

Manual sobre la
**biodiversidad
en sistemas
silvoarables**





¿Qué significa realmente integrar biodiversidad en los sistemas agrícolas? ¿Es suficiente con añadir árboles a un cultivo? ¿O se trata de repensar de forma más profunda cómo producimos, gestionamos y convivimos con los procesos ecológicos?

Los sistemas silvoarables —la combinación deliberada de árboles y cultivos— no son únicamente una técnica productiva más. Representan una forma distinta de entender la agricultura, en la que la biodiversidad deja de ser un elemento externo o decorativo para convertirse en un componente funcional del sistema. A través de la diversificación estructural y la integración de procesos ecológicos, estos sistemas permiten avanzar hacia modelos agrarios más sostenibles.

Sin embargo, incorporar biodiversidad no es un proceso automático. No basta con plantar árboles o mantener márgenes vegetales. Los beneficios dependen del diseño del sistema, de las especies utilizadas, de las prácticas de manejo y, sobre todo, del contexto en el que se implantan. En determinados casos, incluso pueden surgir conflictos o compromisos entre producción y conservación que deben ser comprendidos y gestionados.

En este sentido, los sistemas silvoarables pueden parecer, a primera vista, una vuelta a formas tradicionales de agricultura. Durante siglos, los paisajes agrarios mediterráneos han sido mosaicos complejos donde árboles, cultivos y ganadería coexistían generando diversidad y estabilidad. No se trata de reproducir estos sistemas del pasado, sino de reinterpretarlos a la luz del conocimiento científico actual, la innovación técnica y los retos contemporáneos, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad o la dependencia de insumos externos.



Este manual se enmarca en el proyecto LIFE AgroForAdapt y tiene como objetivo aportar una visión aplicada, y basada en la evidencia sobre el papel, del potencial de los sistemas silvoarables en la conservación de la biodiversidad. A lo largo de sus capítulos se presentan los fundamentos ecológicos de estos sistemas, ejemplos concretos, recomendaciones de diseño y gestión, así como metodologías de seguimiento adaptadas a contextos principalmente mediterráneos.

Especialmente relevante es la idea de que la biodiversidad no debe evaluarse únicamente en términos de cantidad de especies, sino también de su función, su singularidad, su rareza y su contribución al funcionamiento del sistema agrario. Este enfoque permite superar visiones simplificadas y avanzar hacia una gestión más estratégica y adaptativa.

Los sistemas silvoarables requieren tiempo. Los árboles crecen lentamente, las interacciones ecológicas se consolidan progresivamente y los beneficios pueden tardar años en manifestarse. Pero precisamente esta dimensión temporal ofrece una oportunidad: aprender, ajustar y mejorar continuamente la gestión, reforzando el papel activo del agricultor como gestor del sistema.

Esperamos que este manual sirva como herramienta útil para técnicos, gestores y agricultores interesados en integrar la biodiversidad en sus explotaciones, y que contribuya a impulsar sistemas agrarios más diversos, resilientes y capaces de afrontar los retos actuales.

Cita recomendada

Sardà Palomera, F., Giralt, D., Vicens, N., Càrdenas, C., Liagre, F., Santiuste Pérez, D. y Coello, J. (2026). Manual sobre la biodiversitat en sistemes silvoarables. LIFE AgroForAdapt. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació 56 p.

Edición

© Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació
1ª edición, mayo de 2026

Autoría

Francesc Sardà Palomera

Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC)

David Giralt

Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC)

Narcís Vicens

Diputació de Girona

Carla Càrdenas

Fundación Emys

Fabien Liagre

Agroof, SCOP

Diego Santiuste Pérez

Agresta, S. Coop

Jaime Coello

Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC)

Autoría de las fotografías y figuras

Los autores, salvo cuando se indique lo contrario.

Maquetación

Iglésies Associats - iglesies.com

Impresión

Imprempta Pagès SL

Depósito legal

B 12061-2026

Agradecimientos

A quienes han implantado sistemas agroforestales en sus fincas, a menudo contra viento y marea. Al equipo de AgroForAdapt, incluyendo su comité asesor.

Declaración del uso de inteligencia artificial

En la creación y edición de este manual se ha utilizado inteligencia artificial generativa para mejorar el acabado de los elementos visuales. Todo el contenido ha sido verificado y editado por los autores, quienes asumen la responsabilidad final.

Aviso legal

Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons del tipo reconocimiento de autoría, usos no comerciales y compartir igual. La licencia puede consultarse en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>



Índice

1	Los sistemas silvoarables	9
	1.1. Definición y características generales	10
	1.2. Fundamentos ecológicos y funcionales	12
	1.3. Principales tipologías y formas de implantación	15
	1.4. Importancia en el contexto mediterráneo	18
2	La biodiversidad en los sistemas silvoarables	21
	2.1. Importancia ecológica y funciones clave de la biodiversidad	22
	2.2. Ejemplos de sistemas silvoarables beneficiosos para la biodiversidad	24
3	Buenas prácticas para promover la biodiversidad en sistemas silvoarables	29
4	Seguimiento de la biodiversidad en sistemas silvoarables	33
	4.1. Objetivos y enfoque general	34
	4.2. Fundamento de los sistemas silvoarables	36
	4.3. Seguimientos de la biodiversidad en el proyecto LIFE AgroForAdapt	40
5	Conclusiones y propuestas para el futuro	47
	5.1. Principales conclusiones	48
	5.2. Propuestas de futuro	48
	Bibliografía	50



1

Los sistemas silvoarables

En este capítulo se presentan los sistemas silvoarables, su definición y sus principales características. Se explican los fundamentos ecológicos que determinan su funcionamiento, así como las diferentes tipologías y formas de implantación. También se contextualiza su papel estratégico en la agricultura mediterránea.



1.1. Definición y características generales

El proyecto LIFE AgroForAdapt define el sistema agroforestal como la práctica de combinar deliberadamente vegetación leñosa (árboles o arbustos) con sistemas agrícolas y/o ganaderos para generar beneficios derivados de sus interacciones ecológicas y económicas. Al menos un 5% de la superficie del sistema está ocupado por las copas de la vegetación leñosa cuando esta alcanza su pleno desarrollo, y al menos un tercio de la superficie está ocupado por el componente agrícola y/o ganadero.

Cuando el sistema agroforestal incluye un componente leñoso y uno agrícola se denomina sistema silvoarable o agrosilvicultura. A efectos de este manual, se adopta la definición siguiente:

Un sistema silvoarable es una práctica agroforestal en la que se combina deliberadamente vegetación leñosa (árboles o arbustos) con cultivos agrícolas para generar beneficios ecológicos, económicos y sociales derivados de sus interacciones. Al menos un 5% de la superficie del sistema está ocupado por las copas de la vegetación leñosa en su fase de madurez, y al menos un tercio de la superficie corresponde al componente agrícola.

Esta configuración permite aprovechar la complementariedad entre ambos componentes (agrícola y leñoso), favoreciendo sinergias productivas y ecológicas relacionadas con el uso eficiente de la luz, el agua y los nutrientes, la modulación del microclima y la provisión de refugio y recursos para la fauna auxiliar, especialmente los polinizadores y los organismos implicados en el control biológico de plagas. Los sistemas silvoarables pueden establecerse tanto a partir de un sistema agrícola previo como mediante la incorporación del componente agrícola en sistemas leñosos. En función de la disposición espacial de los componentes, se distinguen dos tipos principales:

- Componentes intercalados por hileras o bandas regulares (*alley cropping*, por su denominación en inglés), que generan una interacción estrecha y continua entre árboles y cultivos.
- Vegetación leñosa dispuesta en el perímetro de un terreno agrícola, formando márgenes leñosos, cortavientos, cercas vivas o plantaciones perimetrales.

Siempre que se cumplan los umbrales mínimos de representatividad de cada componente definidos anteriormente, ambos tipos de sistemas generan interacciones ecológicas directas entre árboles y cultivos.

Imagen 1. Ejemplo de sistema silvoarable a escala de parcela, en el que la combinación de cultivos y líneas de arbolado permite diversificar la estructura del hábitat y generar microambientes favorables para la fauna y la flora asociadas.



Existen otras disposiciones agroforestales que no se abordan en este manual, como la vegetación leñosa distribuida de forma irregular (árboles dispersos o en pequeños grupos) o la alternancia de parcelas leñosas y agrícolas a escala de paisaje, que responden a lógicas de gestión diferentes.

Los sistemas silvoarables pueden establecerse y analizarse en distintas escalas espaciales:

- Escala de parcela (imagen 1), en la que los cultivos y los árboles coexisten en la misma superficie.
- Escala de finca (imagen 2), en la que los árboles y los cultivos se distribuyen en diferentes parcelas dentro de una misma unidad productiva, manteniendo relaciones funcionales entre sí.

- Escala de paisaje (imagen 3), en la que ambos componentes forman un mosaico agroforestal a partir de parcelas complementarias.

Este manual pone el foco en los sistemas silvoarables establecidos a escala de parcela, ya que es en esta escala en la que se producen de forma más directa y gestionable las interacciones ecológicas entre componentes, como la competencia y la complementariedad en el uso de la luz, el agua y los nutrientes, o la provisión de hábitat para la fauna auxiliar.

En el marco del proyecto LIFE AgroForAdapt se ha elaborado, asimismo, un manual técnico específico (Coello et al., 2026) centrado en el diseño, la implantación y la gestión de sistemas silvoarables, que amplía y desarrolla con mayor detalle los aspectos prácticos que este capítulo aborda de forma introductoria.



Imagen 3. Vista a escala de paisaje de un territorio con presencia de sistemas silvoarables, en el que las franjas de arbolado, los márgenes y el arbolado disperso contribuyen a la conectividad ecológica y a la heterogeneidad del mosaico agroforestal.

Imagen 2. Sistema silvoarable a escala de finca, mostrando la integración funcional entre diferentes parcelas agroforestales y otros elementos del mosaico agrícola, tales como márgenes, setos o zonas de vegetación natural.



1.2. Fundamentos ecológicos y funcionales

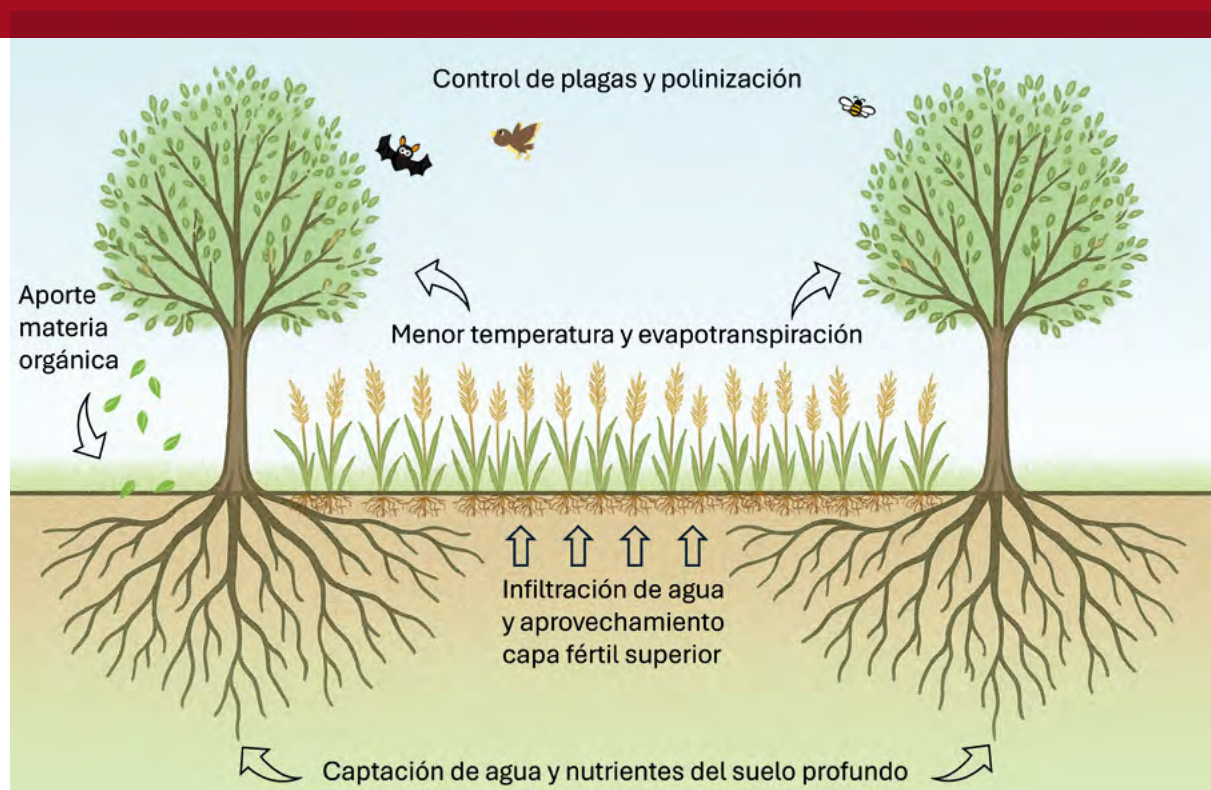
El principio fundamental de los sistemas silvoarables es la complementariedad entre los componentes agrícola y leñoso. Esta complementariedad se puede dar tanto en el espacio como en el tiempo, y permite un uso más eficiente de los recursos naturales (luz, agua y nutrientes), así como una mayor estabilidad ecológica y productiva (figura 1).

Complementariedad espacial: las copas y las raíces de los árboles y los cultivos ocupan distintos estratos del suelo y del aire, optimizando la captación de luz y recursos del suelo.

Complementariedad temporal: los ciclos de actividad vegetativa de las especies son diferentes (por ejemplo, cultivos de invierno frente a árboles de hoja caduca), lo que prolonga el período vegetativo total del sistema.

Interacciones ecológicas: la presencia de árboles puede mejorar el microclima en el que crece el cultivo (más húmedo gracias a la menor exposición al viento y al sol), reducir la erosión, aumentar la infiltración del agua, mejorar los ciclos de nutrientes y ofrecer refugio a la fauna auxiliar (aves o murciélagos, entre otros), si bien el sombreado puede dar lugar a una reducción parcial de la productividad.

Figura 1. Esquema conceptual que muestra la complementariedad entre árboles y cultivos en el espacio (raíces y copas) y las principales interacciones entre árboles y cultivos.



Los beneficios observados en la literatura científica y en las experiencias del proyecto LIFE AgroForAdapt confirman que los sistemas silvoarables pueden mejorar simultáneamente la producción y los resultados ambientales de las explotaciones agrícolas. Estos efectos no son automáticos: dependen del diseño del sistema, de las especies utilizadas, de las prácticas de gestión y del contexto ambiental en el que se implanten; además, algunos beneficios pueden tardar años en ser evidentes. Entre los efectos más relevantes destacan:

- **Mayor productividad global**, derivada de las complementariedades y las interacciones predominantemente positivas entre componentes. La coexistencia de cultivos y árboles permite un aprovechamiento más eficiente de la luz, el agua y los nutrientes, de modo que la producción combinada suele superar a la de los sistemas separados (*overyielding*).
- **Mayor estabilidad productiva y menor vulnerabilidad frente a sequías**, heladas y eventos meteorológicos extremos, gracias a la capacidad de los árboles para atemperar el microclima: reducen la velocidad del viento, amortiguan las variaciones térmicas y mejoran la retención de humedad del suelo.
- **Mejora del suelo**, tanto en su estructura como en su fertilidad y contenido de materia orgánica. La hojarasca, las raíces, la menor alteración del suelo alrededor del arbolado y la mayor actividad biológica aumentan la estabilidad de los agregados y la capacidad de infiltración.
- **Reducción de la erosión y la escorrentía superficial**, al incrementar, diversificar y hacer perenne la cobertura vegetal y las redes de raíces. Esto disminuye la pérdida de nutrientes y sedimentos, filtra los lixiviados agrícolas y mejora la calidad del agua.

- **Incremento de la biodiversidad funcional**, fundamental para el control biológico de plagas. Los elementos leñosos aportan refugios, alimento y continuidad espacial a numerosas especies de fauna auxiliar.
- **Fijación adicional de carbono en biomasa y suelo**, contribuyendo tanto a la mitigación del cambio climático como a la mejora del balance de carbono de la finca.

En conjunto, la magnitud de estos beneficios está condicionada por el equilibrio entre diseño, manejo y entorno local.

Además de sus efectos sobre la biodiversidad, los sistemas silvoarables pueden mantener la productividad agrícola sin comprometer los servicios ecológicos que sustentan el funcionamiento del sistema (Staton *et al.*, 2022a). También refuerzan la provisión de servicios de regulación, como la retención de nutrientes, la infiltración de agua o la estabilidad del suelo (Van Vooren *et al.*, 2017).

Desde el punto de vista económico, estos sistemas pueden mantener o incluso mejorar la rentabilidad global, aunque es habitual que se produzcan reducciones locales del rendimiento del cultivo anual en las proximidades de las filas de árboles. El balance final depende del diseño, el manejo, los costes laborales y las condiciones del mercado, así como del valor añadido asociado a productos agroforestales o a servicios ambientales.

Evaluaciones recientes en Europa central y meridional muestran que los sistemas agroforestales pueden presentar mejores indicadores integrados de sostenibilidad —ambiental, económica y social— que los monocultivos convencionales (Smith *et al.*, 2022), especialmente cuando combinan diversificación estructural, innovación y manejo adaptativo.

En Europa, las evaluaciones integradas del proyecto AGFORWARD y diversos estudios de referencia (Dupraz y Liagre, 2011; Mosquera-Losada *et al.*, 2009) muestran valores de la relación de superficie equivalente (RSE) superiores a 1. Este índice compara la productividad combinada del

componente agrícola y del componente leñoso con la que obtendrían produciéndose por separado en la misma superficie. Un RSE > 1 indica un uso más eficiente del suelo, ya que la producción conjunta supera a la suma de los monocultivos (figura 2).

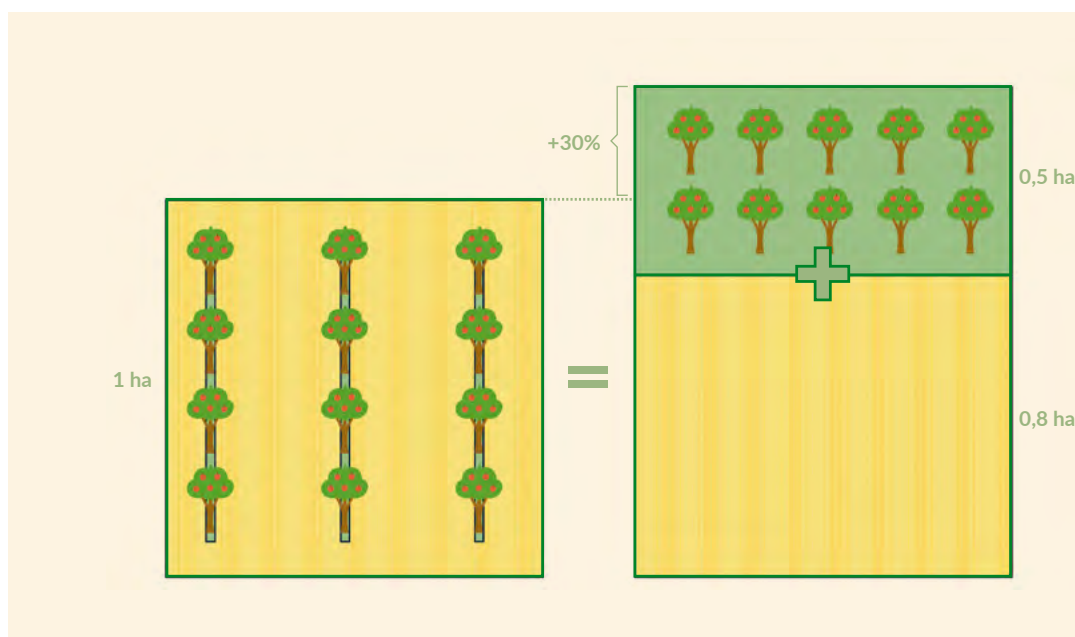


Figura 2. Representación gráfica de la relación de superficie equivalente (RSE): en esta hectárea agroforestal se obtiene, considerando toda la rotación de los árboles, una producción equivalente a la que se habría obtenido en 0,5 ha destinadas únicamente a frutales más la que se habría obtenido en 0,8 ha destinadas únicamente a cultivos agrícolas. En total, esta hectárea agroforestal produce el equivalente a 1,3 ha de monocultivo, por lo que la RSE es de 1,3.

Recuadro 1. Claves ecológicas y ambientales de los sistemas silvoarables

En la parcela: mejoran la estructura, la fertilidad y el contenido de carbono del suelo, reducen la erosión y favorecen la infiltración del agua.

En la finca: incrementan la eficiencia global del uso del suelo ($LER > 1$), diversifican los recursos tróficos y proporcionan refugio a polinizadores, aves y otras especies auxiliares.

En el paisaje: fortalecen la conectividad ecológica, aumentan el secuestro de carbono y refuerzan la resiliencia frente al cambio climático.

1.3. Principales tipologías y formas de implantación

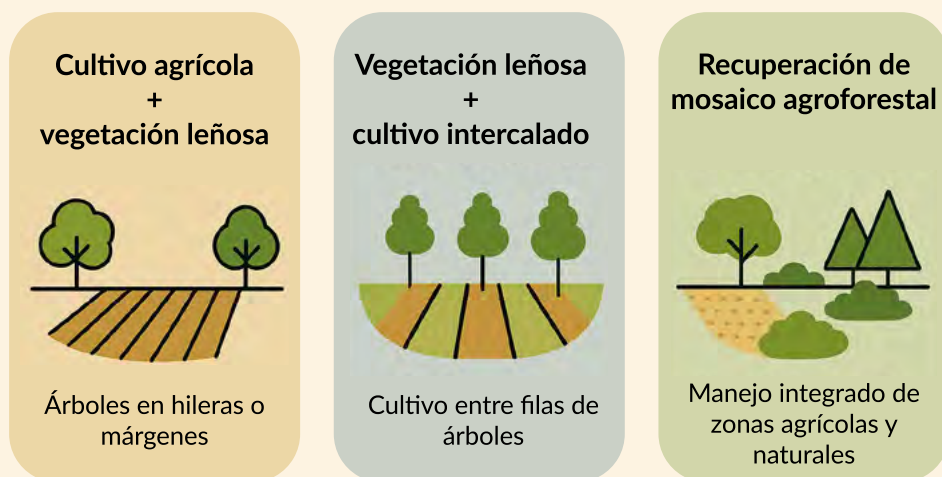
Los sistemas silvoarables pueden adoptar configuraciones muy diversas según el punto de partida de la finca, los objetivos productivos y las condiciones del entorno. Siguiendo la clasificación del Manual C8.1 de LIFE AgroForAdapt, distinguimos tres grandes vías de implantación en el contexto mediterráneo (figura 3):

- (A) Parcelas de cultivo a las que se añade un componente leñoso (en hileras o en márgenes),
- (B) Plantaciones leñosas a las que se incorporan cultivos intercalares, y
- (C) Recuperación o gestión agroforestal de terrenos abandonados formando mosaicos de vegetación leñosa y cultivos.

La tabla 1 resume las principales tipologías silvoarables, sus criterios de diseño y manejo, así como las implicaciones para la biodiversidad.

Además de por su origen y disposición de los componentes, los sistemas silvoarables también pueden clasificarse por los objetivos productivos preferentes de cada componente (ambos productivos, o bien uno productivo y otro auxiliar), así como por su carácter temporal (combinación a corto plazo) o permanente (los dos o más componentes coexisten durante toda la vida de la vegetación leñosa). En cualquier caso, se trata de sistemas que pueden ir evolucionando a lo largo del tiempo según se desarrolla el componente leñoso, y que, siempre que el diseño y la gestión sean adecuados, son adaptables a todo el abanico de especies agrícolas y leñosas compatibles con las condiciones de clima, suelo y estructura de la parcela.

Figura 3. Resumen de las principales configuraciones silvoarables según la situación de partida del terreno: A) cultivos con leñosas en hileras o márgenes; B) plantaciones leñosas con cultivos intercalados, y C) recuperación de terrenos abandonados o mosaicos agroforestales.



Tipo	Descripción sintética	Criterios de diseño y manejo	Potenciales implicaciones para la biodiversidad
A1) Terreno agrícola al que se añade un componente leñoso en el perímetro (setos o márgenes leñosos)	Setos, cortavientos, árboles aislados o franjas arbustivas perimetrales	• Producción combinada sin ocupar un gran espacio agrícola • Reducción de viento, erosión y deriva de fitosanitarios • Puesta en valor de microestaciones especialmente favorables (parte inferior del campo)	Hábitats clave para polinizadores y depredadores de plagas; aumento de conectividad
A2) Terreno agrícola al que se añade un componente leñoso en forma de hileras intercaladas (<i>alley cropping</i>)	Árboles o arbustos plantados en hileras, combinados con franjas amplias cultivadas que permiten la mecanización	• Orientación de hileras buscando minimizar la competencia por la luz y maximizar la protección frente al viento • Distancia entre hileras adaptada a la maquinaria agrícola	Incremento de estratos y microhábitats; refugio para aves y fauna auxiliar
B1) Plantación leñosa a la que se añade un cultivo intercalado (<i>intercropping</i>)	Plantación forestal o frutal en la que se intercala un cultivo agrícola en las calles situadas entre las hileras	• Adelantamiento de rentas los primeros años del sistema leñoso • Cultivos que aporten protección del suelo y la fertilidad • Manejo eficiente del agua, evitando encharcamientos en épocas húmedas y reteniendo la humedad en épocas secas	Mejora del suelo (MO, estructura), aumento de biodiversidad funcional
B2) Sistema leñoso no alineado establecido espontáneamente en antiguos terrenos agrarios abandonados, donde se quiere recuperar un uso agrícola o crear un mosaico agroforestal	Sistemas que combinan cultivos, pastos o plantaciones en terrenos abandonados o colonizados por matorral o bosque	• Creación de mosaicos heterogéneos • Reducción de la vulnerabilidad a incendios a escala de paisaje	Alto valor ecológico; transición entre hábitats; creación de ecotonos; conectividad y refugios permanentes

Tabla 1. Principales tipos de sistemas silvoarables mediterráneos.

Imagen 4.
*Cultivo agrícola al que se le
ha añadido recientemente
el componente leñoso
en hileras.*



Imagen 5.
*Labrado para
recuperar cultivos
entre leñosas no alienadas.*

Imagen 6.
*Cultivo agrícola con
márgenes leñosos
productivos (almendros).*



1.4. Importancia en el contexto mediterráneo

Los sistemas silvoarables representan una oportunidad estratégica para la agricultura mediterránea, en la que la escasez de agua, la erosión del suelo, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y los incendios limitan cada vez más la sostenibilidad productiva.

Al combinar vegetación leñosa y cultivos agrícolas, estos sistemas pueden aportar beneficios múltiples, particularmente relevantes en el contexto mediterráneo:

- **Productivos**, al diversificar cosechas y fuentes de ingreso, estabilizando la rentabilidad anual frente a la fuerte variabilidad climática típica del Mediterráneo.
- **Ecológicos**, al mejorar la estructura y la fertilidad del suelo y protegerlo frente a la erosión, reducir el riesgo de desertificación y mantener la actividad biológica incluso en períodos secos, gracias a la cobertura vegetal y al aporte de materia orgánica.
- **Hídricos**, al optimizar el uso del agua mediante raíces profundas que acceden a capas freáticas, mayor infiltración y una reducción de la evapotranspiración por el efecto de la sombra y del microclima que genera el arbolado.
- **Climáticos**, al favorecer tanto la mitigación (almacenamiento de carbono en suelos y biomasa) como la adaptación frente a eventos extremos como sequías, tormentas, olas de calor o incendios.
- **De biodiversidad**, al proporcionar márgenes, setos y arbolado disperso que actúan como corredores ecológicos y refugios permanentes para fauna auxiliar, polinizadores y depredadores naturales, reforzando los servicios ecosistémicos asociados.

- **Sociales y paisajísticos**, al conservar el carácter de mosaico del territorio mediterráneo, reforzar la identidad agraria local y ofrecer paisajes multifuncionales más resistentes a la degradación.

En conjunto, los sistemas silvoarables destacan en el Mediterráneo por su capacidad de adaptación y resiliencia, aprovechando de forma más eficiente los recursos limitados y manteniendo funciones ecológicas esenciales en condiciones adversas.

Recuadro 2. Evidencias europeas sobre los sistemas silvoarables

Diversos proyectos europeos como, por ejemplo, AGFORWARD, AFINET o AGROMIX, y, más recientemente, LIFE AgroForAdapt, han demostrado que los sistemas silvoarables bien diseñados y gestionados pueden ser una herramienta eficaz de adaptación al cambio climático y de promoción de paisajes agrarios multifuncionales.

En definitiva, los sistemas silvoarables permiten avanzar hacia un modelo de agricultura mediterránea más resiliente y sostenible, capaz de integrar la producción con la conservación y el bienestar social (figura 4).

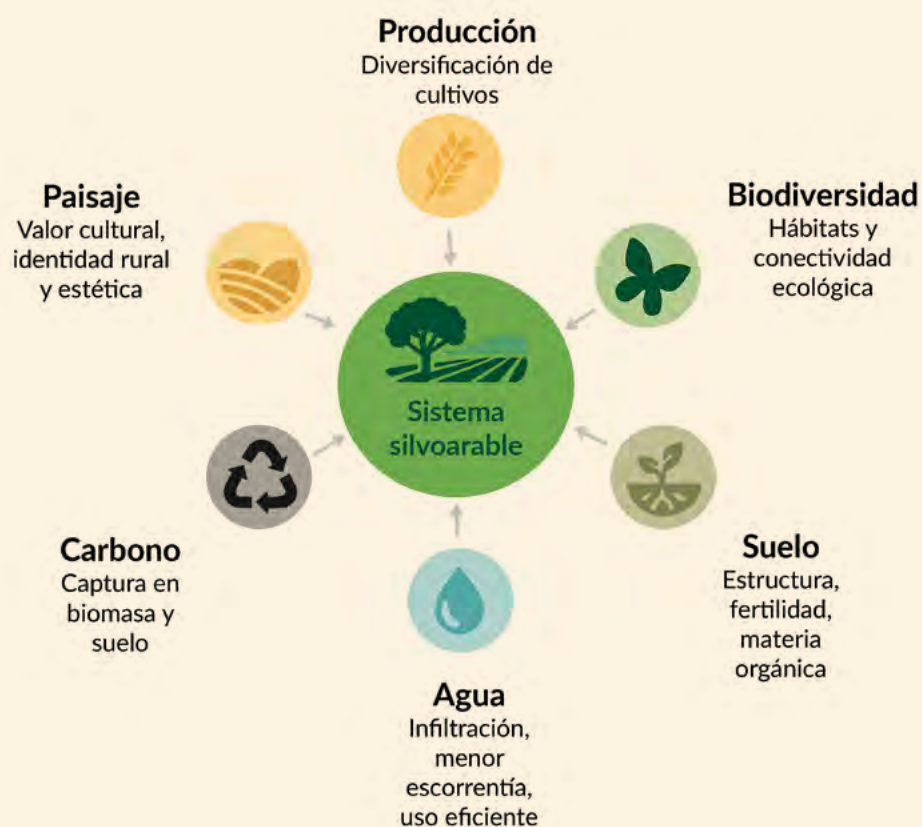


Figura 4. Representación esquemática de las dimensiones complementarias que integran los sistemas silvoarables: producción, biodiversidad, suelo, agua, carbono y paisaje. Cada componente contribuye de forma sinérgica al funcionamiento global y a la sostenibilidad del sistema.



2

La biodiversidad en los sistemas silvoarables

Se analiza el papel de la biodiversidad dentro de los sistemas silvoarables y sus funciones ecológicas clave. Se describe cómo estos sistemas pueden favorecer a diferentes grupos de especies y servicios ecosistémicos. También se incluyen ejemplos que ilustran sus beneficios en diversos contextos agrarios.

2.1. Importancia ecológica y funciones clave de la biodiversidad

La integración de elementos leñosos en paisajes agrícolas o bien la combinación de cultivos herbáceos con especies arbóreas puede aportar múltiples beneficios a la biodiversidad. En comparación con espacios exclusivamente agrícolas o leñosos, los sistemas silvoarables aumentan la heterogeneidad estructural y funcional, lo que tiene el potencial de favorecer la presencia y la persistencia de una mayor diversidad de especies a distintos niveles tróficos (Jose, 2009; Torralba et al., 2016). En particular, pueden aportar:

- Hábitats complementarios para la fauna silvestre, incluyendo aves, insectos polinizadores, mamíferos pequeños y reptiles. La diversificación estructural del paisaje y la presencia de refugios, puntos de sombra, cavidades, posaderos y microhábitats favorecen la presencia de especies con distintos requerimientos ecológicos y contribuyen a redes tróficas más complejas y estables (Baldock et al., 1996; Benton et al., 2003; Kletty et al., 2023).
- Refugios térmicos y microhábitats beneficiosos para especies sensibles a las condiciones climáticas extremas. En verano, la presencia de árboles y arbustos reduce la temperatura, genera sombra, amortigua la radiación solar y conserva la humedad del suelo, creando microambientes más habitables para artrópodos, pequeños vertebrados y microorganismos del suelo (den Herder et al., 2015; Moreno et al., 2015; Plexida et al., 2018).
- Recursos alimentarios diversos y prolongados en el tiempo, tales como néctar, polen, frutos o semillas. Esta continuidad espaciotemporal de recursos permite la coexistencia de especies con ciclos biológicos distintos y reduce la necesidad de desplazamientos largos para alimentarse (Jose, 2009; Kremen y Miles, 2012).
- Corredores ecológicos y conectividad funcional, que facilitan el movimiento de las especies entre diferentes hábitats. Elementos como los setos, los árboles dispersos o los márgenes vegetales pueden actuar como “puentes” naturales que permiten a determinada fauna desplazarse, encontrar refugio y recolonizar nuevas zonas en las que se había extinguido (Benton et al., 2003; Marshall y Moonen, 2002).



Imagen 7. Refugio/nido de pito real (*Picus viridis*) en componente leñoso de un sistema silvoarable. Foto AdobeStock.

En cuanto a los taxones para los que se han descrito beneficios de los sistemas silvoarables, destacan principalmente aves y artrópodos (Torralba *et al.*, 2016). Cabe destacar que la mayoría de los estudios se han efectuado sobre plantas, artrópodos y aves (Plexida *et al.*, 2018), por lo que es esperable que a medida que aumente en el futuro el número de trabajos centrados en los taxones menos estudiados, como, por ejemplo, hongos y mamíferos, vaya aumentando la evidencia científica de los efectos beneficiosos de los sistemas silvoarables.

Por otro lado, la mayoría de los beneficios descritos se centran en métricas como la diversidad o la abundancia de las especies. Aunque en la mayoría de casos estos indicadores son cruciales y perfectamente válidos, es importante resaltar que, en determinadas circunstancias o contextos, otras métricas o indicadores pueden ser más relevantes para valorar el interés de los sistemas silvoarables desde un punto de vista ambiental o ecológico. Por ejemplo, en zonas o regiones con un número elevado de endemismos, la cantidad de especies —es decir, la diversidad o la riqueza *per se*— no debería ser el indicador que se tome como referencia, sino la adecuación de los sistemas silvoarables a las necesidades ecológicas de estos endemismos que únicamente se encuentran en estas regiones o zonas. Lo mismo puede ocurrir en regiones o hábitats con un número elevado de especies amenazadas o con estatus de conservación desfavorables, donde el mero hecho de incrementar la biodiversidad no debe ser la métrica de referencia, sino la capacidad de los sistemas silvoarables para contribuir a mejorar (o no) el estado de conservación de dichas especies raras o amenazadas. En definitiva, no solo se debe tener en cuenta la diversidad o la riqueza (cantidad de especies) o la abundancia (cantidad de individuos), sino que, a veces, se debe tener en cuenta la singularidad (presencia de especies únicas, raras o amenazadas) para valorar los beneficios ambientales de los sistemas silvoarables en un contexto determinado. Además del tipo de

taxones beneficiados y de las métricas usadas para valorar dichos beneficios, el contexto paisajístico es otro elemento que se debe tener en cuenta. Estudios recientes señalan que los efectos de los sistemas silvoarables sobre la biodiversidad dependen en gran medida del tipo de paisaje en el que se implantan y, especialmente, del contraste que generan respecto a la situación inicial. Dos revisiones sistemáticas (Mupepele *et al.*, 2021; Kletty *et al.*, 2023) mostraron beneficios claros frente a monocultivos agrícolas, mientras que en sistemas silvopastoriles los efectos eran menos evidentes al compararse con pastizales abiertos o masas forestales. Esto indica que la magnitud del cambio introducido por el sistema —por ejemplo, añadir árboles y setos en un cultivo muy homogéneo— determina en buena parte si la biodiversidad responde de forma detectable. Por ejemplo, en paisajes agrícolas simplificados, la incorporación de árboles, setos o márgenes vegetales genera suficiente novedad estructural como para atraer fauna diversa, aumentar recursos florales y favorecer servicios como la polinización o el control biológico. En cambio, en zonas con abundante cobertura arbórea, la creación de espacios abiertos o franjas cultivables aporta una novedad ecológica menor, con efectos más modestos sobre flora y fauna asociadas a claros y ecotonos.

En resumen, sobre la base tanto de la bibliografía (Plieninger *et al.*, 2015; Veen *et al.*, 2009) como de la experiencia del proyecto LIFE AgroForAdapt, se puede afirmar que los sistemas silvoarables bien diseñados y gestionados ofrecen una oportunidad relevante de mejora de la biodiversidad, siempre que incorporen criterios como la diversificación estructural, la conectividad ecológica y la preservación de hábitats o especies valiosos preexistentes (raros o amenazados, o importantes desde el punto de vista funcional). No obstante, también es importante recordar que los beneficios no son automáticos por el simple hecho de implantar un sistema silvoarable y requieren un diseño y manejo adaptados al contexto local.

Finalmente, cabe añadir que además de su valor intrínseco desde el punto de vista de la conservación, la biodiversidad puede aportar beneficios directos a los objetivos productivos de las explotaciones agrícolas. Una mayor diversidad funcional puede contribuir a la reducción de la incidencia de plagas, a la mejora de la polinización (Kletty *et al.*, 2023) y a una mayor estabilidad productiva frente a variaciones climáticas o biológicas. En este sentido, entre los grupos más relevantes destacarían los polinizadores silvestres (tales como abejas solitarias y sírfidos), los artrópodos

depredadores de plagas (carábidos, crisópidos, arañas, etc.), algunas aves insectívoras asociadas a setos y arbolado disperso, los murciélagos (Tuneu-Correal *et al.*, 2023) y ciertos micromamíferos que participan en la dinámica del suelo. La instalación de elementos leñosos, la diversificación estructural y el mantenimiento de márgenes vegetales favorecen de manera especial a estos grupos, reforzando, a su vez, los servicios ecosistémicos esenciales para la producción agrícola.



2.2. Ejemplos de sistemas silvoarables beneficiosos para la biodiversidad

Diversos estudios recientes muestran cómo los sistemas silvoarables pueden aumentar la biodiversidad y la provisión de múltiples servicios ecosistémicos, al mismo tiempo que contribuyen a la mitigación del cambio climático y a la sostenibilidad económica agraria (Smith *et al.*, 2022; Guerrero *et al.*, 2024). Una revisión reciente confirma que los sistemas silvoarables tienden a mejorar distintos indicadores de biodiversidad en una amplia variedad de contextos (Kletty

et al., 2023), aunque ya se ha comentado que la magnitud de estos efectos puede variar según el tipo de sistema y el contexto paisajístico, siendo más evidente cuando los sistemas se implantan en entornos agrícolas simplificados (Mupepele *et al.*, 2021; Van Vooren *et al.*, 2017; Staton *et al.*, 2022a). La tabla 2 resume algunos ejemplos concretos documentados en sistemas agroforestales de clima templado.

Recuadro 3. Factores clave que determinan los beneficios de un sistema silvoarable sobre la biodiversidad

Estructura y complejidad del hábitat creado: más estratos, mayor heterogeneidad y presencia de franjas herbáceas generan más nichos ecológicos y recursos para la fauna y la flora.

Selección y combinación de especies: elegir especies arbóreas y herbáceas que aporten floraciones continuas y complementarias, así como refugios y estructuras adecuados para la fauna auxiliar.

Prácticas de manejo: limitar el uso de fitosanitarios y el laboreo intensivo, mantener vegetación espontánea o bandas florales y planificar el momento de la siega o la cosecha para que sean compatibles con la fenología de la fauna.

Contexto del paisaje: los beneficios son mayores cuando el sistema aporta novedad estructural (árboles en paisajes agrícolas simples, o claros en paisajes muy densos) o cuando refuerza la conectividad con hábitats naturales.

Tiempo de maduración del sistema: muchos efectos positivos requieren varios años hasta que la estructura leñosa y las interacciones ecológicas se consolidan.

Tabla 2. Ejemplos de sistemas silvoarables en contextos agrícolas y sus efectos positivos sobre distintos grupos de biodiversidad.

Componente agrícola	Componente leñoso	Variable estudiada	País	Referencia
Olivar	Margen	Diversidad de diversos órdenes de insectos	España	Cotes <i>et al.</i> , 2010
Maíz, trigo y cebada	Hileras de árboles	Diversidad, densidad y abundancia de invertebrados	Francia, Bélgica, Inglaterra	Boinot <i>et al.</i> , 2019; Pardon <i>et al.</i> , 2019; Staton <i>et al.</i> , 2021
Rotación de trigo, maíz y remolacha	Nogal en doble hilera	Actividad-densidad y riqueza de artrópodos epígeos	Bélgica	Pardon <i>et al.</i> , 2020
Guisantes	Setos e hileras de fresno, cerezo, arce blanco, nogal y avellano	Abundancia y diversidad de artrópodos aéreos	Reino Unido	Peng <i>et al.</i> , 1993
Cereales	Hileras de manzanos	Riqueza, diversidad y diversidad funcional de abejas silvestres y sírfidos	Reino Unido	Staton <i>et al.</i> , 2022b
Cereales y forrajeras	Margen	Abundancia de carábidos	Francia	Aviron <i>et al.</i> , 2005
Viñedo	Margen	Riqueza de aves	Hungría	Verhulst <i>et al.</i> , 2004
Cereales u hortalizas	Margen de arbustos y árboles	Abundancia de roedores y musarañas	Francia	Michel <i>et al.</i> , 2007
Soja o maíz	Hileras de arce y fresno	Riqueza de aves	EE. UU.	Gibbs <i>et al.</i> , 2016



3

Buenas prácticas para promover la biodiversidad en sistemas silvoarables

Este capítulo recoge criterios prácticos de diseño y gestión orientados a promover la biodiversidad. Se destacan aspectos clave como la heterogeneidad estructural, la conectividad ecológica y la gestión adaptada al contexto. El objetivo es facilitar la aplicación de estos sistemas en fincas reales.

Tras analizar en los capítulos anteriores la relación entre la biodiversidad y los sistemas silvoarables, este capítulo recoge los principios ecológicos que deben guiar su diseño y gestión para maximizar los beneficios sobre la biodiversidad.

La biodiversidad constituye un elemento esencial del funcionamiento de los sistemas silvoarables, pero su mejora depende del diseño y de las prácticas de manejo aplicadas. No basta con añadir árboles a los cultivos o viceversa: para generar beneficios ambientales reales es necesario planificar la estructura, la composición y el funcionamiento del sistema siguiendo un enfoque agroecológico, es decir, priorizando procesos ecológicos como la diversificación, la eficiencia en el uso de recursos y la integración funcional entre componentes. Con este enfoque, este capítulo esboza aspectos clave de la gestión y el diseño de estos sistemas para guiar a técnicos, gestores y agricultores interesados en crear sistemas silvoarables más biodiversos, resilientes y sostenibles. Se basa tanto en la evidencia científica disponible como en la experiencia adquirida en el proyecto LIFE AgroForAdapt, con el objetivo de proporcionar recomendaciones realistas, adaptables y transferibles a diferentes contextos agrarios.

Diseño del sistema

- **Aumentar la heterogeneidad estructural y la diversidad vegetal.** Combinar árboles, setos, márgenes vegetales y franjas herbáceas en diferentes configuraciones espaciales incrementa la complejidad vertical y horizontal, generando más hábitats y nichos para fauna y flora. La selección de especies arbóreas y herbáceas complementarias —especialmente autóctonas o adaptadas al clima mediterráneo— permite aportar floraciones escalonadas, frutos y refugios de distintos tamaños, fundamentales para polinizadores y fauna auxiliar.
- **Favorecer la conectividad ecológica.** Ubicar los sistemas silvoarables de forma que actúen como corredores o “islas verdes” entre hábitats naturales o seminaturales. Los márgenes y los setos vivos desempeñan un papel esencial en esta conectividad, al enlazar distintas parcelas y facilitar el desplazamiento de fauna auxiliar.
- **Mantener áreas abiertas en zonas esteparias.** En estos entornos, la superficie ocupada por elementos leñosos debe mantenerse muy limitada (por ejemplo, en torno al 10%) para no comprometer los hábitats de especies esteparias, y deben diseñarse como mosaicos equilibrados, con franjas o espacios sin arbolado que mantengan hábitats adecuados para dichas especies.
- **Compatibilizar la mecanización con el valor ecológico.** El diseño debe permitir el acceso de maquinaria sin eliminar la vegetación auxiliar ni compactar el suelo. Las hileras amplias y bien orientadas facilitan la gestión y reducen conflictos entre componentes.

Gestión adaptada

- **Reducir o eliminar el uso de fitosanitarios y herbicidas**, priorizando técnicas preventivas como las cubiertas vegetales y complementándolo con el manejo mecánico o manual cuando sea posible.
- **Conservar el sotobosque o la vegetación espontánea bajo los árboles si no supone una amenaza seria para su vitalidad**, especialmente en sistemas implantados en cultivos extensivos, en los que estos espacios actúan como refugio y fuente de alimento.
- **Evitar las labores intensivas cerca de árboles o setos**, respetando zonas de amortiguación que permitan el desarrollo de vegetación natural y reduzcan la alteración del suelo.
- **Planificar las tareas de mantenimiento y aprovechamiento** para compatibilizarlas con la reproducción o la actividad de grupos sensibles (p. ej., aves o polinizadores).
- **Compatibilizar la producción con zonas de refugio permanentes**, como charcas temporales, muros de piedra o pequeños bosquetes, que aportan hábitats esenciales para reptiles, anfibios y micromamíferos.

Medidas específicas para grupos biológicos prioritarios

- **Polinizadores:** mantener abundantes recursos florales, con floraciones escalonadas y sustratos de nidificación (madera muerta, suelos desnudos y márgenes florales).
- **Aves de ecotono:** disponer de árboles dispersos como posaderos, y evitar la poda y otros tratamientos durante la época de cría.
- **Aves esteparias:** conservar zonas abiertas y evitar emplear altas densidades leñosas y especies de gran desarrollo en áreas de campeo y nidificación. Evitar el laboreo del suelo en la época de nidificación.
- **Reptiles y anfibios:** mantener refugios, muros de piedra seca, microhábitats húmedos y zonas de sombra con vegetación natural.
- **Flora silvestre:** minimizar el laboreo y permitir la regeneración de especies arvenses autóctonas.

Recuadro 4. Principios prácticos para un diseño silvoarable biodiverso

Combinar diversas especies de árboles, setos y franjas herbáceas para aumentar la heterogeneidad.

Favorecer la conectividad ecológica entre parcelas y hábitats naturales.

Elegir especies autóctonas o adaptadas con floraciones escalonadas.

Mantener zonas abiertas en áreas de interés para aves esteparias.

Conservar márgenes y franjas de vegetación espontánea.

Reducir fitosanitarios y conservar vegetación espontánea en márgenes.



4

Seguimiento de la biodiversidad en sistemas silvoarables

El seguimiento de la biodiversidad se aborda como una herramienta clave para evaluar y mejorar los sistemas silvoarables. Se presentan los principios generales, los diseños experimentales y los principales métodos de muestreo. También se incluye la experiencia y los resultados del proyecto LIFE AgroForAdapt.

4.1. Objetivos y enfoque general

El seguimiento de la biodiversidad es una herramienta clave para evaluar la efectividad de los sistemas silvoarables sobre este servicio ecosistémico esencial y orientar su mejora a lo largo del tiempo. Permite verificar si las prácticas de diseño y gestión aplicadas cumplen sus objetivos ecológicos, identificar qué elementos funcionan mejor y ajustar las actuaciones para maximizar los beneficios ambientales sin comprometer la productividad. Más allá de la evaluación científica, el seguimiento cumple una función práctica y estratégica:

Apoya la toma de decisiones sobre el terreno, al proporcionar información objetiva sobre los efectos reales de las medidas implementadas.

Facilita la transferencia de conocimiento, al permitir comparar experiencias entre fincas y regiones.

Aporta evidencias útiles para las políticas agrarias y ambientales, reforzando el papel de los sistemas silvoarables como herramienta de adaptación al cambio climático y conservación de la biodiversidad.

El enfoque general que se propone en este manual se basa en tres principios:

Sencillez y estandarización. Los métodos deben ser aplicables con recursos limitados y comparables entre fincas, priorizando indicadores fácilmente medibles y replicables.

Pertinencia ecológica. Los grupos bioindicadores seleccionados deben reflejar de forma directa los cambios estructurales y funcionales del hábitat (aves, polinizadores, vegetación, etc.).

Coherencia temporal y espacial. Los muestreos deben repetirse a lo largo del tiempo en las mismas parcelas tratadas (silvoarables) y de control (sistemas de referencia representativos de las prácticas habituales en la zona), siguiendo un enfoque experimental.

Para que el seguimiento de la biodiversidad en sistemas silvoarables sea eficaz, comparable y sostenible a largo plazo, es fundamental aplicar protocolos estandarizados y adaptados al contexto mediterráneo, que permitan obtener datos robustos sin requerir medios técnicos complejos (figura 5). Además, el trabajo debe llevarse a cabo preferentemente a escala de parcela o conjunto de parcelas dentro de cada finca, ya que es en este nivel en el que los efectos de las prácticas de manejo y de la estructura del sistema pueden detectarse de forma más directa.

De esta manera, el seguimiento de la biodiversidad no se concibe como un fin en sí mismo, sino como un instrumento de aprendizaje adaptativo, capaz de mejorar de forma continua el diseño y la gestión de los sistemas silvoarables.



Figura 5. Principios para un seguimiento eficaz de la biodiversidad. El proceso se basa en la coherencia y la continuidad del muestreo, combinando datos biológicos y ambientales, priorizando los grupos más sensibles e integrando los resultados en la gestión para mejorar la biodiversidad.

4.2. Fundamento de los sistemas silvoarables

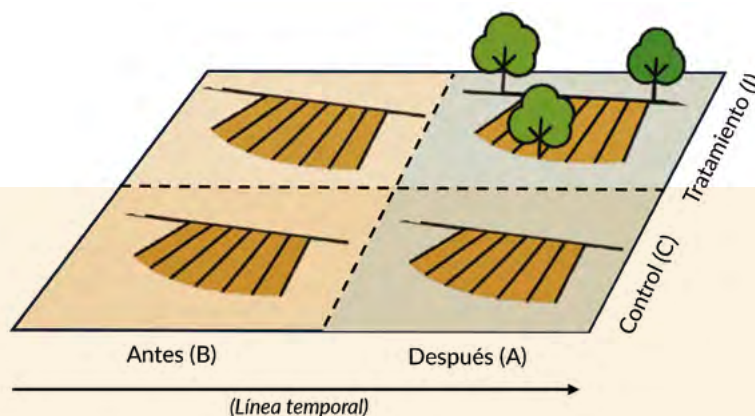
La planificación del seguimiento debe incluir un diseño experimental claro, que asegure la repetición espacial y temporal de los muestreos y permita diferenciar los efectos reales de las actuaciones de la variabilidad natural.

Planificación del seguimiento y diseño experimental

En el proyecto LIFE AgroForAdapt se adoptaron dos esquemas experimentales complementarios para evaluar los efectos de los sistemas silvoarables sobre la biodiversidad, en comparación con los sistemas agrícolas de monocultivo de referencia (figura 6):

- **Diseño BACI (Before-After Control-Impact):** permite comparar parcelas tratadas (silvoarables) y parcelas control (monocultivo) *antes* y *después* de la implantación del sistema silvoarable. Este enfoque permite evaluar los efectos directos de las actuaciones al diferenciar los cambios temporales debidos a la gestión de los que se deben a la variabilidad natural. Es el diseño más robusto para evaluar la efectividad del nuevo sistema silvoarable implantado.
- **Diseño CI (Control-Impact):** compara parcelas silvoarables y monocultivo *en un mismo período temporal*, sin disponer de datos previos a la intervención. Se utiliza cuando los sistemas ya existían antes de iniciarse el seguimiento y no es posible obtener información de referencia previa. Aunque es menos potente que el diseño BACI, proporciona información valiosa sobre diferencias atribuibles al nuevo sistema implantado.

Figura 6. Esquema conceptual de los diseños experimentales utilizados en el seguimiento de biodiversidad en sistemas silvoarables. El diseño BACI (Before-After Control-Impact) compara parcelas tratadas y parcelas control antes y después de la intervención, permitiendo detectar los efectos atribuibles a la implementación del sistema silvoarable. Cuando solo se dispone de datos posteriores a la instalación del sistema, la comparación entre parcelas silvoarable y monocultivo corresponde a un diseño CI (Control-Impact), representado en la zona verde del esquema.



La elección del diseño experimental depende del tipo de sistema, de la disponibilidad de datos previos y de los recursos disponibles para el seguimiento. En cualquier caso, es fundamental mantener la coherencia espacial (mismas parcelas silvoarables y monocultivo) y temporal (mismo período fenológico o época de muestreo) para asegurar resultados comparables. Además, es recomendable llevar a cabo estos seguimientos sobre varias parcelas, tanto de tipo tratamiento como de tipo control (se recomienda un mínimo de tres de cada tipo), ya que, con un tamaño de muestra demasiado pequeño, será imposible obtener resultados concluyentes acerca de los posibles efectos beneficiosos sobre la biodiversidad.

Selección de grupos bioindicadores y métodos

Una vez definido el diseño del seguimiento, la selección de los grupos bioindicadores (el tipo de organismos en los que se centra el seguimiento) debe responder a los objetivos del seguimiento y al tipo de hábitat presente en cada finca, y también a la escala de trabajo. Los grupos más utilizados en el contexto mediterráneo incluyen aves, polinizadores, vegetación, reptiles y mamíferos, por su sensibilidad a los cambios estructurales del hábitat y su relevancia funcional.

Por ejemplo, si el nuevo sistema silvoarable no implica un cambio sustancial en la disponibilidad de flores y néctar, es posible que no tenga demasiado sentido efectuar un seguimiento de polinizadores. En relación con la escala de trabajo, si el nuevo sistema silvoarable se implanta a pequeña escala —por ejemplo, en una o pocas parcelas aisladas—, es recomendable escoger organismos o grupos taxonómicos de poca movilidad como, por ejemplo, reptiles, flora o polinizadores. Si, en cambio, la implantación

afecta a una superficie mayor, que engloba unas cuantas parcelas o una finca entera, entonces puede ser adecuado efectuar el seguimiento de aves o mamíferos. Esto se debe a que evaluar los efectos a pequeña escala será muy complicado a través del seguimiento de organismos que utilizan una superficie mucho mayor que la escala a la que se ha implantado el sistema silvoarable.

Los protocolos que describe este manual no requieren equipamiento sofisticado y pueden aplicarse con recursos limitados, siempre que el personal disponga de una formación básica en identificación y muestreo. La periodicidad mínima recomendada es anual, repitiendo los muestreos en los mismos puntos o transectos para detectar tendencias y evaluar la evolución de los sistemas a medio plazo.

La interpretación de los resultados mejora significativamente cuando los datos biológicos se complementan con información ambiental básica, como la presencia de floración, la cobertura de sombra o el grado de humedad del suelo. Estos datos pueden recogerse in situ durante el muestreo o derivarse de herramientas de teledetección o sensores remotos.

En la tabla 3 se resumen los métodos de seguimiento más utilizados para cada grupo bioindicador, junto con los indicadores más frecuentes y las principales consideraciones para su correcta aplicación.

Grupo	Indicadores	Métodos	Observaciones clave
Aves	Riqueza, abundancia, diversidad, presencia/ausencia	Puntos de escucha, transectos, mapeo, bioacústica	Buen indicador de hábitat; respuesta a elementos leñosos y márgenes
Micromamíferos	Presencia, frecuencia de detección, uso del hábitat	Trampas de captura en vivo (<i>Sherman</i> o <i>Longworth</i>), cámaras trampa a baja altura	Sensibles a la cobertura vegetal y a la estructura del sotobosque; su presencia indica buena conectividad y disponibilidad de refugios. Requieren permisos específicos y personal especializado para su muestreo
Polinizadores	Abundancia, riqueza, índice Shannon	Transectos florales, o trampas de bandeja (<i>pan traps</i>)	Muy dependientes de la floración y del manejo herbáceo
Mariposas diurnas	Abundancia, riqueza, composición de comunidades	Transectos lineales estandarizados (<i>Pollard Walk</i>)	Indicadores sensibles de la diversidad florística y del manejo del hábitat
Otros invertebrados	Riqueza, abundancia, composición funcional	Trampas de caída (<i>pitfall</i>), trampas de intercepción o muestreos manuales	Incluyen coleópteros, arácnidos y ortópteros; reflejan la complejidad estructural y la perturbación del suelo
Vegetación	Cobertura, riqueza específica, composición florística	Cuadrados, transectos, espectrometría o sensores remotos	Reflejan las condiciones del suelo, la gestión y la complejidad estructural

Tabla 3. Resumen de los métodos de seguimiento más utilizados para evaluar la biodiversidad en sistemas silvoarables, organizados por grandes grupos bioindicadores.

Imagen 8. Observador de campo efectuando un censo de aves (punto de escucha) durante el proyecto LIFE AgroForAdapt. Foto Francesc Sardà Palomera.



Recuadro 5. Glosario básico de términos de seguimiento de biodiversidad

Riqueza de especies: número total de especies diferentes detectadas en un punto, transecto o parcela.

Abundancia: número total de individuos observados de un grupo o de una especie.

Diversidad (p. ej., índice Shannon): indicador que integra riqueza y abundancia relativa, destacando comunidades equilibradas.

Transecto: recorrido lineal de longitud definida donde se registran especies siguiendo un protocolo estándar.

Transecto floral: transecto diseñado para muestrear polinizadores durante la floración.

Pollard Walk: método estandarizado para censar mariposas caminando por un transecto fijo y registrando individuos en un corredor predefinido.

Puntos de escucha: estaciones fijas donde se detectan aves por observación y oído durante un tiempo y en un radio determinado.

Bioacústica: registro automático de sonidos ambientales (cantos de aves, insectos y anfibios) con grabadoras.

Trampas de caída (Pitfall): recipientes enterrados a nivel del suelo para capturar invertebrados que caen al desplazarse.

Trampas de intercepción: superficies verticales que interceptan el vuelo de insectos y los dirigen a un recipiente colector.

Trampas de bandeja (Pan trap): recipientes pequeños de colores (azul, amarillo, blanco) llenos de agua jabonosa que atraen y capturan polinizadores y otros insectos.

Trampas Sherman o Longworth: dispositivos de captura en vivo para micromamíferos, formados por una caja metálica con mecanismo de cierre automático que permite retenerlas en condiciones seguras hasta su liberación.

Cámaras trampa: cámaras automáticas activadas por movimiento o calor que permiten detectar fauna críptica o nocturna.

Cuadrados de vegetación: parcelas pequeñas (p. ej., 1 × 1 m) para medir la cobertura, la riqueza y la composición florística.

4.3. Seguimientos de la biodiversidad en el proyecto LIFE AgroForAdapt

Presentación del seguimiento

En el marco del proyecto LIFE AgroForAdapt se desarrolló un programa de seguimiento de la biodiversidad para evaluar los efectos de distintos sistemas agroforestales demostrativos sobre distintos grupos bioindicadores, concretamente aves, polinizadores (abejas y sírfidos) y mariposas diurnas. En el caso concreto de los sistemas silvoarables, el seguimiento se centró en aves y polinizadores, siguiendo el protocolo D5, disponible en la web del proyecto (<https://agroforadapt.eu/>).

Las aves se censaron mediante puntos de escucha de 10 minutos ubicados en las parcelas silvoarables y en las parcelas de control (monocultivos). En cada punto se registraron todas las especies detectadas visual o auditivamente en un radio de 100 m, lo que permite estimar la riqueza específica de forma comparable entre sistemas y años. Cada punto de escucha se visitó dos veces cada primavera, obteniendo un valor de riqueza de aves por cada estación y visita.

La abundancia de polinizadores se estimó mediante transectos florales de 100 m de longitud (que podían estar divididos en subtransectos) y 2 m de ancho, recorridos a velocidad constante, contabilizando abejas melíferas, abejorros, abejas silvestres y sírfidos. Este muestreo se complementó con el registro de la abundancia de flores y la proporción de suelo desnudo en cada transecto, variables clave para interpretar la respuesta de estos insectos. Cada transecto se repitió tres veces por primavera, y por cada transecto y visita se obtuvo un valor de abundancia de cada uno de los subgrupos de polinizadores mencionados. El seguimiento se llevó a cabo a escala de parcela o conjunto de parcelas dentro de cada finca, lo que permite relacionar directamente

los cambios observados con la estructura y el manejo de cada sistema agroforestal, sin extrapolar los resultados a escala de paisaje.

Sistemas evaluados y estructura del seguimiento

En total, el programa de seguimiento incluyó 18 sistemas silvoarables demostrativos, pertenecientes a dos tipologías claramente diferenciadas:

- **9 sistemas silvoarables de nueva implantación:** parcelas agrícolas en las que se introdujo por primera vez un componente leñoso durante el proyecto, para transformarlas en sistemas silvoarables.
- **9 sistemas silvoarables preexistentes:** sistemas que ya combinaban árboles y cultivos antes del inicio del proyecto, representando sistemas silvoarables en una fase de madurez algo más avanzada, aunque generalmente en una fase aún juvenil de la vegetación leñosa.

Estos sistemas estaban distribuidos entre dos regiones de España (Cataluña y Castilla y León) y dos regiones de Francia (Occitania y Provenza-Alpes-Costa Azul).

El seguimiento se llevó a cabo entre 2022 y 2025. En los sistemas de nueva implantación se llevaron a cabo muestreos tanto antes como después de la implantación del componente leñoso. En ambos tipos de sistema el diseño de muestreo incluía habitualmente dos parcelas de tratamiento (silvoarable) y dos parcelas de control (monocultivo), lo que proporcionó una replicación interna suficiente y un conjunto de datos equilibrado para evaluar los efectos de los sistemas silvoarables sobre la biodiversidad (figura 7).



Figura 7. Ejemplo de diseño de muestreo en uno de los sistemas silvoarables demostrativos del proyecto, situado en Monells (Girona, Cataluña, España). Se representan los puntos de escucha para aves (puntos) y sus búfers de 100 m de radio, diferenciando parcelas silvoarables (en amarillo) y parcelas de control en monocultivo (en azul). También se muestran los transectos de 100 m fraccionados y utilizados para el muestreo de polinizadores, igualmente codificados en amarillo (tratamiento) y azul (control). Las áreas delimitadas en rojo corresponden a las parcelas silvoarables implantadas dentro de la finca.

Diseño experimental

El seguimiento se basó en dos esquemas experimentales complementarios:

- **Diseño BACI**, aplicado en los sistemas de nueva implantación, comparando parcelas antes y después de la intervención.
- **Diseño CI**, aplicado en parcelas silvoarables preexistentes y en terrenos de monocultivo en cada finca.

Las variables analizadas incluyeron principalmente la diversidad específica de aves (índice de Shannon), evaluada mediante modelos lineales mixtos (GLMM), junto con métricas de abundancia y diversidad para insectos y vegetación.

Resultados para las aves

El análisis del índice de Shannon evidenció cambios significativos en la diversidad según los grupos ecológicos de aves. En particular, se detectó un incremento de la diversidad de las especies asociadas a ambientes mixtos o ecotonales en las zonas agroforestales en comparación con las zonas control, tanto en el caso del bosque como del cultivo (Figura 8). Este patrón es coherente con un aumento de la heterogeneidad estructural asociado a la introducción de cultivos en zonas arboladas, en comparación con los

monocultivos o el bosque. Por el contrario, las especies asociadas a ambientes forestales mostraron una disminución de la diversidad, mientras que en las especies de ambientes abiertos no se detectaron diferencias relevantes entre tratamiento y control. En conjunto, estos resultados reflejan un cambio en la estructura funcional de las comunidades de aves, coherente con la transición desde ambientes más homogéneos hacia sistemas agroforestales más heterogéneos.

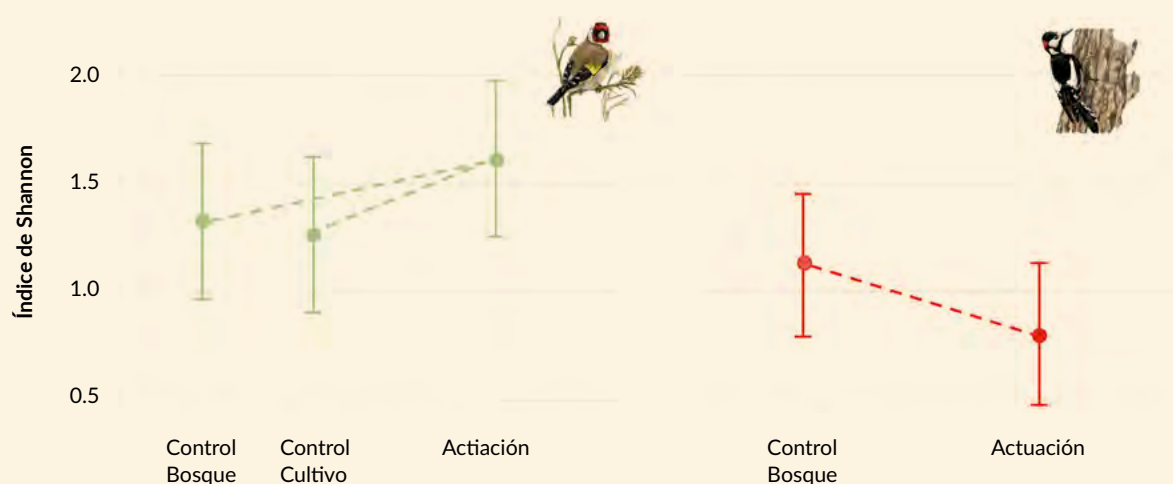


Figura 8. Índice de diversidad de Shannon de las comunidades de aves en sistemas silvoarables preexistentes en parcelas control (bosque y cultivo) y parcelas con tratamiento. A la izquierda, en verde, se representan las especies asociadas a hábitats mixtos o ecotonales, mientras que a la derecha, en rojo, las especies forestales. Los puntos representan los valores medios estimados por el modelo y las barras verticales indican los intervalos de confianza del 95 %. Las líneas discontinuas muestran el cambio entre parcelas control y con tratamiento para cada grupo ecológico.

En los sistemas de nueva implantación no se detectaron efectos significativos entre el período «antes» y «después» de la implantación, lo que sugiere que los beneficios sobre la biodiversidad de aves de hábitats mixtos requieren un período de maduración. Este tiempo permite el desarrollo del componente leñoso, la vegetación espontánea y los márgenes

florales, y es coherente con la literatura, que indica que los efectos suelen manifestarse a partir del cuarto o quinto año desde la implantación. En consecuencia, los efectos sobre la diversidad de aves son más evidentes en los sistemas silvoarables preexistentes, con una edad media del componente leñoso de $10,3 \pm 4,6$ años, que en los de nueva implantación.



Imágenes 9 y 10. La alondra totovía (*Lullula arborea*) y el jilguero (*Carduelis carduelis*) son especies comunes en sistemas silvoarables mediterráneos. Fuente AdobeStock.

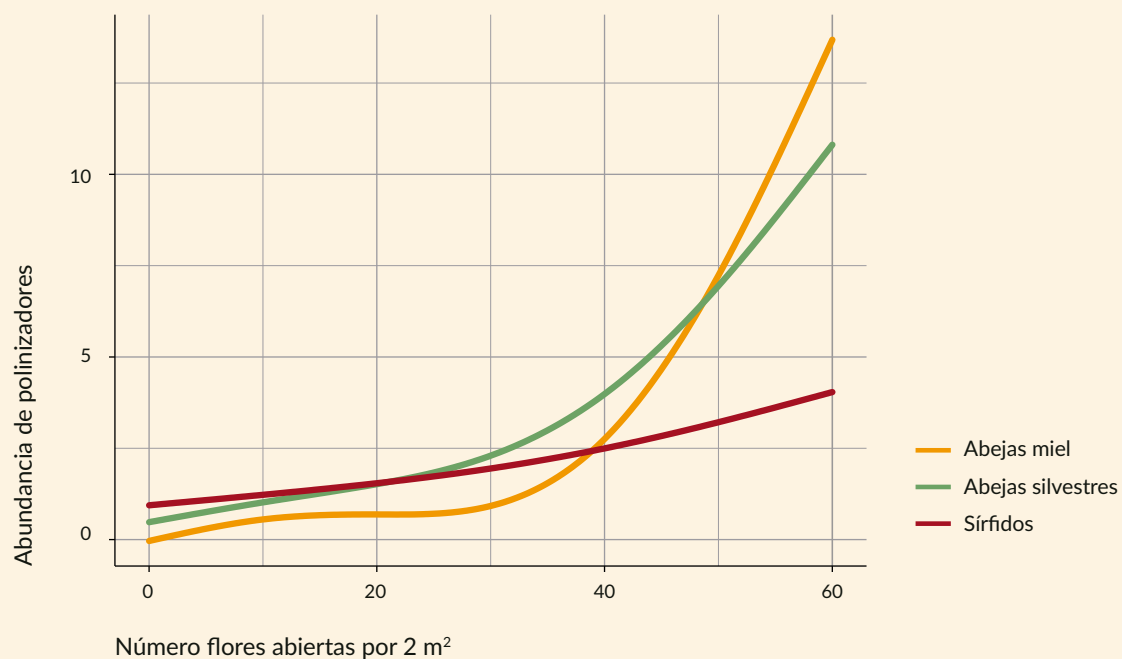


Figura 9. Efecto de la floración sobre los principales grupos de polinizadores. Las abejas melíferas, las abejas silvestres y los sírfidos muestran una tendencia al aumento de abundancia a medida que crece el número de flores abiertas.



Imagen 11. Abejorro común (*Bombus terrestris*) recolectando néctar de una flor.

Resultados para polinizadores (abejas de la miel, abejorros, otras abejas silvestres y sírfidos)

Los resultados del seguimiento no muestran efectos directos del tratamiento silvoarable sobre la riqueza, la diversidad o la abundancia de los distintos grupos de polinizadores (abejas de la miel, abejorros, otras abejas silvestres y sírfidos), ni en los sistemas de nueva implantación (diseño BACI) ni en los sistemas preexistentes (diseño CI).

A pesar de la ausencia de efectos del tratamiento, los modelos detectaron efectos ambientales claros, consistentes y estadísticamente significativos relacionados con la floración. La abundancia de flores registrada en los transectos fue el predictor más influyente, con efectos positivos sobre abejas de la miel, abejas silvestres y sírfidos. La respuesta fue coherente entre grupos: a mayor disponibilidad de flores, mayor abundancia de polinizadores.

En conjunto, estos resultados indican que, a corto y medio plazo, los polinizadores responden principalmente a la disponibilidad de recursos florales, más que a la mera presencia del componente leñoso. En el marco de este seguimiento, la floración registrada correspondió mayoritariamente a especies herbáceas presentes en márgenes, cubiertas y franjas entre árboles, mientras que la contribución directa de la floración de especies leñosas fue limitada o no pudo aislarse de forma específica.

No obstante, en sistemas silvoarables que incorporan especies arbóreas con floraciones abundantes y bien sincronizadas con la actividad de los polinizadores, como ocurre en determinados sistemas con frutales, el componente leñoso puede actuar como una fuente adicional de recursos florales y reforzar la disponibilidad de alimento a escala temporal y espacial. En este sentido, una gestión adecuada del estrato herbáceo entre árboles o en los márgenes leñosos, orientada a promover una floración diversa y continua, puede generar efectos positivos sobre las poblaciones de polinizadores. Estudios llevados a cabo en sistemas silvoarables consolidados han mostrado incrementos en la riqueza y la diversidad funcional de abejas silvestres en comparación con monocultivos, asociados principalmente a una mayor disponibilidad y diversidad de recursos florales, especialmente en el estrato herbáceo del sistema agroforestal (Staton *et al.*, 2022b). Estos efectos podrían traducirse en beneficios indirectos tanto para el cultivo herbáceo como para el propio componente leñoso del sistema.





5



Conclusiones y propuestas para el futuro

Se sintetizan los principales aprendizajes del manual y se destaca el papel de los sistemas silvoarables en la transición hacia una agricultura más sostenible. También se ponen de relieve los factores clave para su éxito y se plantean líneas de futuro para su consolidación.

5.1. Principales conclusiones

1. Transición agroecológica y sinergias entre producción y conservación. Los sistemas silvoarables constituyen una herramienta sólida para avanzar hacia una agricultura mediterránea más resiliente, biodiversa y sostenible. La experiencia del proyecto LIFE AgroForAdapt y la evidencia científica recopilada en este manual confirman que, cuando se diseñan y gestionan adecuadamente, estos sistemas pueden generar beneficios simultáneos de tipo productivo, ecológico y social. Más allá de ser una alternativa técnica, representan un modelo de transición agroecológica que permite integrar la producción agrícola con la conservación de la biodiversidad, la mejora de los servicios ecosistémicos y la adaptación al cambio climático, generando beneficios tanto para las explotaciones como para la sociedad en su conjunto.

2. Beneficios para la biodiversidad. Los sistemas silvoarables incrementan la heterogeneidad estructural y funcional del paisaje, ofreciendo refugio y recursos a una gran variedad de especies —especialmente

polinizadores, aves y otra fauna auxiliar— y mejorando la conectividad ecológica a escala local y territorial. Los resultados del proyecto LIFE AgroForAdapt corroboran estos beneficios, especialmente en el caso de las aves de medios agroforestales y cuando los sistemas silvoarables han alcanzado un grado suficiente de madurez.

3. Importancia del diseño y la gestión.

La selección de especies, la densidad y disposición del arbolado, la gestión de los márgenes y el uso racional de fitosanitarios y laboreo son factores determinantes para garantizar resultados positivos y sostenibles.

4. Relevancia del seguimiento. El seguimiento de la biodiversidad es esencial para evaluar los efectos de las medidas implantadas, identificar buenas prácticas y orientar la gestión adaptativa. Diseños experimentales robustos —como el BACI— y el uso de grupos bioindicadores —aves, polinizadores o vegetación— permiten obtener información comparable y útil para la toma de decisiones.

5.2. Propuestas de futuro

El desarrollo de los sistemas silvoarables en el ámbito mediterráneo requiere consolidar los avances logrados y afrontar una serie de retos que condicionarán su adopción a mayor escala. A partir de la experiencia del proyecto LIFE AgroForAdapt, se proponen las líneas de acción prioritarias siguientes:

1. Consolidar la base de conocimiento y el seguimiento. Mantener y ampliar programas de monitorización a largo plazo es fundamental para evaluar la evolución ecológica y productiva de

los sistemas silvoarables. Es necesario incorporar grupos biológicos menos estudiados —como flora herbácea, hongos del suelo, artrópodos no polinizadores o micromamíferos— y reforzar los análisis tanto a escala de parcela como de paisaje. El seguimiento debería integrarse en redes estandarizadas y en marcos experimentales robustos (p. ej., diseño BACI), con el fin de mejorar la comparabilidad entre regiones y contextos agrícolas.

2. Reforzar la transferencia, la formación y el acompañamiento técnico. La adopción de los sistemas silvoarables depende en gran medida de la disponibilidad de asesoramiento especializado. Es prioritario consolidar redes de apoyo técnico que orienten el diseño, la implantación y la gestión adaptativa de los sistemas, así como integrar los sistemas agroforestales en la formación agraria y forestal a distintos niveles. Las fincas demostrativas y los intercambios entre agricultores constituyen herramientas clave para acelerar la difusión del conocimiento práctico.

3. Ampliar la evidencia sobre biodiversidad en sistemas silvoarables. Aunque la evidencia científica y los resultados del proyecto LIFE AgroForAdapt confirman el potencial de los sistemas silvoarables para mejorar la biodiversidad, los efectos observados varían según el tipo de sistema, su grado de madurez, el contexto paisajístico y el grupo biológico considerado. La mayoría de los estudios disponibles se centran en aves e insectos, mientras que otros componentes relevantes de la biodiversidad —como flora, hongos del suelo, micromamíferos o biodiversidad funcional— siguen estando menos representados.

Es necesario avanzar hacia evaluaciones más integrales que abarquen una mayor diversidad de configuraciones silvoarables (márgenes, hileras, sistemas jóvenes y maduros, distintos cultivos y especies leñosas) y un conjunto más amplio de indicadores biológicos y funcionales, para identificar qué diseños y prácticas de manejo maximizan los beneficios para la biodiversidad.

4. Promover un enfoque territorial, participativo y coherente. La implantación eficaz de los sistemas silvoarables requiere una planificación territorial informada, basada en diagnósticos ambientales y socioeconómicos. La coordinación entre agricultores, administraciones locales, centros de investigación y entidades de conservación es esencial para identificar áreas prioritarias e integrar estos sistemas en corredores ecológicos, mosaicos agroforestales o estrategias de gestión del riesgo de incendios. La coherencia entre políticas agrarias, forestales y de biodiversidad resulta clave para maximizar su impacto a escala de paisaje.

5. Impulsar la innovación y el valor añadido. La diversificación de productos agroforestales —madera, biomasa, frutos, plantas aromáticas o servicios ambientales—, junto con posibles sistemas de certificación, puede mejorar la rentabilidad y el reconocimiento social de los sistemas silvoarables. Asimismo, la innovación técnica (herramientas de planificación territorial, sensores remotos y modelos de gestión adaptativa) y organizativa (cooperativas, cadenas cortas de comercialización y pagos por servicios ecosistémicos) abrirá nuevas oportunidades para su consolidación.

Bibliografía

AGFORWARD (2017). *Sustainable Intensification of European Agroforestry*. Final Project Report, Grant Agreement No 613520, European Commission, Brussels.

Aviron, S., Burel, F., Baudry, J., y Schermann, N. (2005). Carabid assemblages in agricultural landscapes: impacts of habitat features, landscape context at different spatial scales and farming intensity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108(3), 205–217.

Baldock, D., Beaufoy, G., Brouwer, F., y Godeschalk, F. (1996). *The Nature of Farming: Low Intensity Farming Systems in Nine European Countries*. Institute for European Environmental Policy (IEEP).

Benton, T. G., Vickery, J. A., y Wilson, J. D. (2003). Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution*, 18(4), 182–188. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)

Bibby, C. J., Burgess, N. D., Hill, D. A., y Mustoe, S. H. (2000). *Bird Census Techniques* (2nd ed.). Academic Press.

Boinot, S., Poulmarc'h, J., Meziere, D., Lauri, P. E., y Sarthou, J. P. (2019). Distribution of overwintering invertebrates in temperate agroforestry systems: implications for biodiversity conservation and biological control of crop pests. *Agric. Ecosyst. Environ.* 285: 106630.

Braun-Blanquet, J. (1932) *Plant Sociology: The Study of Plant Communities*. McGraw-Hill, New York, 439 p.

Burgess, P. J., Crous-Duran, J., den Herder, M., Dupraz, C., Fagerholm, N., Freese, D., Garnett, K., Graves, A. R., Hermansen, J. E., Liagre, F., Mirck, J., Moreno, G., Mosquera-Losada, M. R., Palma, J. H. N., Pantera, A., Plieninger, T., y Upson, M. (2015). AGFORWARD Project Periodic Report: January to December 2014. Cranfield University: AGFORWARD. 95pp. www.agforward.eu/documents/AGFORWARD%20613520%20First%20Year%20Report%2027%20Feb%202015.pdf

Burton, A. C., Neilson, E., Moreira, D., Ladle, A., Steenweg, R., Fisher, J. T., Bayne, E., y Boutin, S. (2015). Wildlife camera trapping: a review and recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 675–685. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12432>

Coello, J., Santana, J. C., de Torre, B., Liagre, F. (2026). Manual de disseny i gestió de sistemes agroforestals silvoarables en condicions mediterrànies. LIFE AgroForAdapt. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació 124 Pp.

Cotes, B., Campos, M., Pascual, F., García, P. A., y Ruano, F. (2010). Comparing taxonomic levels of epigeal insects under different farming systems in Andalusian olive agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 44(3), 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.12.011>

den Herder, M., Burgess, P. J., Mosquera-Losada, M. R., Herzog, F., Hartel, T., Upson, M., Virolainen, I., y Rosati, A. (2015). Preliminary stratification and quantification of agroforestry according to systems studied in WP2–WP5. Milestone 1, AGFORWARD project (Grant Agreement no. 613520). 24 April 2015. https://www.agforward.eu/documents/M1_Stratification%20of%20agroforestry.pdf

den Herder, M., Moreno, G., Mosquera-Losada, R. M., Palma, J. H. N., Sidiropoulou, A., Santiago-Freijanes, J. J., et al. (2017). Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. *Agroforestry Systems*, 91, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.005>

Dupraz, C., y Liagre, F. (2011). *Agroforesterie: des arbres et des cultures*. Éditions France Agricole.

Fraixedas, S., Lindén, A., Piha, M., Cabeza, M., Gregory, R., y Lehtikainen, A. (2020). A state-of-the-art review on birds as indicators of biodiversity: Advances, challenges, and future directions. *Ecological Indicators*, 118, 106728. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106728>

Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., et al. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339(6127), 1608–1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>

Gibbs, S., Koblents, H., Coleman, B., et al. (2016). Avian diversity in a temperate tree-based intercropping system from inception to now. *Agroforest Systems*, 90, 905–916 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9901-7>

Gregory, R. D., Noble, D. G., Field, R., Marchant, J. H., Raven, M., y Gibbons, D. W. (2003). Using birds as indicators of biodiversity. *Ornis Hungarica*, 12, 11–24.

Guerrero, I., Bielza, M., Díaz-Caneja, M., Angileri, V., Assouline, M., Bosco, S., Catarino, R., Chen, M., Koeble, R., Lindner, S., Makowski, D., et al. (2024). *Quantifying the impact of sustainable farming practices on environment and climate. Greenhouse gas emissions, carbon sequestration and nutrient loss data from meta-analysis*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, 76, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Kletty, F., Rozan, A., y Habold, C. (2023). *Biodiversity in temperate silvoarable systems: A systematic review*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 351, 108480.
- Kremen, C., y Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, 17(4), 40. <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
- Lawson, G., Muraru, C., Bertomeu, M., y Corbacho, J. (2024). Defining forests and agroforests in the EU (Version 5). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14161921>
- Marshall, E. J. P., y Moonen, A. C. (2002). Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 89(1–2), 5–21. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00315-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00315-2)
- Moreno, G., Dupraz, C., Palma, J. H. N., et al. (2015). Agroforestry systems of high nature and cultural value in Europe: provision of ecosystem services and biodiversity. En: *Agroforestry – The Future of Land Use* (AGFORWARD Project).
- Mosquera-Losada, M. R., McAdam, J. H., Romero-Franco, R., Santiago-Freijanes, J. J., Rigueiro-Rodríguez, A. (2009). Definitions and Components of Agroforestry Practices in Europe. En: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., Mosquera-Losada, M. R. (eds) *Agroforestry in Europe. Advances in Agroforestry*, vol 6. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6_1
- Mupepele, A. C., Keller, M., y Dormann, C. F. (2021). European agroforestry has no unequivocal effect on biodiversity: a time-cumulative meta-analysis. *BMC Ecol Evo* 21, 193. <https://doi.org/10.1186/s12862-021-01911-9>
- Pardon, P., Reheul, D., Mertens, J., Reubens, B., De Frenne, P., De Smedt, P., Proesmans, W., Van Vooren, L., y Verheyen, K. (2019). Gradients in Abundance and Diversity of Ground Dwelling Arthropods as a Function of Distance to Tree Rows in Temperate Arable Agroforestry Systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2019, 270–271, 114–128.
- Pardon, P., Mertens, J., Reubens, B., Reheul, D., Coussement, T., Elsen, A., Nelissen, V., y Verheyen, K. (2020). *Juglans regia* (walnut) in temperate arable agroforestry systems: effects on soil characteristics, arthropod diversity and crop yield. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35, 533–549. <https://doi.org/10.1017/S1742170519000176>
- Peng, R. K., Incoll, L. D., Sutton, S. L., Wright, C., y Chadwick, A. (1993). Diversity of airborne arthropods in a silvoarable agroforestry system. *J. Appl. Ecol.* 30:55162.
- Plexida, S., Solomou, A., Poirazidis, K., y Sfougaris, A. (2018). Factors affecting biodiversity in agrosylvopastoral ecosystems within the Mediterranean Basin: a systematic review. *J. Arid Environ.* 151, 125–133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.11.017>

Plieninger, T., Hartel, T., Martín-López, B., Beaufoy, G., Bergmeier, E., Kirby, K., Montero, M. J., Moreno, G., Oteros-Rozas, E., y Van Uytvanck, J. (2015). Wood- pastures of Europe: geographic coverage, social-ecological values, conservation management, and policy implications. *Biol. Conserv.* 190, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.05.014>
Smith, L. G., Westaway, S., Mullender, B. B., Ghaley, B. B., Xu Y., Lehmann L. M., et al. (2022). Assessing the multidimensional elements of sustainability in European agroforestry systems. *Agricultural Systems*, 197:103357.

Staton, T., Walters, R. J., Smith, J., Breeze, T. D., y Girling, R. D. (2021). Evaluating a trait-based approach to compare natural enemy and pest communities in agroforestry vs. arable systems. *Ecological Applications*, 31(4), e02294. <https://doi.org/10.1002/eap.2294>

Staton, T., Breeze, T. D., Walters, R. J., Smith, J., y Girling, R. D. (2022a). *Productivity, biodiversity trade-offs, and farm income in an agroforestry versus an arable system*. *Ecological Economics*, 191:107214

Staton, T., Walters, R. J., Breeze, T. D., Smith, J., y Girling, R. D. (2022b). Niche complementarity drives increases in pollinator functional diversity in diversified agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 336, 108035. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108035>

Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., y Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 230, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>

Tuneu-Corral, C., Puig-Montserrat, X., Riba-Bertolín, D., Russo, D., Rebelo, H., Cabeza, M., y López-Baucells, A. (2023). *Pest suppression by bats and management strategies to favour it: a global review*. *Biological Reviews*, 98, 1564–1582. <https://doi.org/10.1111/brv.12967>

Van Vooren, L., Reubens, B., Broekx, S., De Frenne, P., Nelissen, V., Pardon, P., y Verheyen, K. (2017). *Ecosystem service delivery of agri-environment measures: A synthesis for hedgerows and grass strips on arable land*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 244:32-51.

Veen, P., Jefferson, R., de Smidt, J., y van der Straaten, J. (2009). *Grasslands in Europe of High Nature Value*. KNNV Publishing, Zeist.

Verhulst, J., Báldi, A., y Kleijn, D. (2004). Relationship between land-use intensity and species richness and abundance of birds in Hungary. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(3), 465–473. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.043>

Este manual forma parte de las publicaciones técnicas elaboradas en el marco del proyecto LIFE AgroForAdapt (2021-2026 - <https://agroforadapt.eu>). El objetivo del proyecto es promover los sistemas agroforestales como herramienta de adaptación al cambio climático y de mejora de la viabilidad económica y ambiental del sector agrícola, ganadero y forestal en el Mediterráneo. El proyecto define el sistema agroforestal como la práctica de combinar deliberadamente vegetación leñosa (árboles o arbustos) con sistemas agrícolas y/o ganaderos para generar beneficios de sus interacciones ecológicas y económicas. Al menos un 5% de la superficie del sistema está ocupado por las copas de la vegetación leñosa cuando esta alcanza su pleno desarrollo, y al menos un tercio de la superficie está ocupado por el componente agrícola y/o ganadero.

En particular, el presente manual se centra en los efectos de los sistemas silvoarables (combinación de vegetación leñosa con sistemas agrícolas) sobre la biodiversidad. Está concebido como un documento técnico-divulgativo destinado a profesionales, personal técnico y gestor de fincas, así como a responsables de políticas agrarias y ambientales.

El manual recoge conocimientos científicos y experiencias prácticas del proyecto LIFE AgroForAdapt, ofreciendo criterios de diseño, gestión y seguimiento orientados a favorecer la biodiversidad en este tipo de sistemas.

Socios del proyecto Life Agroforadapt



Entidades co-financiadoras del proyecto



El proyecto LIFE AgroForAdapt (LIFE20 CCA/ES/001682) está cofinanciado por el programa LIFE de la Unión Europea. No obstante, 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.



Cofinanciado por
la Unión Europea