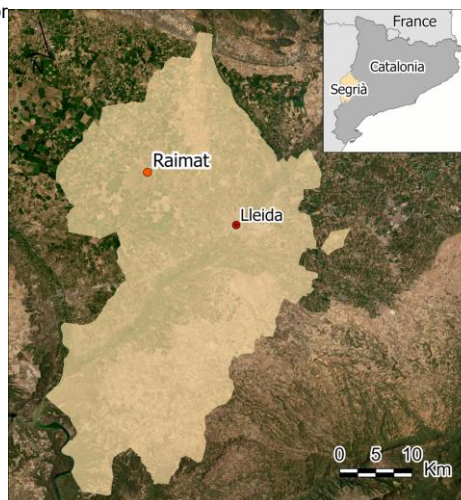
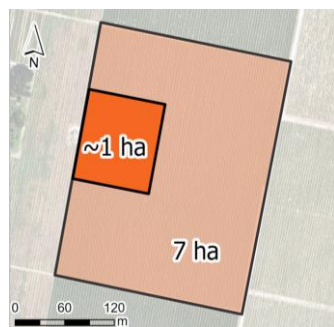
9

Área de Estudio

Material y Métodos

Almendro superintensivo

- *Prunus dulcis* cv. Lauranne Avignon
- 2083 árboles ha⁻¹
- 2016/17
- Fertirrigado



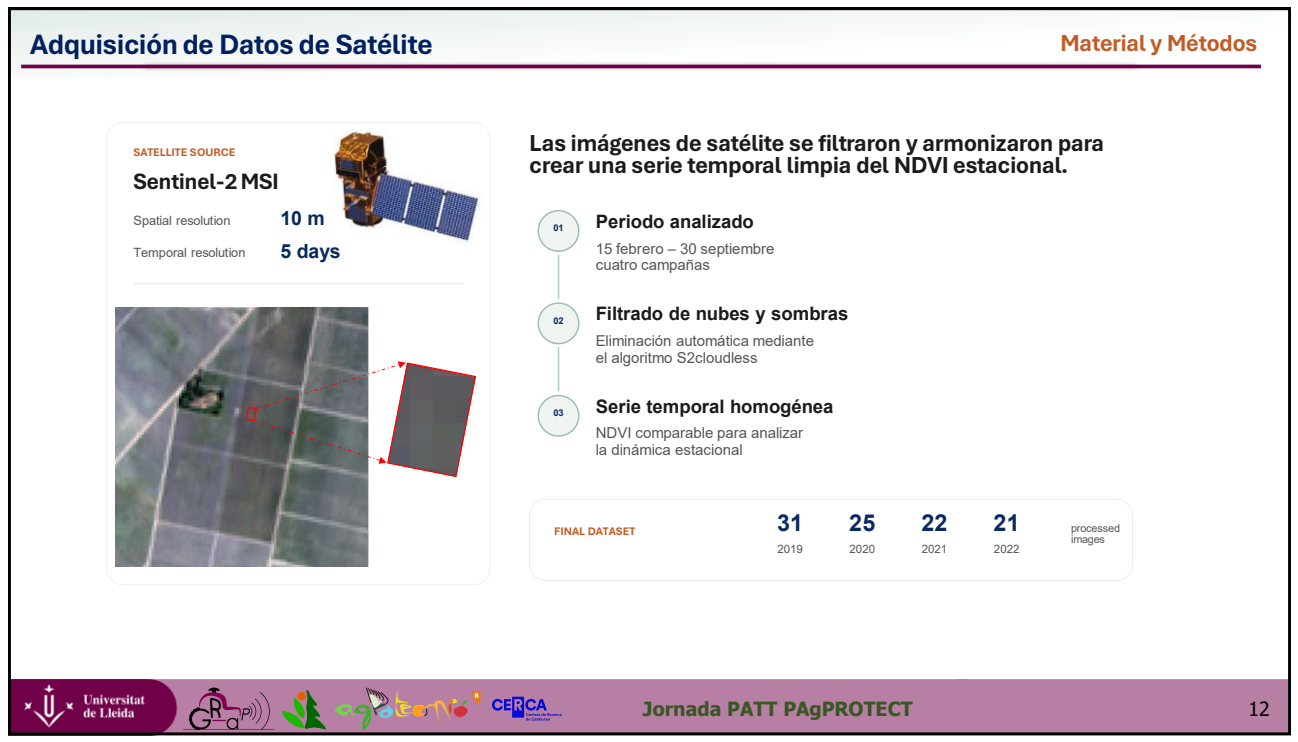
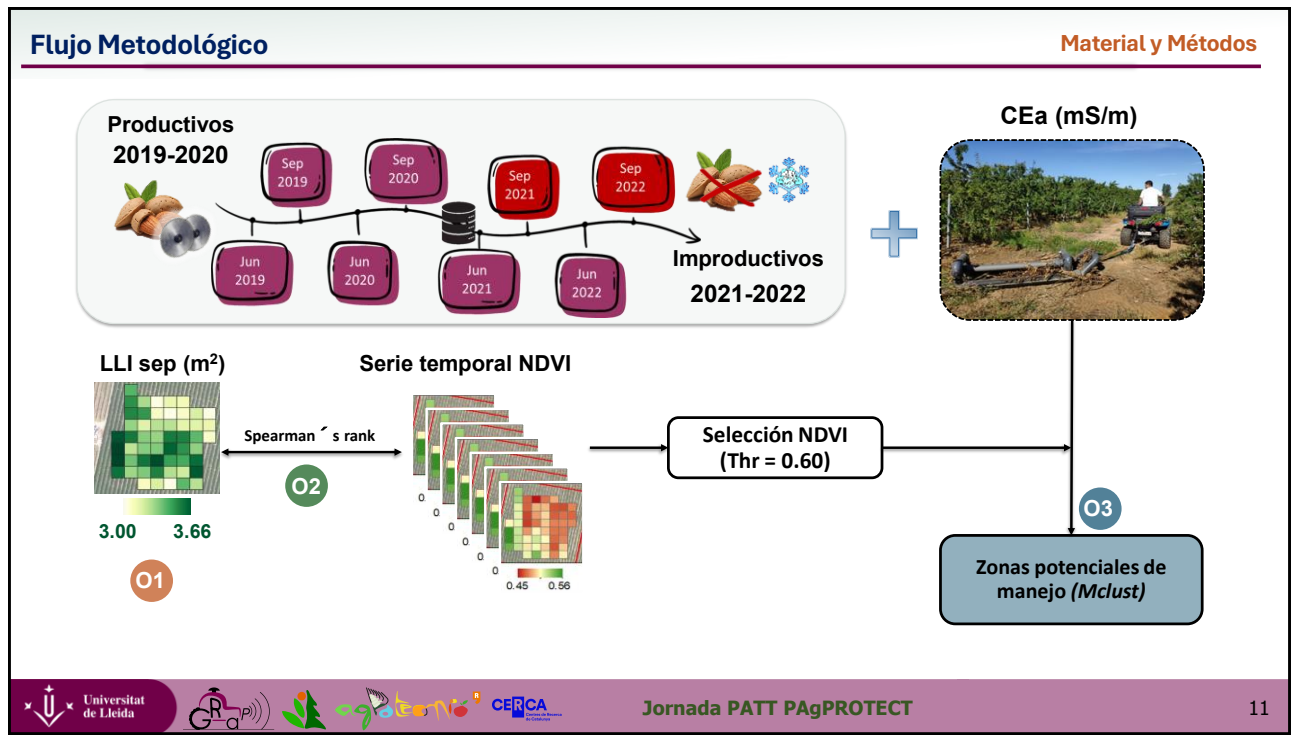
Área de Estudio

Almendros superintensivos

10



Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís





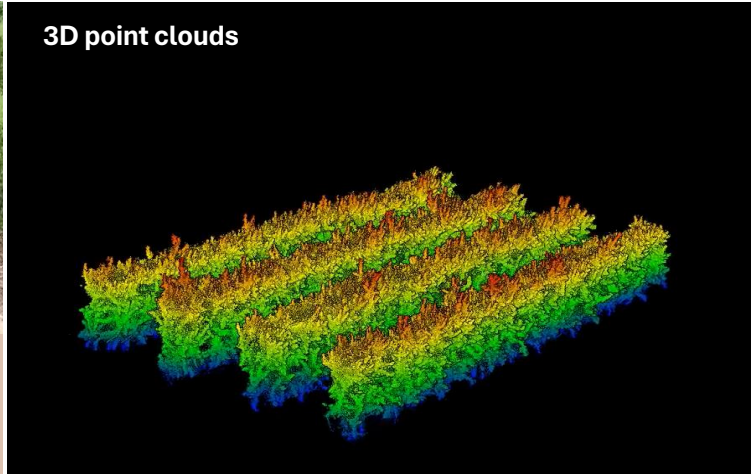
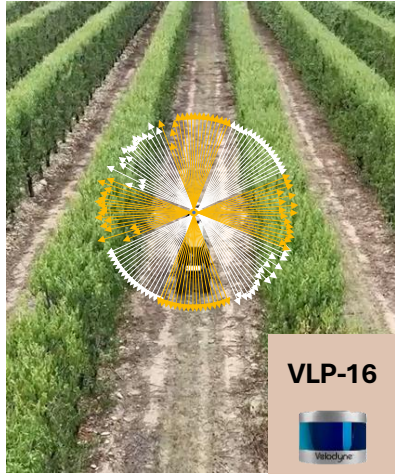
Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Adquisició de dades LiDAR

Material y Métodos



Velodyne Lidar Inc., (Silicon Valley, USA)



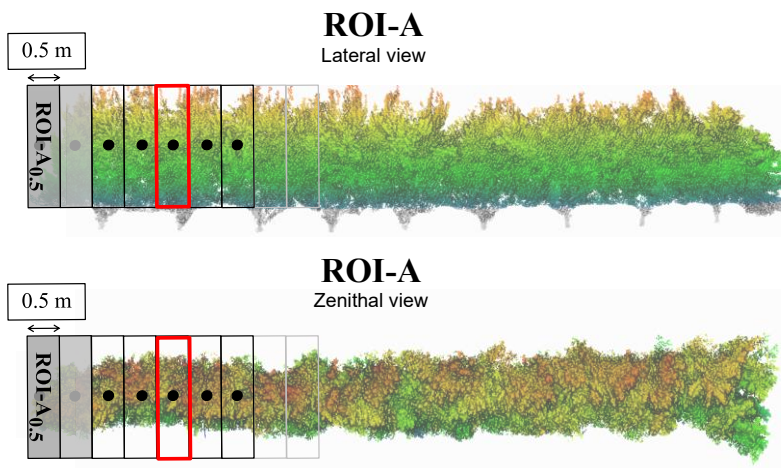
Jornada PATT PAgPROTECT

13

13

Tratamiento de dades LiDAR

Material y Métodos



Jornada PATT PAgPROTECT

14

14



Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

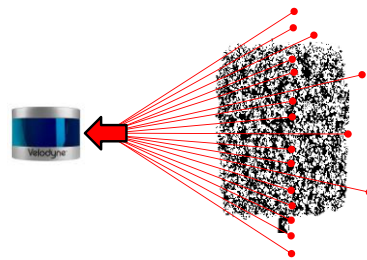
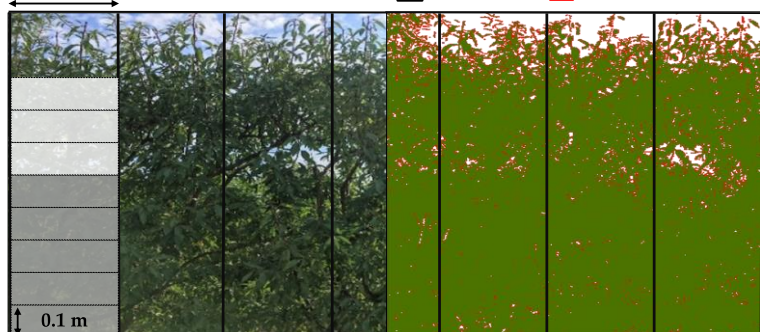
Tratamiento de datos LiDAR

Material y Métodos

ROI-A

Vista lateral

0.5 m



% de rayos LiDAR que han atravesado la pared de vegetación en relación con el TOTAL de haces emitidos por el sensor.

ROI-B



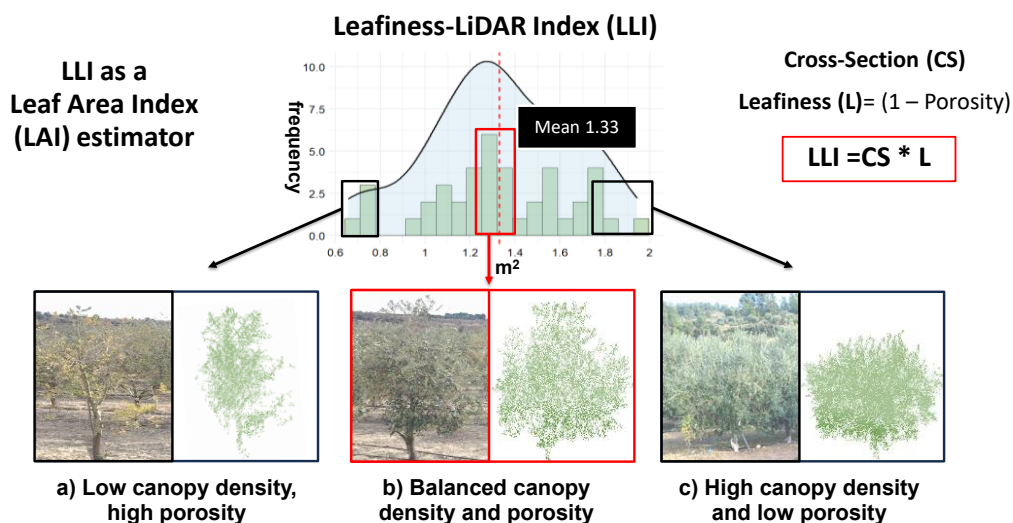
Jornada PATT PAgPROTECT

15

15

Leafiness-LiDAR Index

Material y Métodos



Jornada PATT PAgPROTECT

16

16



Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

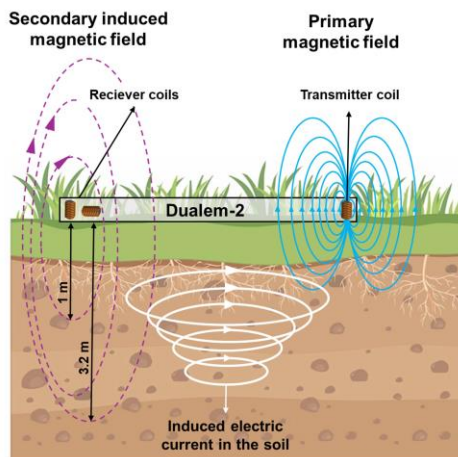
Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Adquisició de Conductivitat Eléctrica aparente (ECa)

Material y Métodos



Dualem-2 sensor (Dualem Inc., Milton, Canada)



Jornada PATT PAgPROTECT

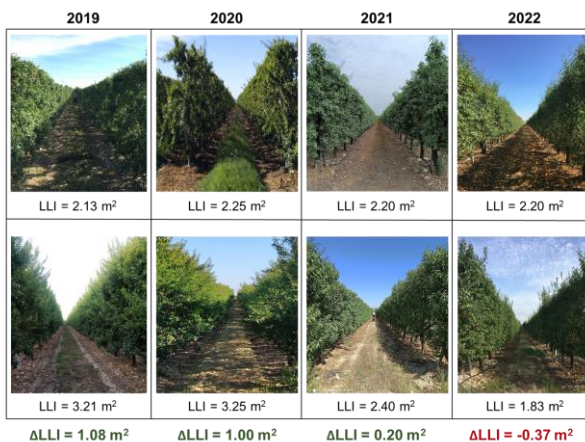
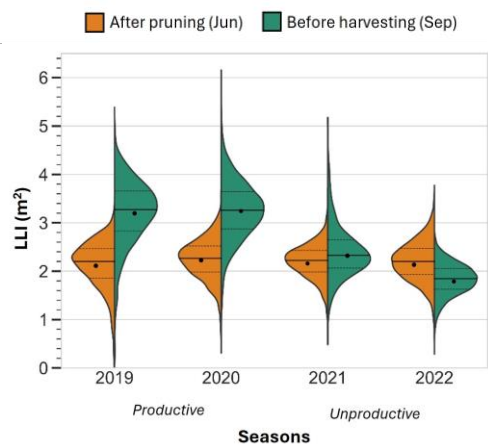
17

17

Variabilidad intraanual e interanual del LLI

Resultados

¿Permiten los índices derivados de LiDAR estimar con precisión el LAI en cultivos leñosos?



Jornada PATT PAgPROTECT

18

18



Universitat de Lleida
Grup de Recerca
AgròTICa i Agricultura
de Precisió (GRAP)





Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

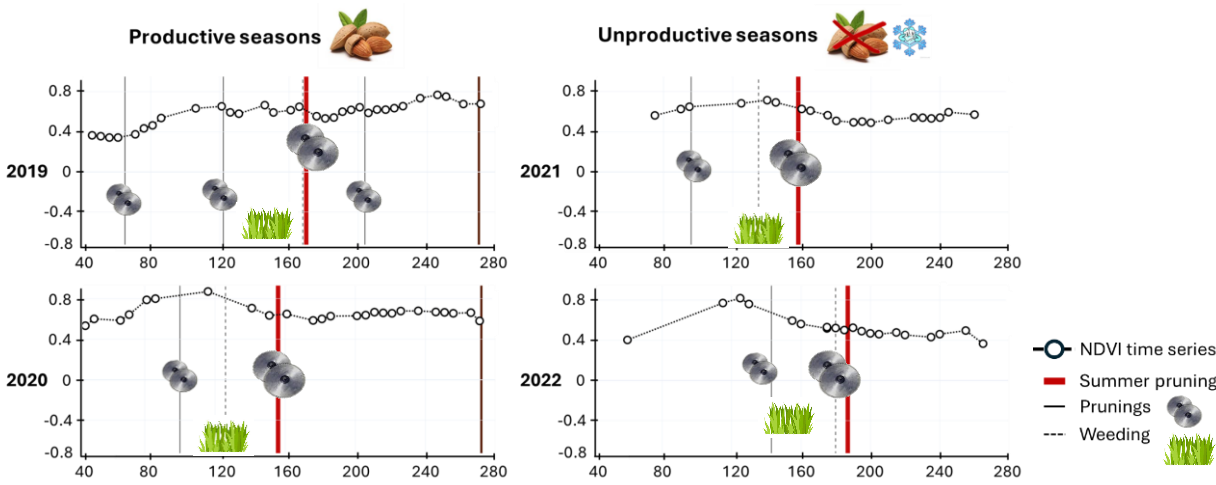
Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Correlación de Spearman: LLI y NDVI

Resultados

¿Puede el NDVI evaluar el impacto del manejo del cultivo? Momento óptimo para el manejo diferencial?

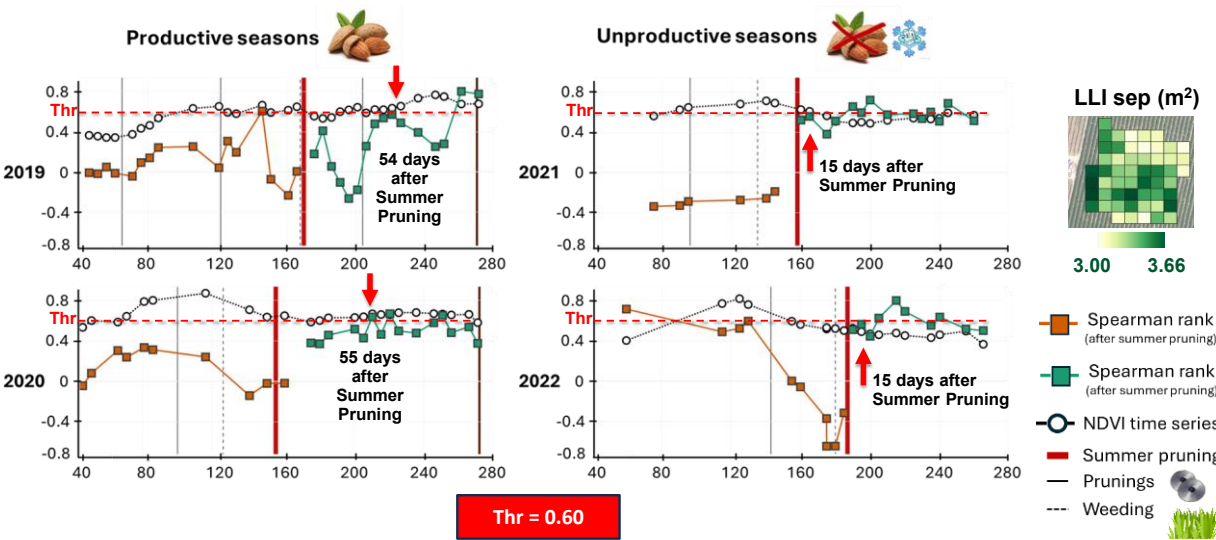


19

Correlación de Spearman: LLI y NDVI

Resultados

¿Puede el NDVI evaluar el impacto del manejo del cultivo? Momento óptimo para el manejo diferencial?



20



Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Delimitación de Zonas potenciales de Manejo
Resultados

? ¿Muestran los cultivos leñosos **patrones temporales estables** para definir zonas de manejo?

Inputs

54 days after SP
NDVI 09/08/2019
Julian day: 221

0.60 0.67

55 days after SP
NDVI 29/07/2020
Julian day: 211

0.61 0.74

15 days after SP
NDVI 14/06/2021
Julian day: 165

0.59 0.70

15 days after SP
NDVI 14/07/2022
Julian day: 195

0.45 0.56

ECa shallow (mS/m)

9.09 13.49

ECa deep (mS/m)

35.4 47.1

Model-based cluster algorithm (mclust)

Outputs

Model selection
Best model: EEV | Optimal clusters: n = 2

Number of clusters

PMZs Cluster 1 Cluster 2

Cluster 1				
PMZs	LLI 2019	LLI 2020	LLI 2021	LLI 2022
1	3.39 ^a	3.38 ^a	2.39 ^a	1.92 ^a

Cluster 2				
PMZs	LLI 2019	LLI 2020	LLI 2021	LLI 2022
2	3.23 ^b	3.26 ^b	2.29 ^b	1.77 ^b

Jornada PATT PAgPROTECT
21

21

Conclusiones principales
Conclusiones

1. Monitorización estructural LIDAR

Conclusión: El LLI demostró ser un indicador eficaz para detectar cambios en el dosel y estimar la dinámica de crecimiento a lo largo de la campaña.

2. Variabilidad y manejo mediante satélite

Conclusión: La variabilidad estuvo condicionada por las prácticas de manejo (fertilización, las podas y el control de malas hierbas) y la metodología aplicada hizo posible identificar las imágenes adecuadas para tratamientos pre cosecha.

3. Patrones temporales y zonas de manejo

Conclusión: Se encontraron patrones espaciales estables que permitieron delimitar zonas potenciales de manejo consistentes entre campañas. Estas zonas mostraron diferencias significativas de LLI, confirmando su utilidad para una futura gestión variable del cultivo.

Jornada PATT PAgPROTECT
22

22



Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

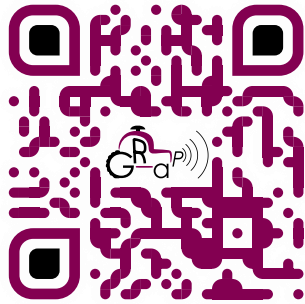
Agraïments

A l'Agència Estatal d'Investigació, al Ministeri de Ciència i Innovació, i als fons FEDER-UE per finançar els treballs exposats a través del projecte **PAgPROTECT (PID2021-1266480B-I00)**.



www.grap.udl.cat

www.linkedin.com/company/grap-udl-agrotecnio



Jornada PATT PAgPROTECT



Universitat de Lleida



Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos

Leire Sandonís

Grup de recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió – GRAP
Universitat de Lleida / Agrotecnio-CERCA Center

PAgPROTECT (PID2021-1266480B-I00)



Universitat de Lleida
Grup de Recerca
AgròTICa i Agricultura
de Precisió (GRAP)



Universitat de Lleida
Grup de Recerca
AgròTICa i Agricultura
de Precisió (GRAP)

