LIFE AgroForAdapt

Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático de espacios agrícolas y forestales mediterráneos

LIFE20 CCA/ES/001682 10/2021 – 09/2026

https://agroforadapt.eu

ENTREGABLE D2.1. EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y SOCIOECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DEMOSTRATIVOS SILVOARABLES (C2) Y ADEHESADOS EN TERRENO PREVIO DE PASTO (C3.1)



Mayo de 2026

Proyecto LIFE AgroForAdapt: Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático de espacios agrícolas y forestales mediterráneos 10/2021 – 09/2026

Acción: D2.1. Evaluación productiva y socioeconómica de los sistemas demostrativos silvoarables (C2) y adehesados en terreno previo de pasto (C3.1)

Beneficiarios del proyecto: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC; coordinador), Diputació de Barcelona (DiBa), Diputació de Girona (DiGi), Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya (DACC), Fundació Emys (Emys), Agresta S. Coop. (Agresta), Agroof, SCOP (Agroof).

Cofinanciadores del proyecto: Diputació de Tarragona (DipTa). Agencia del Agua RMC (Fra-Montpellier)

Autores del entregable: Beatriz de Torre (Agresta), Irene Ruano (Agresta), Diego Santiuste (Agresta), Javier Antón (Agresta), Juan Carlos Oteo (Agresta), Jaime Coello (CTFC), Guillem Llena (CTFC), Marta Vilarnau (CTFC), Mar Gallego (CTFC), Marc Taull (CTFC), Fabien Liagre (Agroof), Carla Cárdenas (Emys), José Santana (Sorbus).

El proyecto LIFE AgroForAdapt (LIFE20 CCA/ES/001682; 10/2021 – 09/2026) está cofinanciado por el programa LIFE de la Unión Europea

https://agroforadapt.eu

Las opiniones y puntos de vista expresados son exclusivamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni los de la CINEA. Ni la Unión Europea ni la autoridad concedente pueden ser consideradas responsables de ellos.

Executive summary

The LIFE AgroForAdapt project evaluated the integration of woody components into Mediterranean agricultural and grassland systems to enhance climate change adaptation.

The methodology employs a two-tier monitoring approach (basic and advanced) to assess productivity, socioeconomic impact, and long-term viability across diverse demonstration systems.

Basic monitoring consisted of stakeholder surveys, and revealed that agroforestry systems foster natural pest regulation and microclimatic buffering, although they face initial challenges regarding wildlife pressure and mechanization.

Advanced field monitoring, based on empirical measurements, confirms that while resource competition may occur in the immediate vicinity of trees, these effects diminish with distance, often equaling traditional monoculture yields at distances beyond tree height. Crucially, in the driest conditions, a "nurse effect" was observed where tree rows improved crop performance by reducing evapotranspiration.

Overall, participants perceive the woody component as a "financial life insurance" that diversifies income and capitalizes the land through biometric growth, providing a resilient alternative to intensive monocultures in the face of increasing climate irregularity.

Índice

1. Introducción 5

1.1 Contexto 5

1.2 Protocolo de seguimiento D2.1 6

1.3 Adaptaciones del protocolo 7

2. Seguimiento básico 9

2.1 Resultados del seguimiento básico 9

2.1.1 Datos generales de las fincas y las personas asociadas a ellas 9

2.1.2 Producciones 10

2.1.3 Plagas, enfermedades y daños 11

2.1.4 Gestión agrícola 12

2.1.5 Producción económica neta 14

2.1.6 Caracterización e interacciones de los sistemas silvopastorales (fincas adehesadas) 15

2.2 Conclusiones del seguimiento básico 17

3. Seguimiento avanzado 19

3.1 Resultados del seguimiento avanzado 19

3.1.1 Sistemas de seguimiento avanzado 19

3.1.2 Parcela 2.2A Can Pallot 20

3.1.3 Parcela 2.2B Camp de l'Ermengol 21

3.1.4 Parcela 2.1 D La Sola 23

3.1.5 Parcela 2.2E Marbanas 25

3.1.6 Parcela 2.2 H Terres de Roumassouze 27

3.1.7 Parcela 2.1T Can Ramilans 29

3.2 Principales conclusiones del seguimiento avanzado 32

1. Introducción

1.1 Contexto

La acción D2.1 se centra en cuantificar la producción de los sistemas demostrativos silvoarables (C2) y silvopastorales en terreno de pasto (C3.1). El objetivo fundamental es determinar si la diversificación productiva —la integración de componentes leñosos con cultivos o pastos— ofrece una mayor eficiencia y rentabilidad económica que los sistemas de monocultivo tradicionales ante el estrés climático. Con los datos recogidos se pretende analizar el impacto socioeconómico en el empleo, la productividad bajo diferentes condiciones experimentales y la viabilidad económica a largo plazo, especialmente en lo relacionado con una mayor adaptación al cambio climático.

En las parcelas demostrativas existe una gran diversidad de combinaciones agroforestales:

- Cultivos: incluyen rotaciones de cereales (trigo, cebada, centeno, avena); leguminosas y forrajeras (veza, garbanzos, alfalfa, yeros); viña; huerta (patatas, tomates, alcachofas, fresas); y plantas aromáticas o medicinales (lavandín, tomillo, romero, siempreviva, hierba luisa).
- Especies arbóreas y arbustivas: árboles productores de madera de calidad (nogal, cerezo, fresno, serbal, olmo, chopo, roble), frutales (almendro, avellano, manzano, peral, ciruelo, higuera, granado, caqui), árboles forrajeros (fresno, encina, roble, morera) y árboles micorrizados (encina trufera). En cuanto a las arbustivas, las especies empleadas buscan fomentar la biodiversidad y crear cortavientos de especies autóctonas (saúco, laurel, lentisco, sauzgatillo, madroño).

- Ganadería: incluye cerdo de raza Duroc, vacuno de carne (raza Avileña), ganado ovino, vacuno de leche, equino, caprino y aviar. En las fincas ganaderas se han plantado principalmente especies de interés forrajero: encina, roble, fresno, morera y matorrales forrajeros (*Rhamnus alaternus* y *Phyllirea angustifolia*)

Esta gran diversidad de situaciones dificulta las comparaciones entre fincas, pero muestra la riqueza de posibles combinaciones que hay en este tipo de sistemas.

1.2 Protocolo de seguimiento D2.1

Como se detalla en el protocolo de seguimento D2.1, la metodología de evaluación se ha estructurado en tres niveles de intensidad para garantizar una cobertura exhaustiva de los sistemas demostrativos seleccionados:

- **Seguimiento básico.** Aplicado a la totalidad de los sistemas, basado en encuestas a las personas propietarias y estimaciones periciales para monitorizar la evolución general, gestión agrícola y producciones. Los datos se organizan en bloques temáticos que incluyen datos de propiedad, producción herbácea y calidad de cosecha, producción del arbolado, estado sanitario, gestión, producción económica neta y una valoración global subjetiva del sistema. Se han recogido, además, otras circunstancias especiales del clima (sequías extremas o periodos especialmente lluviosos, heladas tardías, etc) o circunstancias de variación de los mercados que hayan podido tener impacto en los resultados productivos y en las valoraciones.

- **Seguimiento Avanzado.** Realizado en 6 sistemas silvoarables, mediante mediciones directas en campo y muestreos en distintas condiciones experimentales. Se analiza la interacción arbolado-cultivo bien, en función de la distancia al arbolado, comparándolo con zonas control sin influencia arbórea, o en función de diversas estrategias de poda del arbolado. Los datos recogidos se han adaptado a los cultivos (cereal, leguminosas hortícolas u otras) y a la edad del arbolado.

- **Seguimiento Integral.** Nivel de máximo detalle en sistemas seleccionados para recopilar datos económicos específicos destinados a simulaciones complejas con la herramienta FARMSAFE. Los resultados de dicho seguimiento se presentarán como un informe propio durante el verano de 2026.

1.3 Adaptaciones del protocolo

El seguimiento básico se ha aplicado en 35 parcelas de las 48 previstas inicialmente, incluyendo 28 sistemas silvoarables y 6 sistemas silvopastorales en terreno de pasto. En la tabla 1 se presentan las parcelas inicialmente planteadas y las encuestas disponibles, y el motivo de descarte.

Tabla 1 Encuestas realizadas en el seguimiento básico

PARCELAS DE SEGUIMIENTO BÁSICO			ENCUESTAS REALIZADAS			
Responsable	**Parcela**	**Nombre**	**PRE-2022**	**2023**	**2024**	**2025**
CTFC	2.2A	Can Pallot	X	X	X	X
CTFC	2.2B	Camp de l'Ermengol		X	X	X
CTFC	2.2C	Can Buscastell		X	X	X
Agresta	2.1A	Valdeande	X	X	X	X
Agresta	2.1B	Ibeas de Juarros	X	X	X	X
Agresta	2.1C	Oteros de Boedo	X	X	X	X
Agresta	2.1D	La Sola	X	X	X	X
Agresta	2.2D	San Felices	X	X	X	X
Agresta	2.2E	Marbanas	X	X	X	X
DiGi	2.1K	Camps i Armet 2	X	X	X	X
DIGI	2.1J	Camps i Armet 1	X	X	X	X
AGROOF	2.2G	Domaine de Perdiguier		X	X	X
AGROOF	2.2H	Terres de Roumassouze		X	X	X
AGROOF	2.1M	Domaine Canaverier		X	X	X
AGROOF	2.1N	Mas des Justes		X	X	X
AGROOF	2.1O	Mas des Roquet		X	X	X
AGROOF	2.1P	Terres de Jeanne		X	X	X
AGROOF	2.1Q	Château Saint Martin	Sin encuesta por retraso en la plantación			
AGROOF	2.1R	SCIC Le Bioo-Rhony		X	X	X
AGROOF	2.1S	Domaine de Malaïgue		X	X	X
AGROOF	2.1U	Domaine de la Suffrene	Sin encuesta por retraso en la plantación			
AGROOF	2.1V	Laurent Garcia Campo	Sin encuesta por retraso en la plantación			
AGROOF	2.1W	Belair/Fumade		X	X	X
AGROOF	2.1Y	Domaine de Scamandre		X	X	X
AGROOF	2.1Z	Catherine Legrand	Sin encuesta por abandono del proyecto			
AGROOF	2.2F	Domaine du petit St Jean		X	X	X
AGROOF	2.2I	Mas de Lavalus	Sin encuesta por abandono del proyecto			
AGROOF	2.2K	Les Arches Castriotes	Sin encuesta por la no disponibilidad del propietario			
AGROOF	2.2L	Domaine d'Eriane	Sin encuesta por la no disponibilidad del propietario			
AGROOF	2.2M	Domaine de Valensole		X	X	X
AGROOF	2.2N	Domaine de la Volpelière	Sin encuesta por abandono del proyecto			
AGROOF	2.2O	Les jardins de Julie	Sin encuesta por retraso en la plantación			
AGROOF	2.2P	Prieuré de Marcevol		X	X	X
EMYS	2.1F	Mas Ganiguer	X	X	X	X
EMYS	2.1G	Can Moragues	X	X	X	X
EMYS	2.1I	Can Moragues	X	X	X	X
EMYS	2.1H	Can Moragues	X	X	X	X
EMYS	2.1T	Can Ramilans	X	X	X	X

PARCELAS DE SEGUIMIENTO BÁSICO			ENCUESTAS REALIZADAS			
Responsable	**Parcela**	**Nombre**	**PRE-2022**	**2023**	**2024**	**2025**
EMYS	3.1L	Granja la selvatana				X
Agresta	3.1C	Juangato				X
Agroof	3.1E	Porcqueno				X
Agroof	3.1G	Mas del Fray				X
Agroof	3.1H	Chloé Lefort				X
Agroof	3.1K	La belle roche				X
Agroof	3.1D	La Ferme de Figueirole	Sin encuesta por abandono del proyecto			
Agroof	3.1J	L'Angus Lacan	Sin encuesta por abandono del proyecto			
CTFC	3.1A	Agullana	Sin encuesta por abandono del proyecto			
CTFC	3.1B	St Esteve d'en Bas				X

Un total de 6 parcelas fueron consideradas para el **seguimiento avanzado**, adaptándose el diseño experimental y la toma de datos a los requerimientos de cada cultivo planteado en cada parcela. En la tabla 2 se muestran las parcelas de seguimiento avanzado y los años muestreados.

Tabla 2 Muestreos de campo en parcelas de seguimiento avanzado

PARCELAS DE SEGUIMIENTO AVANZADO				DATOS RECOGIDOS			
Socio	**Parcela**	**Nombre**	**Condiciones experimentales definitivas**	**PRE-2022**	**2023**	**2024**	**2025**
CTFC	2.2A	Can Pallot	3: Cereal a 2 distancias de hilera arbórea (nogales) + control	X	X	X	X
CTFC	2.2B	Camp de l'Ermengol	3: Aromáticas + nogales vs. Control aromáticas vs. Control nogales	X	X	X	X
Agresta	2.1D	La Sola	3: Cultivo (cebada, garbanzos, trigo, según año) a 2 distancias de hilera arbórea (almendros/avellanos/nogales) + control		X	X	X
Agresta	2.2E	Marbanas	3: Cultivo (yeros) a 2 distancias de hilera arbórea (almendros) + control.		X	X	X
AGROOF	2.2H	Terres de Roumassouze	3: Control, árboles podados y trasmonchados. Mediciones a 5 distancias (cultivos: lechugas/patatas)		X	X	
EMYS	2.1T	Can Ramilans	2: Tomates + frutales (albaricoque, ciruelo, manzano y peral) vs. control (tomates)			X	X

2. Seguimiento básico

2.1 Resultados del seguimiento básico

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las encuestas realizadas en el seguimiento básico, siguiendo los bloques de análisis previstos en el protocolo.

2.1.1 Datos generales de las fincas y las personas asociadas a ellas

El régimen de tenencia de las fincas es muy variado. Incluye la propiedad heredada, la compra de tierras, el arrendamiento, la propiedad mixta con arrendamiento y los acuerdos o cesiones de uso con administraciones públicas y fundaciones. Concretamente son:

- En cesión de uso o con acuerdos con administraciones públicas o fundaciones (6 fincas): Domaine Du Canaverier, Bioo Rhony, Belair Fumades, Camps i Armet 1, Camps i Armet 2 y Can Moragues.
- Compra de tierras (4 fincas): Barzalejos, Domaine du petit st jean, Domaine Perdiguier y Domaine de Scamandre.
- En alquiler (5 fincas): La Sola, Marbanas, Terres de Roumassouze, Can Ramilans y Puig-Reig.
- De propiedad heredada (4 fincas): Alijón-Otero, Mas Ganiguer, Sagàs y Maçanet de la Selva.
- Propiedad mixta (Propiedad y arrendamiento) (1 finca): San Felices.
- Otros (1 finca): Prieuré de Marcevol es una explotación fuera del marco familiar.

En cuanto al perfil de las personas propietarias y trabajadoras de las fincas, las contrataciones, el tamaño y la gestión varían bastante: muchas fincas no tienen empleados adicionales y son gestionadas únicamente por los propietarios o con 1 o 2 trabajadores. Otras fincas más grandes cuentan con equipos de entre 3 y 8 trabajadores, incluyendo personas temporeras y voluntarias. Un factor común en la mayoría de las explotaciones es la dependencia de subcontratas o prestadores de servicios agrícolas para labores puntuales como preparación del terreno, siembra, cosecha o aplicación de riegos. Los datos concretos son:

- Fincas en las que solo trabajan las personas propietarias (sin personas empleadas adicionales): 8 fincas. Vega Grande, Barzalejos, Alijón-Otero, Marbanas, Mas Ganiguer, Puig-Reig, St Esteve d'en Bas y Sagàs.
- 1 persona empleada (o entre 1 y 1,5 a tiempo completo): 7 fincas. Finca La Sola, Bioo Rhony (1 más voluntarios), Prieuré de Marcevol (1 a 1,5 ETP más voluntarios), Can Moragues 2.1G, Can Ramilans, Can Moragues 2.1H y San Felices.
- 2 personas empleadas: 9 fincas. Mas des Justes, Mas des Roquets, Domaine Perdiguier, Terres de Roumassouze, Chloé Lefort, Camps i Armet 2.1J, Camps i Armet 2.1K y Maçanet de la Selva (gestionada por padre e hijo).
- Equipos más grandes (entre 3 y 8 personas trabajadoras): 5 fincas. Domaine Du Canaverier (6 personas: 2 técnicos y 4 agricultores), Domaine de Malaïgue (7-8 personas), Domaine du petit st jean (2,5 ETP más asalariados y voluntarios), Domaine de Scamandre (3,5 personas y temporeros) y La Belle Roche (4,5 personas)

La participación femenina es muy destacada, asumiendo roles de liderazgo, propiedad y toma de decisiones técnicas en numerosos proyectos demostrativos. Ejemplos directos incluyen a una copropietaria de 43 años en Barzalejos, una trabajadora contratada en Finca La Sola, Una agricultora principal en Bioo Rhony, Una encargada de proyectos en Mas des justes, Una hortelana en Terres de Roumassouze y en Mas del Fray y una propietaria en la finca de San Felices.

2.1.2 Producciones

A partir de las experiencias recogidas en las fincas, se observan tendencias claras y comunes tanto en la evolución de la producción como en los retos fitosanitarios y de plagas. La producción en estos sistemas de transición agroforestal está fuertemente marcada por su alta vulnerabilidad a los extremos climáticos recientes y por la juventud de las plantaciones. Por una parte, se destacan los casos de éxito y por otra las afecciones observadas:

Casos de éxito productivo:

- Producción de trufa al alza (de 10 a 62 kg): estos datos tan concretos de crecimiento progresivo corresponden a una finca dedicada a las encinas micorrizadas en combinación con lavandín. El aumento de la producción de trufa, se debe principalmente al aumento de la edad de las encinas, e irá en detrimento de la producción de lavandín. El lavandín por su parte aporta olor y sabor a la trufa.
- Huerta y comercialización directa: hay 3 fincas con perfil hortícola que destacan, logrando buenos volúmenes económicos a través de la venta directa en finca, cestas, mercados locales o restaurantes.
- Cosechas de cereal: A parte de las severas sequías de 2022 y 2023, se observa una clara tendencia de recuperación y éxito productivo en las fincas con cereales. Al menos 3 fincas registraron grandes incrementos en sus rendimientos de cereal (trigo y cebada) en los años más recientes.
- Tendencias en la producción del arbolado: la mayor parte del arbolado de las fincas es muy joven, pero ya se han registrado éxitos: al menos 4 fincas comenzaron a cosechar y comercializar con éxito sus primeros frutos (principalmente almendras), encontrando interesantes vías para aportar valor añadido.
- Tendencias en el crecimiento del arbolado: a partir de las encuestas realizadas se puede considerar un éxito el establecimiento del arbolado (maderables y frutales) frente a los extremos climáticos. Al menos 6 fincas reportaron tasas de supervivencia superiores al 90%. Destacan dos fincas maderables de nogal por su alto crecimiento.

Afecciones

- Integración del cultivo como abono verde por escasez de cosecha por sequías (2022-2023): hay 2 fincas que reportaron explícitamente haber segado e integrado sus cultivos (como la veza forrajera) al terreno como abono verde al no merecer la pena su recolección por los bajos rendimientos derivados de la sequía.
- Encharcamientos primaverales que impidieron siembras o pudrieron cosechas (2024): 2 fincas destacaron esta situación, indicando que el exceso de lluvias estropeó la cosecha en algunos rodales o hizo que el terreno estuviera demasiado plástico para que entrara la maquinaria, cancelando la siembra.
- Árboles en fase juvenil (sin producción): la i mayoría de los sistemas de nueva creación están en esta situación. Al menos 8 fincas documentan explícitamente en sus encuestas que sus producciones son iguales a cero porque el arbolado es demasiado joven para producir.
- Pérdida de fruto por heladas tardías: 2 fincas sufrieron este problema concreto, perdiendo parcial o totalmente sus cosechas de almendras debido a episodios de heladas primaverales.
- Estallido de frutos por exceso puntual de agua: este caso ocurrió en 1 finca, donde varias variedades de granados estallaron al no poder individualizarse el riego por goteo.

2.1.3 Plagas, enfermedades y daños

Gracias a las encuestas se puede hacer una recopilación de plagas, enfermedades y daños presentes en las fincas analizadas. Concretamente:

1. Presión y daños por fauna. La fauna (salvaje y ganadería en caso de las parcelas adehesadas con ganado) representa la amenaza física más destructiva en la fase de implantación de los sistemas agroforestales.

- Jabalíes, corzos y ciervos: un total de 9 fincas reportan daños severos provocados por fauna mayor, que incluyen el destrozo de mallas anti-hierba, rotura de protectores, daños en las ramas y desentierro de las raíces buscando humedad o alimento.
- Roedores: 3 fincas identifican ataques específicos de estos pequeños roedores al sistema radicular de los árboles jóvenes o a los cultivos de huerta lo que en algunos casos ha requerido el uso de trampas.
- Ganado: la mayoría de las fincas adehesadas con ganado reportan que sus propios animales destruyen los árboles si no hay protecciones robustas o si se les deja demasiado tiempo. Los cerdos desentierran y devoran las raíces, descortezan los troncos, y el ganado vacuno y ovino tumba los árboles o se come los brotes.

2. Enfermedades criptogámicas (hongos). Es el problema estrictamente sanitario más extendido, fuertemente condicionado por la humedad de la primavera y los encharcamientos en suelos arcillosos.

- Hongos en el arbolado: 8 fincas sufren enfermedades fúngicas o bacteriosis en sus árboles. Destaca especialmente la *Taphrina deformans* (abolladura o lepra) en especies de la familia de las rosáceas (como ciruelos o melocotoneros), *Venturia* spp., la "mancha ocre" en los almendros y el "ojo de pavo" en los olivos.
- Roya en cultivos herbáceos: 6 fincas reportan episodios de roya (como la roya amarilla) afectando específicamente a sus cosechas de cereales de invierno.
- Oídio y Mildiu en viña y huerta: 5 fincas tienen una lucha constante contra el oídio y el mildiu, requiriendo en su mayoría tratamientos autorizados en agricultura ecológica, como el azufre, el cobre o el jabón potásico.

3. Plagas de insectos. Aunque su presencia está menos generalizada que la de los hongos, los insectos causan pérdidas muy agudas en los frutos cuando aparecen.

- Insectos mermadores de cosecha: 5 fincas reportan ataques de insectos específicos. Los casos incluyen mosca *Drosophila suzukii* (que arruinó el 100% de una cosecha de cerezas), la Tuta, el pulgón, la mariposa *Zeuzera* (taladrando perales), la *Cicadelle bubale*, y el gusano de la uva.
- Adicionalmente, en la horticultura se destaca el problema con los limacos (babosas/caracoles), combatiéndose de forma biológica mediante la introducción de patos en la parcela.

4. Competencia severa por adventicias

- Invasión de malas hierbas: 2 fincas destacan explícitamente el ahogo de la plantación o la competencia extrema generada por malas hierbas muy agresivas como la caña de provenza, zarzas o la juncia (*Cyperus rotundus*), que limitan el desarrollo del sistema.

Aunque la lista de plagas, enfermedades y daños físicos parece extensa, **la visión general de las personas encuestadas es muy positiva y resiliente frente a los problemas fitosanitarios**, aunque se mantiene realista y negativa respecto a los daños físicos por animales.

Las encuestas revelan que, fitosanitariamente, las personas productoras tienen una visión muy positiva, ya que confían en que el propio sistema agroforestal que mitiga las plagas y hongos mejor que un monocultivo, por el aumento de biodiversidad, la absorción del exceso de humedad de las cubiertas y también los árboles, las alelopatías. A continuación, se recopilan las opiniones y visiones mostradas por las personas encuestadas:

· Visión muy positiva: la biodiversidad como regulador natural.

La mayoría de las personas productoras con un enfoque ecológico o biodinámico opinan que el sistema mixto fomenta una autorregulación que hace innecesario el uso de químicos. Por ejemplo, en Bioo Rhony la agricultora valora que las barreras arbóreas favorecen la presencia de especies auxiliares del cultivo (insectos, pequeños mamíferos, reptiles) que luchan contra las plagas. O en Mas des Justes, donde la encargada opina que han constatado muy pocos estragos por plagas precisamente gracias a la rica biodiversidad presente en el lugar, y que enfermedades como el oídio y el mildiu se gestionan bien orgánicamente cuando no demasiado.

· Visión positiva: Sinergias y "efectos escudo" entre cultivos.

Varias de las personas encuestadas han comprobado que mezclar especies reduce las enfermedades o ahuyenta plagas de forma cruzada. Por ejemplo, en Barzalejos señalan que, aunque antes de poner los árboles sufrían de roya y tizón en el monocultivo de cereal, desde que implantaron el sistema silvoarable no han tenido incidencias fitosanitarias a reseñar. Además, opinan que las enfermedades por hongos en los árboles jóvenes se controlaron gracias a que el cultivo anual intercalar absorbía el exceso de humedad del suelo, previniendo los encharcamientos. O en San Felices, donde la propietaria opina que intercalar lavandín es una buena estrategia porque su olor ahuyenta eficazmente a los jabalíes de las preciadas encinas truferas, además de aportar materia orgánica y retener la humedad.

· Visión negativa

La visión negativa es minoritaria. Solo dos fincas opinan que volverían al monocultivo intensivo. En otras tres fincas tienen una visión negativa, pero plantean los errores cometidos para buscar alternativas y evitar repetir errores. Donde la visión se vuelve más negativa y supone un reto económico es en el control físico de los animales. El jabalí genera una gran frustración. En fincas como Belair Fumades, opinan que el mantenimiento de la valla eléctrica exige demasiado tiempo y esfuerzo, y que los jabalíes son tan insistentes que acaban entrando.

2.1.4 Gestión agrícola

La gestión agrícola y ganadera se analiza siguiendo cuatro bloques:

1. Maquinaria y preparación del suelo

- Transición a laboreo ligero o mínimo: al menos 6 fincas reportan haber abandonado el laboreo profundo (como el arado de vertedera) tras la fase previa a la plantación, pasando

a utilizar labores muy superficiales con gradas de discos, cultivadores ligeros o rotavator superficial, o incluso apostando por el "no laboreo" y la siembra directa.

- Adaptación obligada del tamaño de la maquinaria: al menos 3 fincas señalan como un obstáculo explícito el tamaño de los tractores convencionales y los aperos anchos. Estas explotaciones evidencian la tendencia de tener que reducir la potencia y anchura de la maquinaria o sufrir quejas constantes de los tractoristas subcontratados por la pérdida de maniobrabilidad.

2. Gestión del riego

- Instalación de riego localizado (goteo o microaspersión): es la tendencia principal para asegurar la viabilidad. Al menos 8 fincas han instalado infraestructuras fijas de goteo o microaspersión dedicadas exclusivamente a la línea del arbolado (dejando el cultivo herbáceo en secano).
- Riego móvil de apoyo (cubas): ante la falta de instalación fija, al menos 4 fincas mantienen la supervivencia de sus árboles aplicando riegos de apoyo estrictamente manuales durante los meses de verano, acoplando depósitos móviles o "cubas" de agua al tractor.
- Mantenimiento en secano estricto: al menos 4 fincas apostaron por mantener el sistema en secano tras el riego de implantación. En varios de estos casos la tendencia ha ido acompañada de episodios de alta mortalidad debido a las severas sequías recientes, e incluso ensayos alternativos (como el uso de depósitos de cartón Cocoon en alcorques) resultaron fallidos.
- Todas las fincas han necesitado de riegos en el primer año de plantación.

3. Podas y labores del arbolado

- Podas de formación recurrentes: Al estar la inmensa mayoría de los árboles en fase juvenil, al menos 13 fincas reportan que su única labor sobre el arbolado consiste en "podas de formación" (para elevar la cruz y permitir el paso de maquinaria, o para formar el vaso frutal).
- Épocas muy marcadas: la tendencia temporal es realizar estas podas casi exclusivamente en dos ventanas: a finales de invierno (enero/febrero) antes de que el árbol brote, o "en verde" en pleno verano (julio).

4. Tratamiento de plagas, enfermedades y fertilización

- Tratamientos ecológicos y control biológico: al menos 7 fincas documentan el uso exclusivo de métodos compatibles con la agricultura ecológica para plagas y hongos. Utilizan productos como sulfato de cobre, azufre, jabón potásico, extractos de plantas (purín de ortiga o tanaisie), o introducen control biológico directo (como el pastoreo de patos para eliminar limacos, o plantar lavandín para repeler jabalíes).
- Fertilización puramente orgánica o nula: el abandono del abono mineral sintético es casi total. Al menos 8 fincas fertilizan utilizando únicamente enmiendas orgánicas (purín de cerdo o vacuno, gallinaza, estiércol de caballo/oveja o compost). Además, otras 4 fincas indican que, por el momento, no aplican ningún tipo de fertilización, confiando en la fijación de nitrógeno natural de sus cultivos leguminosos.
- Alta dependencia de barreras físicas (pastores eléctricos): ante el fracaso de otros métodos, al menos 6 fincas asumen como una labor agrícola crítica la instalación y el costoso

mantenimiento continuo (desbroce perimetral, recarga de baterías) de mallas ganaderas o pastores eléctricos para frenar la entrada destructiva de jabalíes, corzos y ciervos.

5. Gestión ganadera

- La gestión ganadera es sencilla: para evitar que los animales destruyan el suelo y los árboles, la tendencia es dividir el terreno en parques y rotar al ganado frecuentemente. Por ejemplo, cambiando a los cerdos cada mes y dejando descansar el parque unos 3 meses. En el caso de las ovejas el ganado rota entre cercados para la recuperación del pasto y evitar también compactación del terreno.
- Gran inversión: controlar el ganado requiere de inversión en vallados fijos, mallas o pastores eléctricos, y la construcción de cabañas de madera con suelo aislado para proteger a los animales de la lluvia y el barro

2.1.5 Producción económica neta

A partir del bloque de producción económica neta de las encuestas, se extraen tendencias sobre la viabilidad, los costes y las estrategias comerciales de estos sistemas. A continuación, se presenta el análisis económico agrupado por tendencias.

1. Alta inversión inicial y dependencia de ayudas

- Elevados costes de implantación: al menos 11 fincas reportan gastos muy significativos en la compra de árboles, protectores y labores de preparación del terreno (subsolado, ahoyado, etc.). Los costes de instalación documentados varían drásticamente desde los 1.500 €/ha hasta inversiones totales que superan los 5.000 €/ha en proyectos a gran escala.
- Dependencia de subvenciones: para hacer frente a esta barrera económica inicial o sostener el déficit de los primeros años, al menos 3 fincas indican explícitamente que dependen de subvenciones públicas (regionales o europeas como LEADER), fundaciones o mecenazgos para que el proyecto sea viable.

2. Retraso en la rentabilidad del estrato arbóreo

- Ingresos nulos por arbolado juvenil: la tendencia más absoluta es la falta de retornos económicos inmediatos por parte de los árboles. Al menos 12 fincas declaran no tener ingresos del arbolado porque las plantaciones se encuentran en fase juvenil y aún no producen fruto ni madera.
- Existen excepciones altamente rentables a corto/medio plazo, destacando la trufa (ingresos crecientes) o la venta incipiente de almendras y aromáticas, aunque son minoría.

3. Impacto de la inflación en los insumos vs. estrategias de ahorro

- Aumento generalizado de costes operativos: al menos 4 fincas denuncian explícitamente en el apartado de circunstancias económicas una subida dramática en los costes de producción, afectando gravemente el precio del gasoil agrícola y los abonos. Esta subida de costes también fue resaltada por varias fincas adehesadas con ganado, que remarcaron el impacto

negativo que han sufrido por el encarecimiento de los piensos. Aunque el pasto, las bellotas y el ramón (hojas y ramas verdes de los árboles) complementan la dieta, las fincas porcinas y lecheras dependen de grandes aportes diarios de pienso concentrado de alta calidad (cebada, trigo, lino).

- Economía circular y reducción de gastos: como respuesta a la inflación, al menos 4 fincas muestran una tendencia a reducir sus costes de insumos a cero. Lo logran guardando su propia simiente de un año para otro, reciclando tubos protectores antiguos, o utilizando restos de poda municipales gratuitos como abono. Una alternativa en cuanto a ganadería, para reducir gastos en piensos, es la plantación de matorrales forrajeros que resistan bien las sequías y que aporte más minerales a la dieta.

4. Tendencia hacia la comercialización en circuitos cortos

- Venta directa y eliminación de intermediarios: para maximizar el margen de beneficio de producciones a menudo menores o más complejas de gestionar, al menos 10 fincas apuestan fuertemente por canales cortos de comercialización. Las estrategias incluyen la venta directa en la propia explotación, mercados locales, acuerdos con restaurantes, tiendas especializadas (tipo Biocoop) y modelos de cestas por suscripción (AMAP). Buscan que el cliente final valore el sobreprecio ético y ecológico del producto agroforestal.

- En el caso de las fincas adehesadas con ganado también hay una tendencia a no vender en fresco a mayoristas, sino a realizar la transformación en la propia finca para obtener valor añadido, elaborando jamones, patés, embutidos secos o quesos. Además, hay una tendencia clara al asociacionismo y marcas de calidad. 4 de las 6 fincas (Porcqueno, Mas del Fray, Chloé Lefort y La Belle Roche) están vinculadas a la marca *"Baron des Cévennes"* (marca y asociación de productores de Occitania-Francia), lo que condiciona estrictamente su manejo y el tipo de alimentación. Otra finca (Juangato en Zamora) comercializa bajo la IGP *Carne de Ávila*. En general comercializan en nichos de alto valor mediante venta directa, tiendas locales y/o ecológicas, mercados locales o bajo los precios de las marcas exclusivas

5. Penalizaciones burocráticas y fiscales

- Pérdida de renta por cuestiones administrativas: al menos 3 fincas reportan un impacto económico negativo derivado puramente de la burocracia institucional. Al plantar árboles y cambiar la calificación del uso del suelo de "agrícola" a "forestal", los propietarios perdieron su derecho a cobrar las ayudas directas de la PAC. Adicionalmente, se denuncia que el sistema mixto ha provocado una revalorización catastral aumentando el impuesto sobre bienes inmuebles (IBI), asfixiando económicamente al productor.

2.1.6 Caracterización e interacciones de los sistemas silvopastorales (fincas adehesadas)

Las fincas clasificadas como C3.1 presentan una complejidad mayor debido a la integración activa de la ganadería con el estrato arbolado. Las dimensiones de estas explotaciones varían de manera notable (alcanzando hasta las 180 ha), si bien la gestión operativa diaria recae habitualmente en un equipo reducido de 1 o 2 personas (salvo en aquellas fincas que integran obradores o queserías artesanales).

- **Cabaña ganadera y objetivos agroforestales:** 4 de las 7 explotaciones analizadas centran su actividad principal en la cría de cerdo de raza Duroc, seleccionada por su rusticidad para el manejo en régimen extensivo al aire libre y su aptitud para la transformación charcutera. Las 3 fincas restantes, una de ellas con vacuno de carne (raza Avileña), otra con ganado ovino y por último otra con vacuno de leche, equino, caprino y aviar. La introducción del estrato arbóreo (principalmente encinas, robles, fresnos y moreras de rápido crecimiento) persigue un triple objetivo: provisión de frutos, producción forrajera de ramón y provisión de bienestar animal. Cabe destacar la opción de introducción matorrales forrajeros (*Rhamnus alaternus* y *Phyllirea angustifolia*) realizada en la finca St Esteve d'en Bas.

- **Sinergias en el bienestar animal:** A nivel sanitario, el sistema silvopastoril en régimen extensivo demuestra un desempeño excelente. Las encuestas reflejan una incidencia prácticamente nula de patologías graves, registrándose de forma marginal procesos respiratorios estacionales vinculados a la oscilación térmica invernal o traumatismos menores derivados de la orografía física de las parcelas.

- **El ganado como vector de daños mecánicos:** El principal reto de cohabitación radica en que el ganado se comporta temporalmente como el principal factor de daño para el arbolado joven. Todas las fincas reportan daños mecánicos severos si no se implementan exclusiones físicas robustas: el ganado porcino compromete el sistema radicular mediante el hozado y produce descortezamientos, mientras que el vacuno genera problemas por empuje o defoliación de brotes terminales.

2.2 Conclusiones del seguimiento básico

En conjunto, los resultados muestran una valoración favorable del modelo agroforestal, especialmente por su potencial de rentabilidad y resiliencia a largo plazo. Aunque algunas fincas atraviesan actualmente retos operativos e institucionales, la expectativa predominante es que, una vez que los árboles entren en producción, el sistema pueda igualar o superar la rentabilidad del monocultivo, al combinar dos fuentes de ingresos en una misma superficie. Además, el hecho de que 9 fincas declaren preferir explícitamente el modelo agroforestal por su resiliencia refuerza su interés como alternativa productiva más diversificada, estable y adaptada al futuro.

El análisis transversal del seguimiento básico de los sistemas demostrativos permite sintetizar las siguientes conclusiones clave sobre la viabilidad y el desempeño del modelo agroforestal.

Impactos positivos:

1. **Mejora de las condiciones microclimáticas.** En un contexto de calentamiento global, los árboles aportan un alivio térmico vital en verano, en forma de sombra y frescor. En 8 entrevistas se confirma un efecto "escudo", donde las hileras arbóreas amortiguan temperaturas extremas y vientos. Esta protección es esencial para el buen desarrollo de cultivos sensibles a la exposición solar directa (como ocurre en las huertas), pero también hace mucho más soportables las condiciones laborales del propio personal durante el verano y olas de calor. También es mayor beneficio en las fincas adehesadas con ganado. En estos casos el arbolado es una protección térmica para los animales, no solo por la sombra en verano, sino también por el resguardo que ofrece del viento y la lluvia.

2. **Resiliencia hidrológica y del suelo.** El suelo se vuelve más resiliente frente a eventos climáticos extremos (tanto sequías como lluvias torrenciales). Además, los cultivos herbáceos y forrajeros iniciales pueden integrarse como abono verde, mejorando el suelo para los árboles. El sistema agroforestal demuestra una gestión hídrica superior al monocultivo según destacaron 5 personas entrevistadas. La cobertura vegetal y el sistema radicular permiten retener humedad en sequía y optimizar el drenaje en episodios de lluvias torrenciales, evitando el encharcamiento en suelos arcillosos. En dos fincas con pendiente, la infraestructura radicular de las hileras y arbustos frenó la escorrentía, actuando como un ancla física que preserva la capa fértil frente a lluvias intensas, resultando un control efectivo contra la erosión.

3. **Diversificación como seguro de rentabilidad.** La diversidad en la productividad (herbáceo-arbóreo) actúa como un mitigador de riesgos financieros, según 4 de las personas entrevistadas. Ante fenómenos climáticos que dañan una cosecha, la segunda línea productiva garantiza la supervivencia económica de la explotación.

4. **La importancia del uso de variedades rústicas y adaptadas.** Como estrategia de anticipación, en 4 fincas están implantando intencionadamente variedades más meridionales y rústicas para soportar mejor las futuras condiciones del cambio climático. La transición agroforestal está impulsando la selección de especies preparadas para el calentamiento global, destacando el éxito de frutales resistentes, aromáticas autóctonas y variedades de vid meridionales.

5. **Autosuficiencia forrajera.** En el caso de las fincas adehesadas con ganado, con el pasto natural más el arbolado o matorrales forrajeros necesitan la mitad de hectáreas para alimentar al ganado que en un monocultivo forrajero convencional.

Retos y limitaciones detectadas:

1. **Viabilidad financiera inicial y carga burocrática.** El principal obstáculo destacado por 11 de las fincas analizadas es el lucro cesante durante la fase juvenil del arbolado y los altos costes de implantación. Estos sistemas son extremadamente frágiles en sus primeros años. Las olas de calor prolongadas y las severas sequías sufridas han provocado niveles considerables de mortalidad por estrés hídrico en los plantones jóvenes que aún no tienen raíces profundas. Por consiguiente, las personas entrevistadas concluyen que el sistema agroforestal demuestra su verdadera capacidad de adaptación y sus efectos positivos sobre el clima solo una vez que la vegetación leñosa logra superar los primeros años de vida y se establece con éxito.

2. **Incompatibilidad con maquinaria convencional.** 10 de las personas entrevistadas detectaron pérdida de maniobrabilidad y rentabilidad a corto plazo asociada a la mecanización. Los árboles obligan a utilizar tractores más pequeños o hacer giros complejos, impidiendo el paso perpendicular, lo que encarece y ralentiza el trabajo. Esto obliga a dirigirse hacia el laboreo mínimo para no generar conflictos logísticos con operarios externos debido a la dificultad de maniobra.

3. **Dependencia del riego.** El secano estricto se muestra inviable para el arraigo inicial. Once de las fincas han requerido infraestructuras de riego localizado para asegurar la supervivencia, logrando así tasas de éxito superiores al 90% en el componente leñoso.

4. **Presión de la fauna salvaje.** Los daños por jabalíes y corzos representan una amenaza física constante según 8 de las personas entrevistadas, lo que ha llevado a que 5 de ellas realizaran una inversión imprevista y recurrente en mantenimiento de mallas y pastores eléctricos.

5. **Incompatibilidad temporal y espacial del ganado.** Se identifica como un error de diseño técnico recurrente la plantación de árboles en zonas de alta densidad de tránsito del ganado. En estos puntos, la concentración de deyecciones (orines y heces) y el sobrepisoteo provocan la anoxia radicular y la muerte del arbolado. Asimismo, se concluye que el ganado tiene que excluirse hasta que el arbolado alcance un estado de desarrollo que garantice su resistencia mecánica ante los animales (especialmente cerdos y caballos) o bien tener una fuerte protección.

3. Seguimiento avanzado

3.1 Resultados del seguimiento avanzado

3.1.1 Sistemas de seguimiento avanzado

El seguimiento avanzado adoptó un enfoque adaptativo, crucial para reflejar la complejidad de los sistemas agroforestales mediterráneos. Esta flexibilidad se materializó en el ajuste de las unidades de muestreo y las variables medidas a la realidad específica de cada sistema demostrativo, que abarca desde cultivos extensivos de secano hasta horticultura intensiva de regadío.

A diferencia de un entorno de ensayo controlado, el proyecto se centró en la obtención de datos bajo condiciones reales de explotación. Esta aproximación ha sido clave para identificar tanto las sinergias críticas (como el efecto nodriza de los árboles sobre las leguminosas) como los retos de competencia, cuya intensidad varía según el manejo (ej. poda) y la distancia al arbolado.

Debido a la gran heterogeneidad de sistemas demostrativos, que incluyen rotaciones de cereales en secano, horticultura intensiva y plantas aromáticas, no es viable realizar una comparación lineal o agregada entre las diferentes parcelas. Esta diversidad es una consecuencia directa de la necesidad de adaptar el modelo agroforestal a las condiciones edafoclimáticas y comerciales únicas de cada explotación. Por ello, los resultados del seguimiento se presentan como estudios de caso individualizados, enfocando el análisis del rendimiento productivo en función de variables determinantes como la distancia a los árboles, el tipo de poda o el impacto microclimático. La tabla 3 muestra el resumen de las parcelas de seguimiento avanzado.

Tabla 3 Cultivos y arbolado presentes en las parcelas de seguimiento avanzado

Cultivo	Finca	Objetivo del arbolado	Especies arbóreas	Primer período vegetativo árboles	Marco plantación árboles (m)
Cereal	2.2A Can Pallot	Madera	Nogal y fresno	2014	18x4
	2.1D La Sola	Frutal y madera	Almendro, avellano, nogal	2021	10x5 (almendro y avellano); 10x10 (nogal)
	2.2E Marbanas	Frutal	Almendro	2014	12x5
Leguminosas	2.1D La Sola	Frutal y madera	Almendro, avellano, nogal	2021	10x5 (almendro y avellano); 10x10 (nogal)
	2.2E Marbanas	Frutal	Almendros	2014	12x5
Hortícolas	2.2H Terres de Roumassouze	Madera	Frutales	Varios	Varios
	2.1T Can Ramilans	Frutal	Albaricoque, peral, ciruelo, manzano	2022	16x5
Aromáticas	2.2B Camp de l'Ermengol	Madera	Nogal	2011	7x6

La tabla 4 muestra los principales climas y eventos meteorológicos de cada sistema de seguimiento avanzado.

Tabla 4 Resumen de las condiciones climáticas y meteorológicas en los periodos analizados

Emplazamiento de las parcelas	Tipo de clima	Eventos relevantes del periodo
Cataluña Central *2.2A Can Pallot* *2.2B Camp de l'Ermengol* *2.2T Can Ramilans*	Mediterráneo subhúmedo / continental.	Sequía extrema en 2022-2023; recuperación hídrica parcial en primavera de 2024
Meseta Norte *2.2D La Sola* *2.2E Marbanas*	Mediterráneo continental	Heladas tardías que afectaron a la floración del almendro y sequías estivales prolongadas
Sur de Francia *2.2H Terres de Roumassouze*	Mediterráneo con influencia marítima.	Olas de calor intensas y episodios de lluvias torrenciales puntuales

3.1.2 Parcela 2.2A Can Pallot

Esta parcela, localizada en Puig-Reig (Barcelona), tiene 3 condiciones experimentales: cultivo de cereal control (sin efecto de las hileras arboladas), cultivo de cereal a 2,5 m de la hilera de árboles (nogales y fresnos para madera) y cultivo de cereal a 4,5 m de la hilera de árboles.

La monitorización durante tres campañas (2022-2025) muestra una respuesta productiva marcada por la meteorología de cada año y, en menor medida, por la distancia a las hileras. Existe un gradiente de producción claro; el cultivo situado a 2,5 m de los árboles presenta rendimientos consistentemente inferiores al control (entre un 13% y un 25% menos), debido al sombreo que ejercen los árboles. En cambio, a una distancia de 4,5 m, que es aproximadamente la altura media de los árboles en 2025, la merma productiva respecto al monocultivo de cereal no es estadísticamente significativa (Tabla 5).

Tabla 5 Producción de cebada y trigo (media ± error estándar) en las cuatro campañas de seguimiento de Can Pallot. Los asteriscos indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.0001$), y las letras (a, b, c) indican la separación de medias según el test de Tukey. Tratamientos: 2.5m: sistema silvoarable; a 2,5 m al norte de la hilera arbolada; 4.5m: sistema silvoarable, a 4,5 m al norte de la hilera arbolada; Control: cultivo sin efecto de los árboles. Fuente: Maris et al (en prensa).*

Cultivo	Campaña	Tratamiento	Rendimiento en grano (kg ha-1)	Rendimiento en paja (kg ha-1)
Cebada	2021-22	2.5m	1.567 ± 107 b	2.113 ± 57 b
		Control	2.142 ± 99 a	2.867 ± 82 a
		Significancia	*	***
Trigo	2022-23	2.5m	1.351 ± 76 b	2.012 ± 136 b
		4.5m	1.542 ± 61 ab	2.342 ± 72 ab
		Control	1.823 ± 134 a	2.564 ± 90 a
		Significancia	*	**
	2023-24	2.5m	2.203 ± 83 b	2.896 ± 73 b
		4.5m	2.330 ± 53 ab	3.174 ± 87 a
		Control	2.539 ± 51 a	3.313 ± 69 a
		Significancia	*	**
	2024-25	2.5m	3.499 ± 123 b	3.339 ± 101 b
		4.5m	4.239 ± 116 ab	5.342 ± 106 a
		Control	4.374 ± 238 a	5.055 ± 343 a
		Significancia	*	*

Al cierre de 2025, el 5% de los árboles presentan un estado vegetativo vivo y vigoroso. Un 19% muestra problemas vegetativos y un 6% daños por fauna (Figura 1).

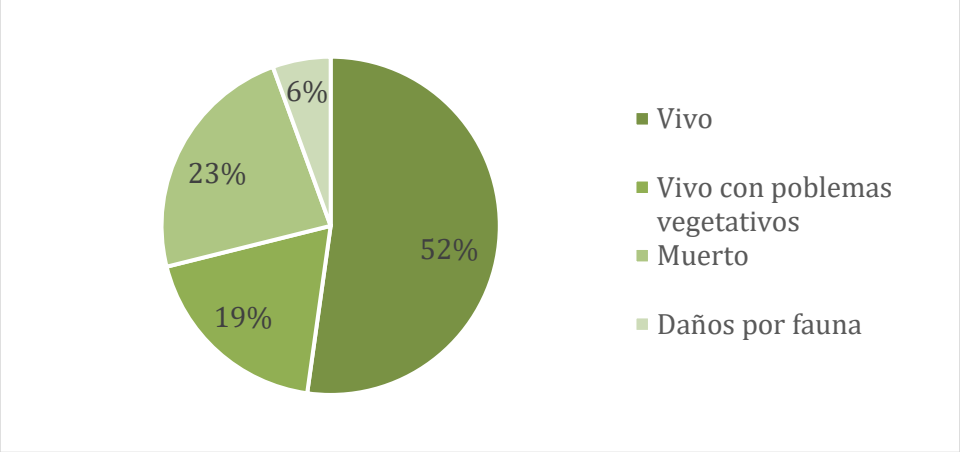


Figura 1 Estado vegetativo del arbolado de la parcela 2.2A Can Pallot

Los árboles vivos muestran un crecimiento sostenido. El diámetro normal ha evolucionado de los 47 mm (2022) a los 61 mm (2024), mientras que la altura media supera los 470 cm el último año (Figura 2).

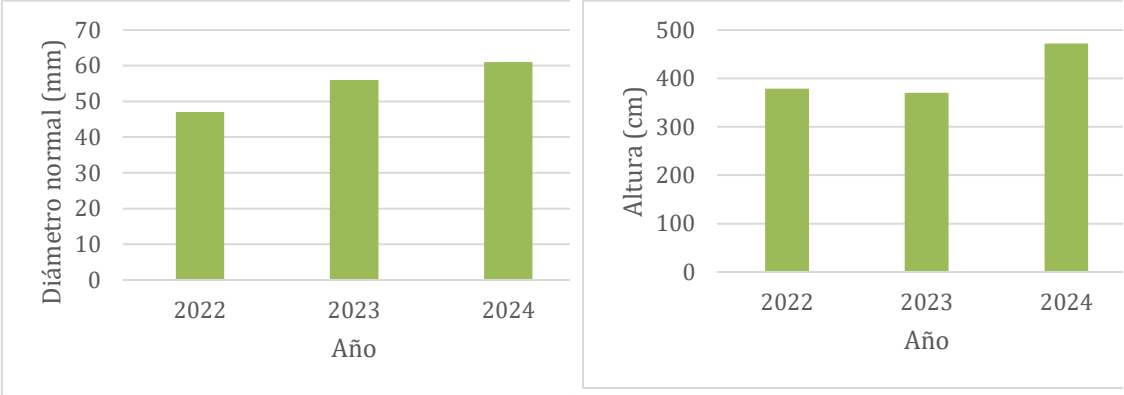


Figura 2 Valores medios del diámetro normal (mm) (izquierda) y altura (cm) (derecha) del arbolado de la parcela 2.2A Can Pallot

3.1.3 Parcela 2.2B Camp de l'Ermengol

Esta parcela, localizada en Sagàs (Barcelona), tiene dos condiciones experimentales para la melisa (monocultivo vs. combinada con nogales para madera de calidad) y dos condiciones más para los nogales (monocultivo vs. combinados con melisa).

Los datos de biomasa de las plantas aromáticas recogida durante las campañas 2022-2024, y que complementan los datos de años previos, reflejan una interacción compleja entre el estrato arbóreo y el cultivo de melisa: los dos primeros años, en los que los árboles tenían 8 y 9 años, respectivamente, no se observa una diferencia significativa entre tratamientos. Sin embargo, a partir del año 10 de los árboles (2020), el efecto del sombreo es cada vez más negativo, reduciéndose

progresiva y notablemente la producción de melisa en condiciones agroforestales, en comparación con el tratamiento control. Estos resultados muestran cómo el sombreo ejercido por los árboles es excesivo, por lo que debe plantearse un cambio de cultivo, por otro más tolerante a la sombra, o bien realizar una clara intensa en los nogales para aumentar la disponibilidad de luz para el cultivo asociado.

Tabla 6 Medias marginales estimadas [intervalos de confianza del 95 %] de la biomasa seca (t/ha/aprovechamiento) de melisa en sistema agroforestal y de monocultivo. Las medias se han obtenido a partir de modelos lineales de efectos mixtos que incluyen el tratamiento, el año y su interacción como efectos fijos, y el punto de muestreo como efecto aleatorio. Los asteriscos indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (: p < 0.05; **: p < 0.01; ***: p < 0.0001), y*

Año	Melisa agroforestal	Melisa monocultivo
2018	1,77 [1,49; 2,08]	1,72 [1,43; 2,03]
2019	1,47 [1,22; 1,74]	1,57 [1,30; 1,86]
2020	0,94 [0,75; 1,16]	1,66 [1,38; 1,97]**
2022	0,67 [0,52; 0,84]	1,50 [1,27; 1,75]***
2023	0,36 [0,25; 0,48]	1,19 [1,00; 1,41]***
2024	0,19 [0,07; 0,32]	0,97 [0,75; 1,22]***

Por su parte, el componente leñoso muestra un buen desarrollo independientemente de su combinación o no con melisa. El sistema presenta una de las tasas de éxito más altas del proyecto, con un 88% de los nogales en estado "Vivo y vigoroso". Solo un 1% de mortalidad y un 7% de daños por fauna han sido registrados (figura 6).

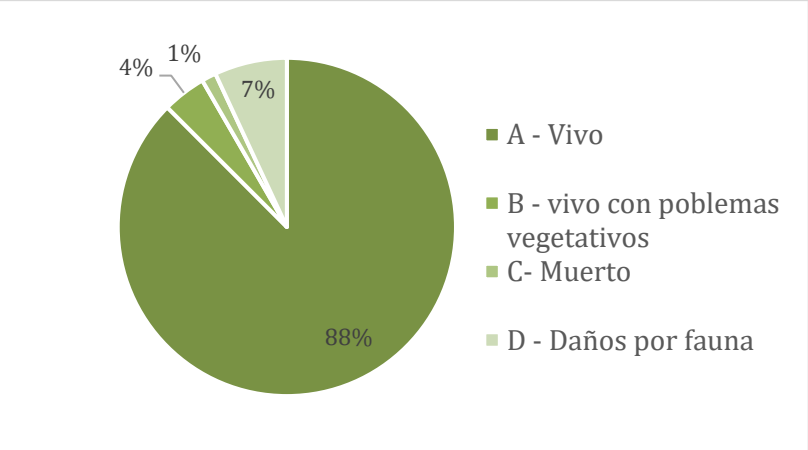


Figura 6 Estado vegetativo del arbolado de la parcela 2.2B Camp de l'Ermengol

En cuanto al crecimiento, los nogales mostraron en los primeros años un efecto positivo de estar combinados con plantas aromáticas (salvia, durante los 7 primeros años del ensayo) pero desde entonces las tasas de crecimiento de los nogales agroforestales y de los nogales control discurren en paralelo. Las tasas de crecimiento anual son notables para esta especie (1,5 cm/año en diámetro y 72 cm/año en altura), considerando la extensividad de la gestión. La ausencia de diferencias entre tratamientos sugiere que la combinación ha sido bien diseñada para el caso del nogal (figura 7).

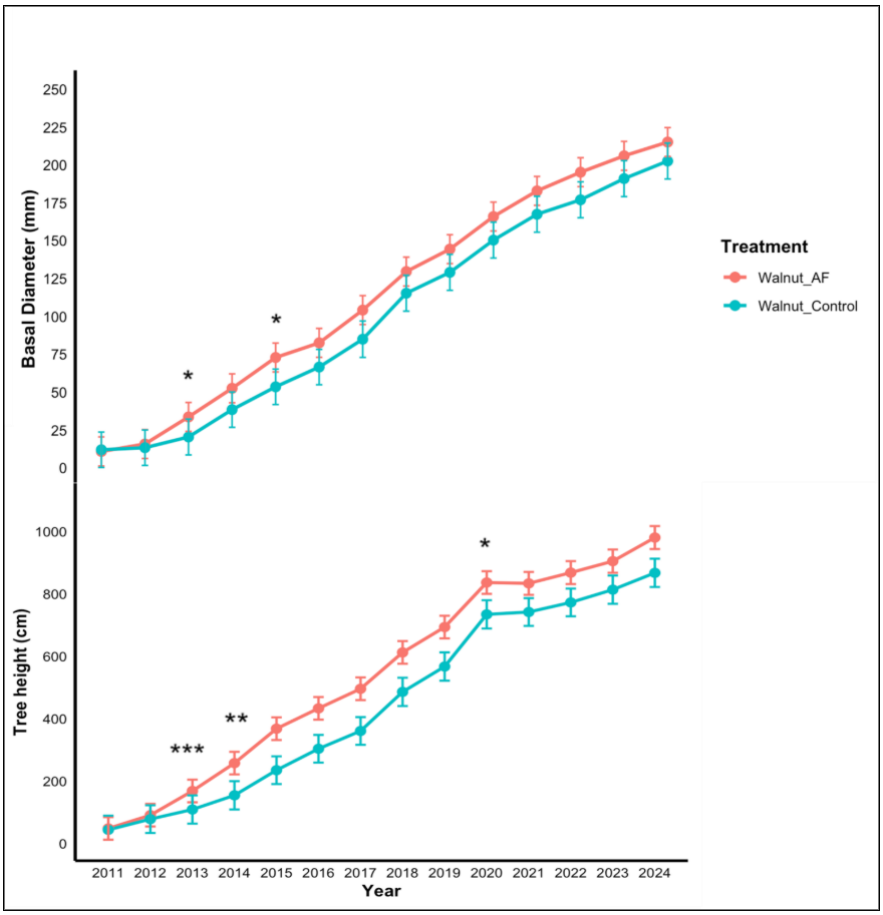


Figura 7 Valores medios del diámetro normal (mm) y altura (cm) del arbolado de la parcela 2.2B Camp de l'Ermengol, desde su plantación. Los asteriscos indican diferencias significativas en la tasa de crecimiento en el año indicado. Fuente: Nyi Aung et al (en prens

3.1.4 Parcela 2.1 D La Sola

Esta parcela localizada en el municipio de Revenga de Campos (Palencia) tiene 3 condiciones experimentales: cultivo de cereal control, cultivo de cereal 2 m de la hilera de árboles (almendros, avellanos y nogales) y cultivo de cereal a 4,5 m de a hilera de árboles.

La producción en esta zona de la Meseta Norte refleja la capacidad del sistema para alternar especies según la campaña, aunque con variaciones significativas en función de la cercanía al árbol.

Se han monitorizado tres cultivos distintos: cebada (2023), garbanzo (2024) y trigo (2025). Tanto en la cebada como en el trigo, la producción a 4,5 m es prácticamente idéntica al control (testigo), lo que valida la viabilidad del sistema agroforestal a esa distancia. A los 2 m, se observa una reducción moderada en la cebada, pero, sin embargo, el trigo (2025) no se vio tan afectado por la cercanía al arbolado, alcanzando niveles muy próximos al control. El cultivo de garbanzo (2024) mostró una mayor sensibilidad a la proximidad del arbolado, con una producción a 2 m sensiblemente inferior a la del control. Esto sugiere que las leguminosas en este emplazamiento pueden experimentar una competencia más aguda por recursos hídricos en años secos (Figura 8).

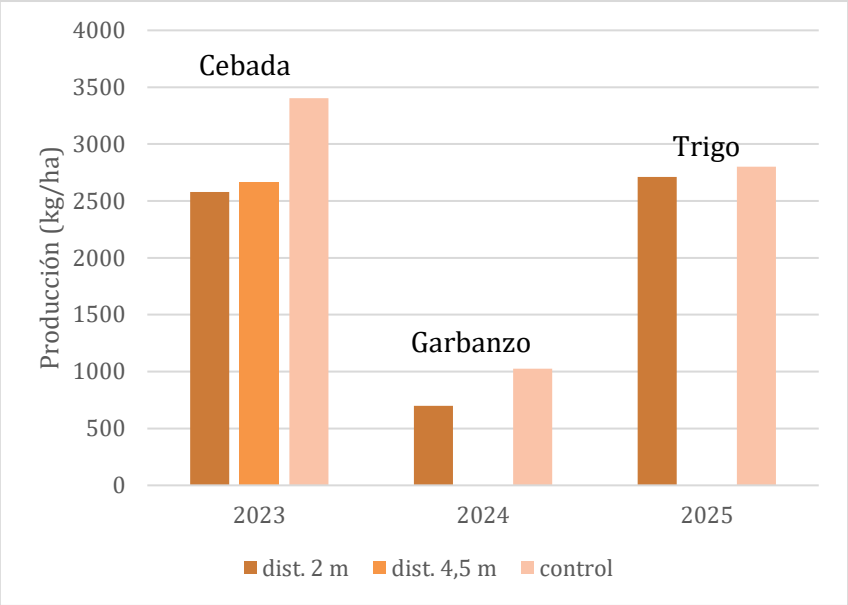
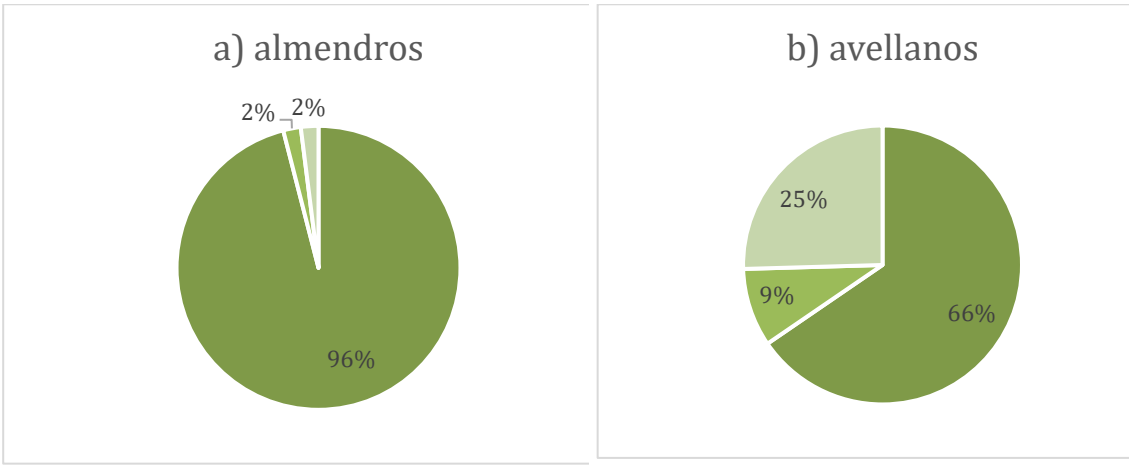


Figura 8 Producción de cebada, garbanzos y trigo (dependiendo del año) (kg/ha) en la parcela 2.1 La Sola

A pesar del buen estado general, se han reportado ataques puntuales de hongos (mancha ocre en almendros) y presión de fauna silvestre, retos que han sido gestionados mediante el mantenimiento de protectores y tratamientos compatibles con la agricultura ecológica.

La parcela destaca por un excelente manejo sanitario, con índices de supervivencia superiores a la media del proyecto. Los almendros presentan un éxito sobresaliente, con un 96% de los ejemplares clasificados como "vigorosos y sanos". Los nogales muestran una gran resiliencia, con un 87% de pies sanos y un 13% con problemas vegetativos menores, sin registrarse mortalidad. Por último, los avellanos son la especie más sensible en este entorno, con un 25% de mortalidad, evidenciando la dificultad de implantar esta especie en condiciones de meseta sin riegos de apoyo constantes (figura 9).



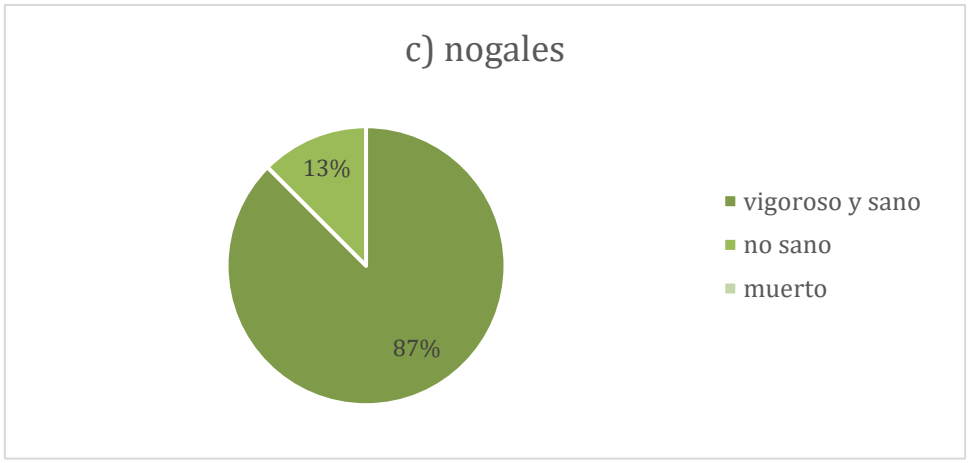


Figura 9 Estado vegetativo del arbolado de la parcela 2.1 D La Sola: a) almendros, b) avellanos y c) nogales

El crecimiento en diámetro es constante en las tres especies, destacando el almendro, que ha duplicado su grosor medio entre 2023 y 2025. En cuanto a la altura, tanto almendros como nogales superan ya los 150 cm de media, consolidando la estructura del sistema (figura 10).

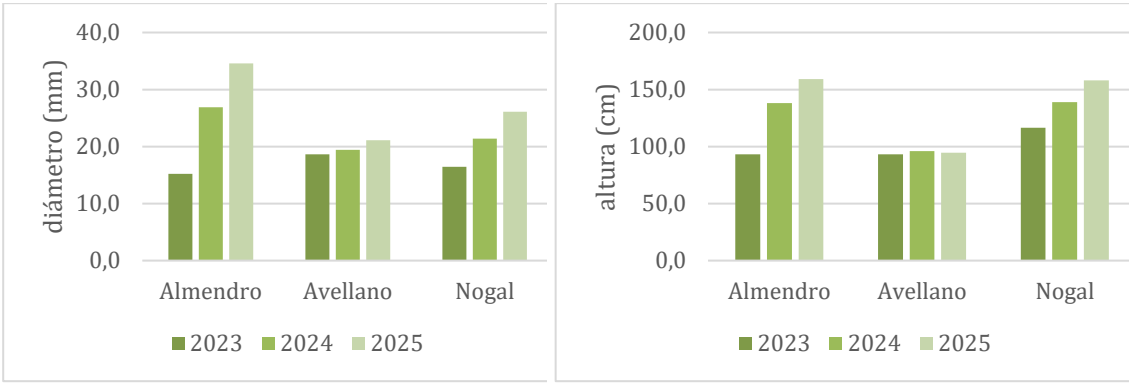


Figura 10 Valores medios del diámetro normal (mm) (izquierda) y altura (cm) (derecha) del arbolado de la parcela 2.1D La Sola

3.1.5 Parcela 2.2E Marbanas

Esta parcela localizada en Zamora tiene 3 condiciones experimentales: cultivo control (sin arbolado), cultivo a 2 m de la hilera de árboles (almendros) y cultivo a 4,5 m de a hilera de árboles. Los cultivos fueron yeros (leguminosa) en el 2023 y 2024 y cebada (cereal) en el 2025.

A diferencia de otras parcelas, Marbanas muestra que la integración de árboles puede, en determinadas condiciones, mejorar el rendimiento del cultivo herbáceo. Durante las campañas 2023 y 2024, la producción de yeros fue consistentemente superior en la zona de influencia del árbol (2 m) en comparación con el control en campo abierto. En 2024, el rendimiento a 2 m alcanzó los 417 kg/ha frente a los 382 kg/ha del control, sugiriendo que la hilera arbórea actuó como un manto protector que redujo la evaporación.

En la campaña 2025, la cebada también mostró un rendimiento superior cerca de la hilera (544 kg/ha a 2 m) respecto al control (522 kg/ha), consolidando la tendencia de mejora microclimática en este emplazamiento (figura 11). Estos datos son clave para demostrar que, en climas extremadamente áridos como el de Zamora, la sombra parcial y la reducción del viento que ofrecen los árboles compensan sobradamente la competencia por el agua.

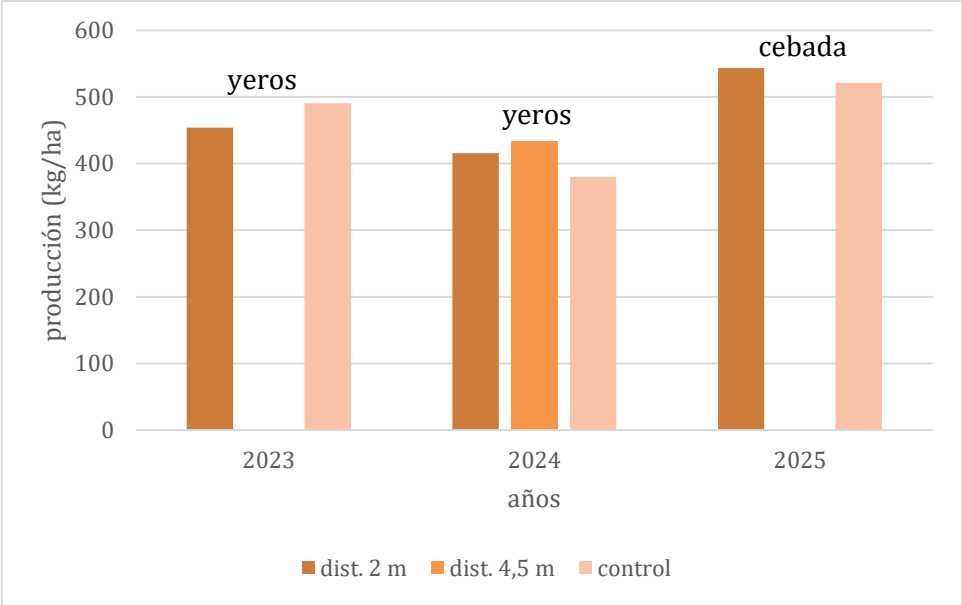


Figura 11 Producción de yeros y cebada (kg/ha), dependiendo del año, bajo distintas condiciones experimentales (control, a 2 m del arbolado y a 4,5 m del arbolado) en la parcela 2.2E Marbanas

El componente arbóreo en Marbanas destaca por ser uno de los más vigorosos y sanos de toda la red demostrativa. La práctica totalidad de los almendros (59 de 60 ejemplares) se encuentran en un estado "vigoroso y sano", con una tasa de mortalidad residual de solo un individuo (figura 12).

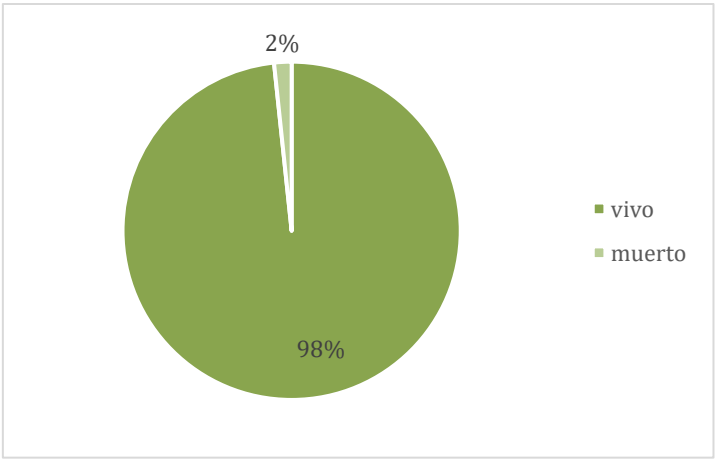


Figura 12 Estado vegetativo del arbolado en la parcela 2.2E Marbanas

Se observa un salto biométrico en cuanto al crecimiento en diámetro. El diámetro normal de los árboles ha pasado de una media de 23 mm en 2023 a casi 80 mm en 2025, lo que indica una adaptación óptima al suelo y al manejo de la finca. Ocurre parecido con la altura, el arbolado ha consolidado su estructura superando los 270 cm de media (figura 13).

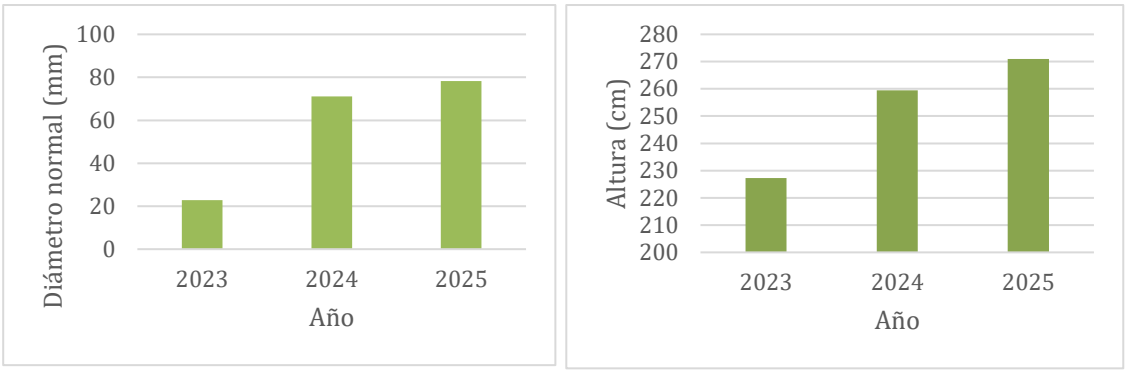


Figura 23 Valores medios del diámetro normal (mm) (izquierda) y altura (cm) (derecha) del arbolado de la parcela 2.2E Marbanas

3.1.6 Parcela 2.2 H Terres de Roumassouze

Esta parcela localizada en Vézénobres (Francia), tiene 3 condiciones experimentales en función de la poda de los árboles: control, árboles podados y árboles trasmochados. Se tomaron medidas a 5 distancias y se cultivaron lechugas (en 2023) y patatas (en 2023 y 2024) (figura 14).

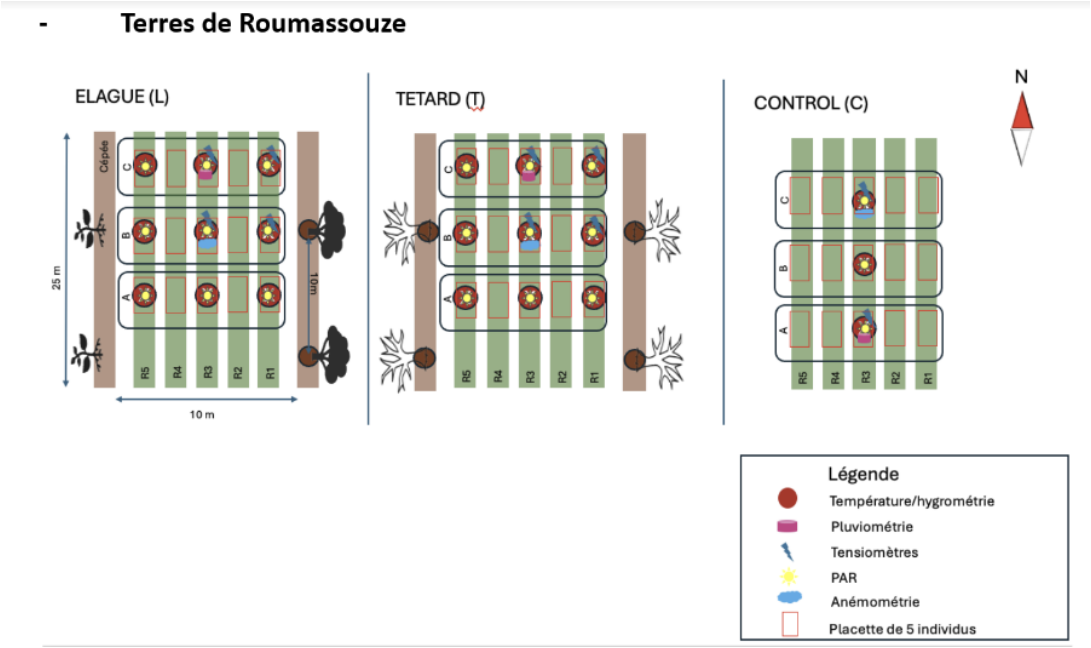


Figura 34 Esquema del diseño de la parcela 2.2 H Terres de Roumassouze. Elague = poda; Tetard = trasmochado.

El seguimiento realizado en 2023 y 2024 sobre cultivos de lechuga y patata revela cómo el manejo del árbol condiciona directamente la cosecha. Se observa una diferencia en la producción según el tratamiento del arbolado. En 2023, el sistema con árboles trasmochados permitió una producción de patata superior (aprox. 330 kg/ha) en comparación con el sistema de árboles podados (aprox. 125 kg/ha). En todas las campañas, el control sin arbolado mantuvo los rendimientos más altos (superando los 400 kg/ha), lo que confirma que, en horticultura intensiva, la competencia por la luz es un factor limitante crítico. En 2024, la brecha entre los sistemas podados y trasmochados se redujo, estabilizándose ambos en torno a los 250 kg/ha, lo que sugiere que la recuperación de la masa foliar tras la poda vuelve a igualar los niveles de competencia (figura 15).

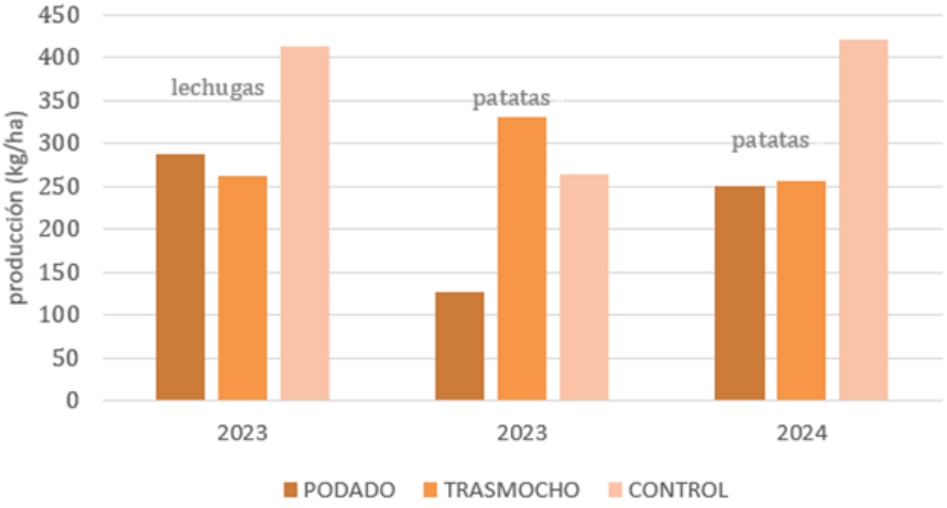


Figura 45 Producción de lechugas y patatas (kg/ha) en dos años y bajo diferentes podas del arbolado (control, podado y trasmochado) en la parcela 2.2 H Terres de Roumassouze

Los datos del componente leñoso, centrados en la campaña 2023, muestran el impacto estructural de los diferentes manejos aplicados. El grupo control (sin poda intensiva) presenta el mayor desarrollo, con un diámetro medio de 29,8 cm y una altura de 20,1 m. Como es previsible, los árboles sometidos a trasmochado presentan las dimensiones más reducidas (diámetro de 24,6 cm y altura de 16,3 m), ya que la energía del árbol se redirige a la rebrotación tras el corte severo (tabla 7).

Tabla 7 Diámetro medio (cm) y altura media (cm) del arbolado de la parcela 2.2 H Terres de Roumassouze

Condición experimental	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)
Control (sin poda)	29,8	20,1
Árbol podado	28,3	18,8
Árbol trasmocho	24,6	16,3

Los datos demuestran que, mediante técnicas de poda como el trasmocho, es posible reducir la competencia lumínica y mejorar significativamente el rendimiento de cultivos sensibles (como la patata) en comparación con un manejo forestal estándar.

3.1.7 Parcela 2.1T Can Ramilans

Esta parcela localizada en Massanes (Girona), tiene 2 condiciones experimentales: cultivo de tomates control y cultivo de tomates con frutales (albaricoque, ciruelo, manzano y peral) donde se realizó seguimiento los años 2024 y 2025. Para interpretar los resultados de estudio hay que evitar la comparación entre años, ya que la rotación anual de cultivos hace que los tomates monitorizados no han sido ni de la misma variedad entre años ni han tenido efecto de los mismos árboles entre 2024 y 2025 a causa de cambiar el cultivo de lugar. En 2024 se tomaron medidas de tomates de la variedad "Pometa" y en 2025 de la variedad "Negre de Crimea".

En 2024 se tomaron 33 tomateras de muestra y en 2025 51 tomateras, donde se han recopilado los siguientes datos: peso, número de tomates por planta y diámetro del fruto (tabla 8).

Tabla 8 Mediciones de seguimiento realizadas en el cultivo de tomates (variedad variedad "Pometa" en 2024 y variedad "Negre de Crimea" en 2025): valores medios de peso medio de tomates maduros, número de tomates por planta y diámetro medio de tomates maduros.

Año	Situación experimental	Peso medio tomates maduros (g)	Nº tomates por planta	Diámetro medio tomates maduros (cm)
2024	Control	26,0	14,1	5,8
	Agroforestal	24,8	13,2	6,4
2025	Control	80,0	5,8	7,1
	Agroforestal	125,8	5,2	7,7

Gráficamente se puede ver las diferencias significativas entre tomates control y agroforestales mediante la prueba de Wilcoxon, una herramienta estadística no paramétrica que se utiliza para comparar dos muestras relacionadas (Figura 16). En 2024 el peso medio de los tomates agroforestales es de 24,8 g y de los tomates control de 26,0 g, siendo estas diferencias no significativas estadísticamente (p = 0,6928). En cambio, en 2025 el peso medio de los tomates control fue de 80,0 g y el de los agroforestales 125,79 g, siendo la diferencia estadísticamente significativa (p = 0,0169).

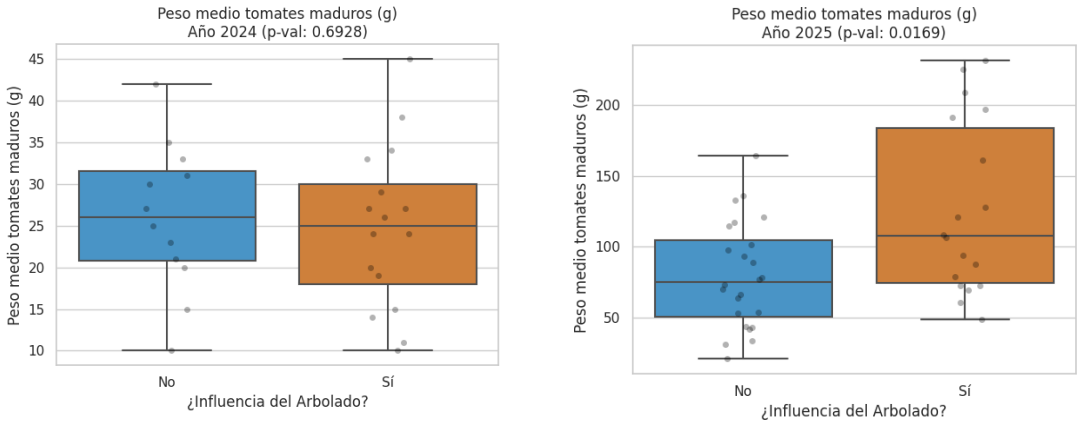


Figura 56 Box-plots de la prueba de Wilcoxon para los datos de los años 2024 (izquierda) y 2025 (derecha) del peso medio de los tomates maduros.

En cuanto al número de tomates por planta, ni en 2024 ni en 2025 aparecen diferencias significativas entre los tomates control y agroforestales (figura 17).

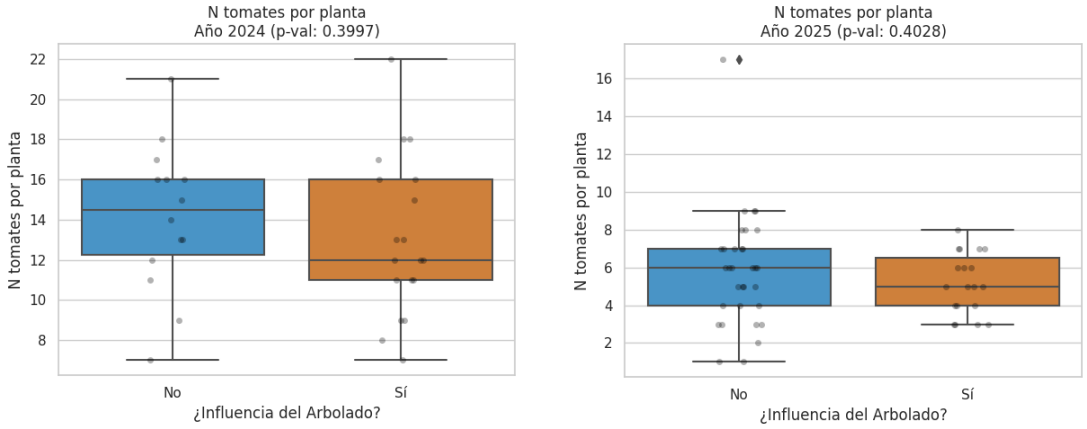


Figura 67 Box-plots de la prueba de Wilcoxon para los datos de los años 2024 (izquierda) y 2025 (derecha) del número medio de los tomates maduros.

Por último, en relación al diámetro medio de los tomates en 2025, los producidos en condiciones agroforestales presentan un valor superior a los tomates de la parcela control (7,7 frente a 7,1), siendo la diferencia estadísticamente significativa (p = 0,0229). En cambio, en 2024, a pesar de tener una media más diferenciada entre grupos, con 5,8 cm los control y 6,4 cm los agroforestales, la diferencias no fueron estadísticamente significativas (p = 0,1305) (Figura 18).

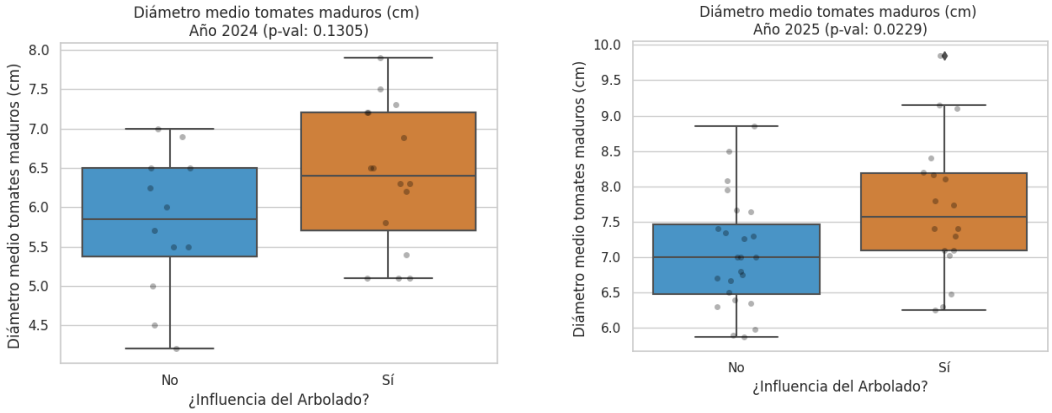


Figura 78 Box-plots de la prueba de Wilcoxon para los datos de los años 2024 (izquierda) y 2025 (derecha) del diámetro medio de los tomates maduros.

También se analizaron los defectos de los tomates, clasificando cada fruto por su tipología de defectos. El defecto más abundante ha sido la presencia de grietas, seguido de la combinación de dos o más defectos en el mismo fruto. En el año 2025 se ha observado el mayor número de frutos con defectos (30), siendo los tomates control los más afectados (16) (tabla 9).

Tabla 9 Defectos observados en los tomates en los años 2024 y 2025, en condiciones control y agroforestales.

	2024		2025	
Defectos	**Control**	**Agroforestal**	**Control**	**Agroforestal**

Grietas	4	4	12	11
Manchas		4		
Picaduras de pájaros		2		
Otros	1		1	
Varios	3		3	3
Total	**8**	**10**	**16**	**14**

La parcela cuenta con cuatro especies frutales (albaricoque, ciruelo, manzano y peral). El manzano es la especie más exitosa, con un 79% de los ejemplares vivos y sanos. El albaricoque muestra un buen comportamiento con un 70% de pies vivos. Por último, el ciruelo y el peral son las especies que han mostrado mayores dificultades, con un 31% y un 50% de individuos con problemas vegetativos, respectivamente. También se han reportado daños mecánicos significativos ("daños por maquinaria"), especialmente en el ciruelo (19%), lo que evidencia la dificultad de maniobrar en espacios hortícolas intensivos con tractores convencionales (Figura 19).

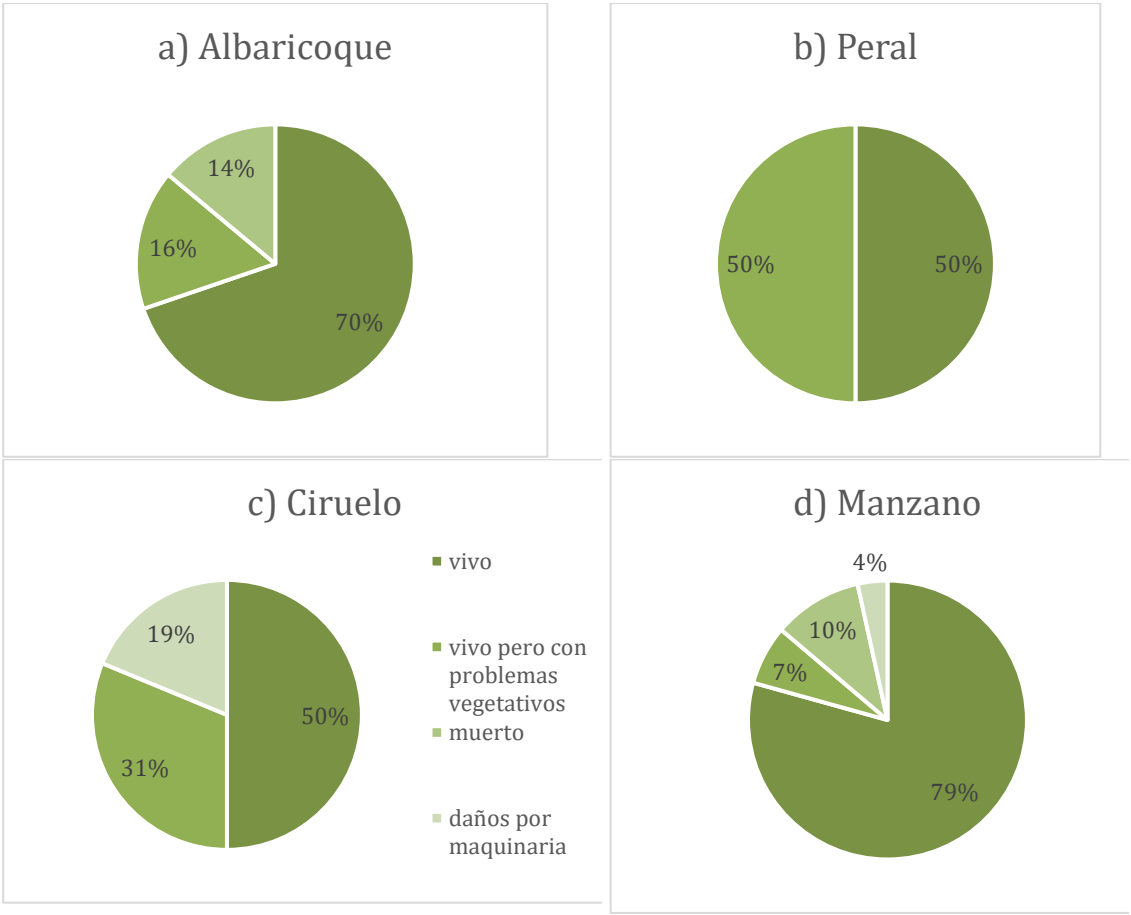


Figura 89 Estado vegetativo del arbolado de la parcela 2.1T Can Ramilans

Debido a la rotación de cultivos en la finca, el cultivo de tomates no se situó en el mismo lugar los dos años analizados, por lo tanto, los frutales medidos no son tampoco los mismos, lo que impide comparar el crecimiento entre años. En el muestreo de 2024, el albaricoque y el manzano destacaron como las especies de mayor porte, superando ambos los 2,1 m de altura media, mientras que el ciruelo presentó el diámetro de base más robusto (3,5 cm) de la muestra. Por su parte, el peral registró los valores más discretos en ambas dimensiones durante este periodo. Por otro lado, en los resultados de 2025, el manzano y el peral se posicionaron como los ejemplares más altos (2,2 m y 2,1 m respectivamente), siendo el manzano también el que mostró el mayor diámetro basal (3,1 cm).

En este segundo año, el ciruelo arrojó los valores medios más bajos de la muestra, con una altura de 1,9 m y un diámetro de 2,1 cm, situándose por detrás del albaricoque en desarrollo físico (tabla 10).

Tabla 10 Dimensiones del arbolado los años 2024 y 2025: número de individuos, altura media y diámetro basal.

	2024			2025		
Especie	**Nº individuos**	**Altura (m)**	**Diámetro basal (cm)**	**Nº individuos**	**Altura (m)**	**Diámetro basal (cm)**
Albaricoque	21	2,21	3,37	22	2,03	2,80
Ciruelo	1	1,64	3,50	15	1,86	2,14
Manzano	20	2,14	3,31	9	,2.19	3,09
Peral	8	1,74	3,13	4	2,13	2,63
Total	**50**	**2,09**	**3,31**	**50**	**2,01**	**2,64**

3.2 Principales conclusiones del seguimiento avanzado

Estos resultados corresponden a **sistemas en estadios iniciales de desarrollo**, cuya madurez estructural se alcanzará en el medio y largo plazo, por lo que sería muy valioso continuar con el seguimiento de estas parcelas. Hasta ahora, los resultados obtenidos durante el periodo de seguimiento permiten extraer las siguientes conclusiones sobre la implementación de sistemas agroforestales en el arco mediterráneo.

A. Adaptación al cambio climático: efecto del arbolado

La integración de árboles en sistemas agrícolas tiene un efecto variable y dinámico, fuertemente dependiente de las dimensiones de éstos, del tipo de cultivo, de la distancia entre la hilera arbolada y el cultivo y de la meteorología del año. Una tendencia general es el efecto neutro o positivo en el caso de árboles jóvenes, aunque cuando el sombreo es importante (a 2,5 m de la hilera arbolada en Puig-Reig, bajo los nogales en Sagàs o Roumassouze) el efecto sobre el rendimiento agrícola puede comenzar a ser negativo, especialmente en los años más favorables meteorológicamente.

B. Viabilidad del componente leñoso

En las zonas de seguimiento, destacan el almendro y el nogal como las especies más resilientes en la fase de implantación, con tasas de supervivencia superiores al 88%. Por el contrario, especies como el avellano o el fresno muestran una peor aclimatación a las parcelas durante sus primeros años.

En general, los árboles parecen desarrollarse sin un efecto notable positivo o negativo del cultivo asociado. Así, el arbolado supone un capital creciente para la explotación, diversificando los ingresos y mitigando el riesgo económico derivado de la volatilidad de las cosechas anuales.

C. El manejo del arbolado como herramienta de reducción de la competencia

La gestión de la competencia por la luz y el agua son factores clave en el mantenimiento de sistemas agroforestales. Intervenciones como las podas tempranas o de alta intensidad (como el trasmochado) han demostrado ser eficaces para optimizar la entrada de radiación solar en cultivos sensibles, maximizando así la producción global del sistema. Otro factor esencial es el diseño de la

plantación, que es clave para regular la interacción entre los componentes agrícola y leñoso a lo largo del tiempo.