



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

Anàlisi de l'efecte d'episodis de sequera en pomeres

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)



agrotecnio
EXCELLENCE IN FOOD AND AGRICULTURE RESEARCH



CERCA
Centres de Recerca de Catalunya

1

Impacto de la Sequía en Manzanos

Introducción y Objetivos



La sequía es un desafío creciente que afecta severamente el **crecimiento, la producción y la calidad** de los manzanos en regiones áridas y semiáridas del Mediterráneo.

21st May 2023



■ Watch
 ■ Warning
 ■ Alert

European Drought Observatory (EDO):
<https://drought.emergency.copernicus.eu/>







Universitat de Lleida



agrotecnio



CERCA

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

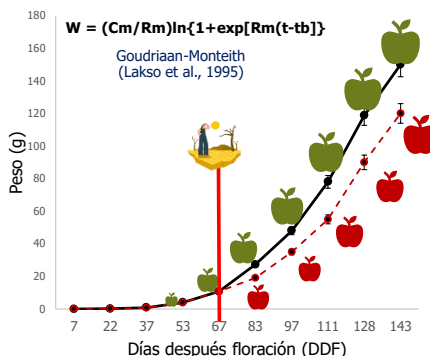
Impacto de la Sequía en Manzanos

Introducción y Objetivos



- Los manzanos presentan un modelo expolineal de crecimiento caracterizado por una **maduración media-tardía**.
- En años de sequía puede ser necesario imponer un **riego deficitario** en **estados fenológicos** muy **sensibles** al estrés hídrico (fase de crecimiento del fruto)
- Los manzanos responden a la sequía **reduciendo su superficie foliar** → reduciendo la eficacia de la intercepción de luz

Modelo Expolineal del crecimiento



Jornada PATT PAgPROTECT

3

3

Mejora del manejo del dosel

Introducción y Objetivos

- Doseles desequilibrados** → Rendimiento, número de frutos, caída prematura de los frutos.
- Mejora del manejo del dosel** → Clave para paliar los efectos de la sequía y su repercusión en la producción.

Ceptometros

- Ampliamente utilizados para estimar el LAI
- Presentan problemas con la luz difusa

LiDAR (MTLS)

- No depende de las condiciones de luz directa
- Fácil de medir y replicar de forma continua.

Capacidad fotosintética
Índice de área foliar (LAI)

Exposición a la luz
Penetración y distribución



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

Mejora del manejo del dosel

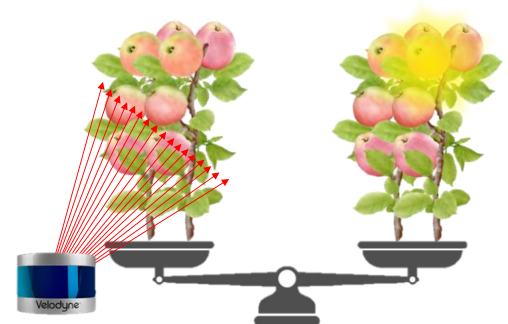
Introducción y Objetivos

LIDAR (MTLS)

- Existen **pocos índices derivados de LiDAR** que ayuden a mejorar la gestión agronómica.
- Falta evidencia** sobre cómo el riego y la densidad de plantación condicionan los efectos de arrastre de la sequía en el dosel

Capacidad fotosintética
Índice de área foliar (LAI)

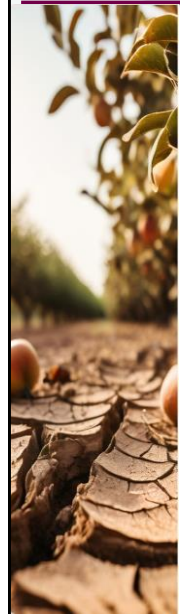
Exposición a la luz
Penetración y distribución



Jornada PATT PAgPROTECT

Objetivos

Introducción y Objetivos



- Evaluar el índice **Leafiness-LiDAR (LLI)** como indicador sustitutivo del **índice de área foliar (LAI)** en condiciones de **sequía**.
- Analizar su relación con los **parámetros productivos** en **distintos tratamientos de riego y densidades de plantación**.
- Evaluar el **estrés hídrico** y sus efectos a largo plazo sobre el **desarrollo del dosel** y el **rendimiento**.



Jornada PATT PAgPROTECT

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

Àrea de Estudio

Material y métodos

(*Malus sylvestris* L. Mill.) cv UEB 3264/2 Opal®, 3 NE-SW oriented rows, ETSEAFIV, Catalonia, Spain
(X = 296 975 m, Y = 4 599 900 m ETRS89 UTM 31T).

Jornada PATT PAgPROTECT

7

7

Àrea de Estudio

Material y métodos

Periodo de estudio

2023 — 2024 — 2025

- FI: 480 mm durante la campaña;
- DI: 15 mm cada 15 días durante la campaña.

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

Área de Estudio

Material y métodos

Periodo de estudio

Jornada PATT PAgPROTECT

9

9

Adquisición de datos LiDAR

Viametris bMS3D-4CAM montado en un EZ Rider 4x4

Material y métodos

- Fecha adquisición: **15 julio 2023**
- Velocidad constante: **10 km h⁻¹**

- **2 sensores LiDAR VLP-16**
- Campo de visión: 30°
- ~300,000 puntos/s
- Ventana de escaneo 360°

Posteriormente, se extrajeron **parámetros geométricos** (altura y anchura máximas) y **estructurales** del dosel (porosidad) cada 0,5 m y 1 m a lo largo de las filas (Llorens et al., 2019).

Jornada PATT PAgPROTECT

10

10



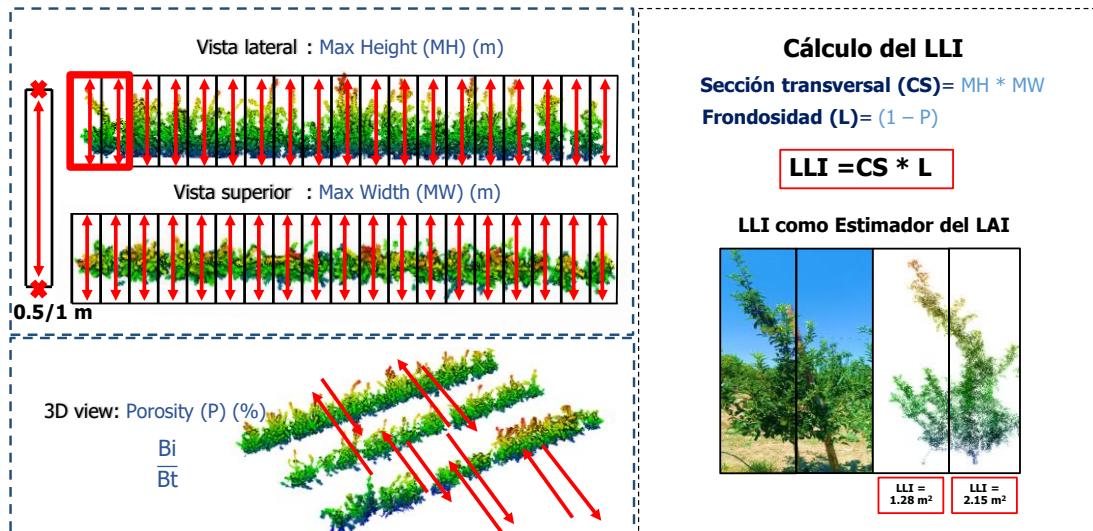
Protecció de cultius llenyosos de precisió. La tecnologia al servei de l'eficiència i la sostenibilitat

Jornada tècnica
Lleida, dijous 28 maig de 2026

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

Cálculo del Leafiness-LiDAR Index (LLI)

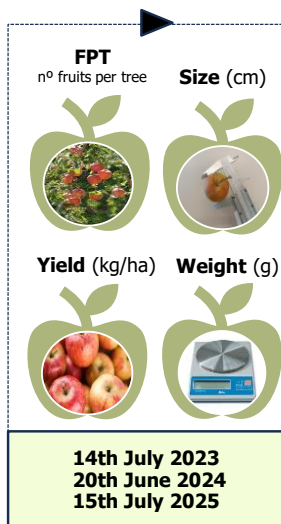
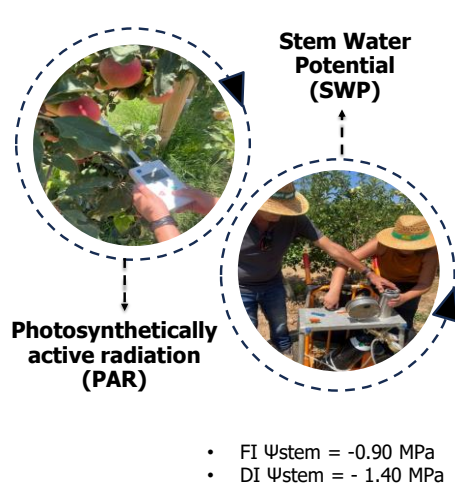
Material y métodos



Jornada PATT PAgPROTECT

Obtención de otra información de la parcela

Material y métodos



Jornada PATT PAgPROTECT







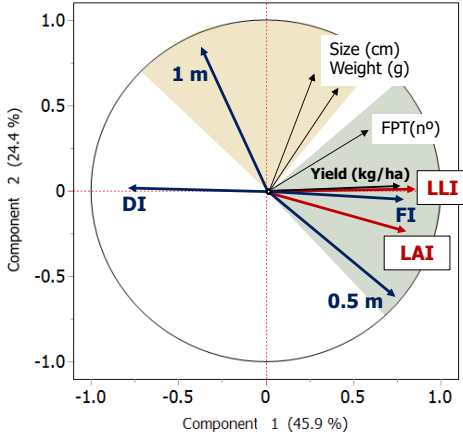
Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Relación entre LLI y parámetros productivos Resultados



PD: 1 m








Factorial Analysis



PD: 0.5 m + FI

Jornada PATT PAgPROTECT

13

13

Efectos a largo plazo de la sequía Resultados

Modelo de medidas repetidas

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_l + (\alpha\beta\delta)_{jil} + u_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

1 Response variables

LAI, LLI, Yield

2 Fixed effects

Year (2023–2025), Irrigation (DI vs FI), Planting framework (PF: I vs O)

3 Random effect

Tree ID (random intercept)

4 Post-hoc

Estimated marginal means + Tukey adjustment

Repeated measures dataset; 191 observations after outlier filtering.

N = drought |

▶

| Recovery? |

2023

▶





2024

▶

2025

Factor	LAI	LLI (m ²)	Yield (kg/ha)
Year (γ)	*** ✓	*** ✓	*** ✓
Irrigation (α)	** ✓	** ✓	.
P.framework (β)	*** ✓	** ✓	** ✓
Irrig × PF (αβ)	ns	* ✓	* ✓
Year × Irrig (γα)	** ✓	*** ✓	ns
Year × PF (γβ)	** ✓	*** ✓	*** ✓

Significance: *** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05; . p < 0.10; ns = not significant.

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

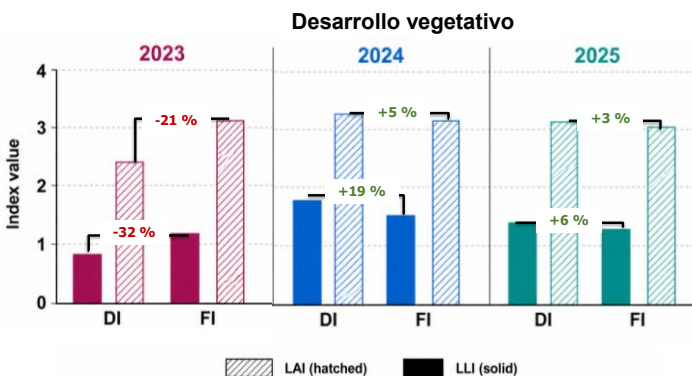
Identificació de patrons temporals de variabilitat en cultius llenyosos – Leire Sandonís

Efectos a largo plazo sobre desarrollo vegetativo

Resultados

2023

2024



En 2023, los árboles sometidos a riego deficitario (DI) mostraron una reducción del 32 % en el LLI.



Jornada PATT PAgPROTECT

15

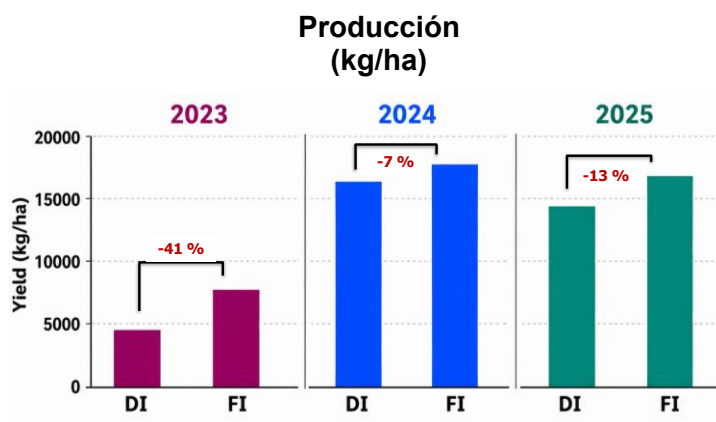
15

Efectos a largo plazo sobre la producción

Resultados



En 2023, los árboles sometidos a riego deficitario (DI) experimentaron una reducción del 41 % en el rendimiento.



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

Conclusiones principales

Conclusiones Principales

- C1** — El LLI mostró una **correlació positiva** con el **índice de área foliar (LAI)** y con el **rendimiento**, lo que confirma su potencial como **indicador indirecto del desarrollo del dosel** y como herramienta para **optimizar la producción en condiciones de estrés hídrico**.
- C2** — La **densidad de plantación** influyó en las características productivas: la densidad de **0,5 m** favoreció un mayor **número de frutos por árbol** y un mayor **rendimiento**, mientras que la densidad de **1 m** se asoció con un mayor **tamaño de fruto**.
- C3** — Durante la temporada de **sequía**, se detectaron indicios de **estrés hídrico**, con una reducción del **32 y 40 % en el LLI** y en el **rendimiento**, respectivamente. Además, se observó un **efecto de arrastre** en temporadas posteriores, reflejado en un **ligero aumento del desarrollo vegetativo** y un **ligero descenso del rendimiento**.
- C4** — El seguimiento del dosel basado en el LLI puede ayudar a optimizar la **poda**, y la **fertirrigación** durante los periodos de **sequía** y en las temporadas posteriores, ayudando a anticipar posibles pérdidas de **vigor, área foliar y producción**.



Jornada PATT PAgPROTECT

17

17

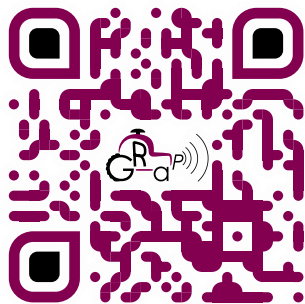
Agraïments

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

18

18



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



9



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 Transparència 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

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



MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN



UNIÓN EUROPEA



FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INVESTIGACIÓN