



Universidad
Internacional
de Andalucía

TÍTULO

**ANÁLISIS COMPARADO DEL CULTIVO CONVENCIONAL Y
ECOLÓGICO DEL ALMENDRO**
SITUACIÓN ACTUAL, LABORES AGRÍCOLAS DIFERENCIALES Y
SUSTENTABILIDAD

AUTOR

Antonio Jesús Jiménez González

	Esta edición electrónica ha sido realizada en 2025
Tutor	Dr. D. Antonio Manuel Alonso Mielgo
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía; Universidad Pablo de Olavide; Universidad de Córdoba
Curso	<i>Máster Universitario en Agroecología: un Enfoque de Transformación Sustentable de los Sistemas Agroalimentarios (2023/24)</i>
©	Antonio Jesús Jiménez González
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2024



Universidad
Internacional
de Andalucía



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>

Análisis comparado del cultivo convencional y ecológico del almendro: Situación actual, labores agrícolas diferenciales y sustentabilidad

Trabajo Final de Máster
Máster Universitario en Agroecología: Un Enfoque
de Transformación Sustentable de los Sistemas
Agroalimentarios

Autor: Antonio Jesús Jiménez González
Tutor: Antonio Manuel Alonso Mielgo
Curso 2023/2024

AUTORIZACIÓN Y VISTO BUENO PARA PRESENTACIÓN DEL TFM

Título del TFM: Análisis comparado del cultivo convencional y ecológico del almendro: Situación actual, labores agrícolas diferenciales y sustentabilidad.

Autor: Antonio Jesús Jiménez González

Tutor: Antonio Manuel Alonso Mielgo

RESUMEN

En el Trabajo Fin de Máster que se presenta titulado “**Análisis comparado del cultivo convencional y ecológico del almendro: Situación actual, labores agrícolas diferenciales y sustentabilidad**”, se ha realizado un estudio comparativo del almendro convencional y almendro ecológico, bajo diferentes aspectos.

En primer lugar, se han tenido en cuenta las extensiones del cultivo del almendro a nivel de Andalucía, España y mundo. En segundo lugar, se presentan el laboreo del suelo, control de hierbas, fertilización y cuáles son los tratamientos agrícolas en el almendro convencional y ecológico para combatir plagas y enfermedades, tanto de carácter químico como ecológico, para compararlos y conocer así qué compuestos químicos pudieran estar presentes en el almendro, consecuencia de una mala praxis agrícola.

Por último, se plantea la emisión de gases de efecto invernadero, eficiencia energética y balance económico, que son tres temas relevantes de la sustentabilidad en el almendro, que tienen como objetivo lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo, protegiendo los sistemas naturales del planeta y proveyendo una alta calidad de vida para las personas.

Palabras clave: almendro, cultivo, ecológico, estadísticas, laboreo del suelo, control de hierbas, fertilización, control y plagas de enfermedades, sostenibilidad, gases de efecto invernadero (GHG, CO₂, CO), eficiencia energética y balance económico.

ABSTRACT

The following MSc Thesis, titled "**Comparative Analysis of Conventional and Organic Almond Cultivation: Current Situation, Differential Agricultural Practices, and Sustainability**", a comparative study of conventional and organic almond trees has been carried out under different aspects.

Firstly, the extent of almond cultivation in Andalusia, Spain and the world has been taken into account. Secondly, soil tillage, weed control, fertilization and the agricultural treatments in conventional and organic almond trees to combat pests and diseases, both chemical and organic, are presented in order to compare them and thus find out what chemical compounds could be present in almond trees as a result of poor agricultural practices.

Finally, the emission of greenhouse gases, energy efficiency and economic balance are considered, which are three relevant topics of sustainability in almond trees, which aim to achieve sustained economic prosperity over time, protecting the planet's natural systems and providing a high quality of life for people.

Key words: almond tree, cultivation growing, organic, statistics, soil tillage, weed control, fertilisation, fertilization, fertilising, pest control, pest management, disease control, sustainability, greenhouse gases (GHG, CO₂, CO equivalent), energy efficiency y economic balance.

A la vista del texto final del TFM presentado por “Antonio Jesús Jiménez González”, con título “Análisis comparado del cultivo convencional y ecológico del almendro: Situación actual, labores agrícolas diferenciales y sustentabilidad.”, doy el visto bueno a su presentación y defensa ante el tribunal correspondiente al cumplir los criterios suficientes de calidad en su contenido y forma. Para que surja y conste los efectos oportunos, lo firmo a día 10 de septiembre de 2024.

Tutor: Antonio Manuel Alonso Mielgo

ÍNDICE

Resumen	2
1. INTRODUCCIÓN	9
2. JUSTIFICACIÓN	11
3. OBJETIVOS	11
4. METODOLOGÍA	13
5. SITUACIÓN ACTUAL DEL CULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO DEL ALMENDRO	15
5.1. EL ALMENDRO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO EN EL MUNDO	15
5.2. EL ALMENDRO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO EN ESPAÑA	21
5.3. EL ALMENDRO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO EN ANDALUCÍA	27
6. LABORES AGRÍCOLAS DIFERENCIALES ENTRE EL CULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO DEL ALMENDRO	31
6.1. LABOREO DEL SUELO Y CONTROL DE HIERBAS	31
6.1.1. Almendro convencional	31
<i>6.1.1.1. Laboreo o suelo desnudo</i>	31
<i>6.1.1.2. No laboreo o no cultivo</i>	34
<i>6.1.1.3. Cubiertas permanentes</i>	38
<i>6.1.1.4. Acolchado o Mulching</i>	40
<i>6.1.1.5. Cubiertas vegetales mixtas</i>	41
6.1.2. Almendro ecológico	41
6.2. FERTILIZACIÓN	44
6.2.1. Almendro convencional	44
<i>6.2.1.1. Fundamentos de la fertilización</i>	44
<i>6.2.1.2. Función de los nutrientes en la fertilización</i>	45
<i>6.2.1.3. Consideraciones clave sobre la fertilización</i>	50
<i>6.2.1.4. Evaluación de los requerimientos de fertilización</i>	52
<i>6.2.1.5. Fertilización mineral</i>	55
<i>6.2.1.6. Fertirrigación</i>	59
6.2.2. Almendro ecológico	61
6.3. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	65
6.3.1. Plagas principales y tratamientos en el almendro	65

6.3.1.1.	<i>Pulgón verde (Myzus persicae)</i>	65
6.3.1.2.	<i>Gusano cabezudo (Capnodis tenebrionis)</i>	65
6.3.1.3.	<i>Minadora de los brotes y frutos (Anarsia lineatella)</i>	66
6.3.1.4.	<i>Mosquito verde (Jacobiasca lybica Berg, Asymmetrasca decedens Paoli)</i>	67
6.3.1.5.	<i>Tigre (Monosteira unicastata)</i>	68
6.3.1.6.	<i>Araña amarilla y roja (Eotetranychus carpini, Tetranychus urticae, Panonychus ulmi)</i>	69
6.3.1.7.	<i>Nematodo Meloidogyne</i>	69
6.3.1.8.	<i>Barrenillo (Scolytus amygdali)</i>	70
6.3.1.9.	<i>Orugueta (Aglaope infausta)</i>	70
6.3.2.	Enfermedades principales y tratamientos en el almendro	73
6.3.2.1.	<i>Monilia o podredumbre parda (Monilinia sp.)</i>	74
6.3.2.2.	<i>Mancha ocre (Polystigma ochraceum)</i>	74
6.3.2.3.	<i>Cribado o perdigonado (Coryneum beijerinckii / Stigmia carpophila)</i>	75
6.3.2.4.	<i>Lepra o abolladura (Taphrina deformans)</i>	76
6.3.2.5.	<i>Verticilosis (Verticillium dahliae)</i>	76
6.3.2.6.	<i>Chancro de las ramas (Fusicoccum amygdali)</i>	77
6.3.2.7.	<i>Roya (Tranzschella pruni-spinosae)</i>	78
6.3.2.8.	<i>Podredumbre del cuello (Phytophthora spp)</i>	79
7.	SUSTENTABILIDAD DEL CULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO DEL ALMENDRO	82
7.1.	EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	83
7.2.	EFICIENCIA ENERGÉTICA	87
7.3.	BALANCE ECONÓMICO	91
8.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	94
9.	BIBLIOGRAFÍA	98

Índice de figuras

Figura 1. Almendro de Valencia	9
Figura 2. Plan de trabajo o cronograma	14
Figura 3. Evolución de la superficie mundial de almendro (ha)	15
Figura 4. Porcentaje de la superficie mundial de almendro en el año 2022	16
Figura 5. Evolución de la superficie mundial de almendro ecológico (ha)	19
Figura 6. Porcentaje de la superficie mundial de almendro ecológico en el año 2022	19
Figura 7. Evolución de la superficie total de almendro nacional (ha)	23
Figura 8. Porcentaje de la superficie nacional de almendro distribuido por CCAA en el año 2022	24
Figura 9. Evolución de la superficie total de almendro nacional ecológico (ha)	26
Figura 10. Porcentaje de la superficie nacional de almendro ecológico distribuido por CCAA en el año 2022	26
Figura 11. Evolución de la superficie total de almendro en Andalucía (ha)	28
Figura 12. Porcentaje de superficie provincial de producción de almendra en Andalucía	29
Figura 13. Evolución de la superficie total de almendro ecológico en Andalucía (ha)	30
Figura 14. Distribución provincial en Andalucía de superficie ecológica de almendro en el año 2022	30
Figura 15. Distribución provincial en porcentaje de la superficie ecológica de almendro en Andalucía en el año 2022	30
Figura 16. Manejo del suelo mediante laboreo tradicional	33
Figura 17. Árboles jóvenes secos por rotura de raíces debido al laboreo excesivo	33
Figura 18. No laboreo. Aplicación de herbicidas en explotación de almendros	37
Figura 19. Cubierta vegetal inerte de restos de poda	39
Figura 20. Cubierta inerte de piedras	39
Figura 21. Acolchado o Mulching	40
Figura 22. Manejo del suelo mixto: bajo copa (desnudo); centro calle (laboreo o cubierta)	41
Figura 23. Pulgón verde (<i>Myzus persicae</i>)	65
Figura 24. Larvas del gusano cabezudo	66
Figura 25. Gusano cabezudo adulto	66
Figura 26. Larva de <i>Anarsia</i> en almendra	67
Figura 27. Mosquito verde adulto	68

Figura 28. Detalle ninfas y mudas de tigre del almendro en hoja en seto	68
Figura 29. Detalle adulto tigre del almendro en hoja en seto	68
Figura 30. Araña amarilla de almendro	69
Figura 31. Barrenillo del almendro	70
Figura 32. Orugeta del almendro	71
Figura 33. Porcentaje de compuestos químicos utilizados en almendro convencional para el tratamiento de plagas	73
Figura 34. Porcentaje de compuestos naturales utilizados en almendro ecológico para el tratamiento de plagas	73
Figura 35. Monilia o podredumbre parda del almendro	74
Figura 36. Mancha ocre del almendro	75
Figura 37. Daños en la almendra por Cribado	75
Figura 38. Lepra en almendro	76
Figura 39. Verticilosis en almendro	77
Figura 40. Almendro con ramas afectadas por <i>fusicocum</i> o <i>chancro</i>	78
Figura 41. Yema con chancro producido por <i>fusicocum</i> o <i>chancro</i>	78
Figura 42. Hoja de almendro con pústulas en el envés causadas por roya	78
Figura 43. Cuello afectado por podredumbre	79
Figura 44. Tejidos internos afectados	79
Figura 45. Porcentaje de compuestos químicos utilizados en almendro convencional para el tratamiento de enfermedades	81
Figura 46. Porcentaje de compuestos químicos utilizados en almendro ecológico para el tratamiento de enfermedades	81
Figura 47. Ciclo del carbono	84
Figura 48. Energía solar fotovoltaica	90
Figura 49. Energía mini-hidráulica	90
Figura 50. Energía eólica	90

Índice de tablas

Tabla 1. Superficie mundial de almendro (ha)	16
Tabla 2. Superficie mundial de almendro ecológico (ha)	18
Tabla 3. Evolución de la superficie total de almendra nacional en plantación regular (ha)	22
Tabla 4. Evolución de la superficie total de almendro ecológico en España	25
Tabla 5. Evolución de la superficie total de almendro en Andalucía (ha)	27
Tabla 6. Distribución provincial de la superficie en producción de almendra en Andalucía (ha)	28
Tabla 7. Distribución provincial de producción (toneladas) de almendra en Andalucía (ha)	28
Tabla 8. Evolución de la superficie de almendro ecológico en Andalucía (ha)	29
Tabla 9. Elementos necesarios en las plantas	45
Tabla 10. Estimación de extracción e inmovilización de elementos	56
Tabla 11. Unidades de fertilizantes para distintos valores de cosecha	56
Tabla 12. Plan de abonado en almendro (secano con abonos simples)	58
Tabla 13. Ritmo de aplicación de los abonos	60
Tabla 14. Distribución del fertilizante	61
Tabla 15. Tipos de tratamientos para las plagas del almendro	71
Tabla 16. Tratamientos para las plagas del almendro	71
Tabla 17. Tipos de tratamientos para las enfermedades del almendro	80
Tabla 18. Tratamientos para las enfermedades del almendro	80

1. INTRODUCCIÓN

El almendro (*Prunus dulcis*) es un frutal caducifolio incluido en los frutos secos. Era considerado como un frutal marginal, cultivado en secano, en los peores suelos y sin apenas labores culturales. En los últimos años se ha convertido en un frutal alternativo (*Figura 1*) muy rentable en suelos fértiles, con variedades apropiadas al clima y realizando las labores culturales adecuadas (Alghamdi and Alsabehi, 2024; MAPA, 2023).

El cultivo del almendro tiene una gran importancia en la región de Andalucía, siendo una de las principales zonas productoras de España. En Andalucía, las provincias de Almería y Granada destacan por su alta producción, gracias a las condiciones climáticas favorables y a la adaptación del cultivo a terrenos secos y semiáridos. A nivel nacional, España es uno de los mayores productores de almendra en Europa, compitiendo con países como Estados Unidos y Australia a nivel mundial. A nivel global, Estados Unidos, principalmente California, lidera la producción mundial, seguido de países como España, Australia y Turquía (MAPA, 2023; FAOSTAT, 2024).



Figura 1. Almendro de Valencia
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

El laboreo del suelo en el cultivo del almendro es esencial para garantizar una buena estructura del suelo y facilitar la infiltración del agua. En muchas explotaciones se practica el laboreo reducido o mínimo para conservar la humedad del suelo y prevenir la erosión. Este tipo de laboreo, además, reduce los costos operativos y contribuye a mantener la estructura natural del suelo (Barbás et al., 2023).

El control de hierbas en el cultivo del almendro se realiza mediante métodos mecánicos, químicos y biológicos. El control mecánico incluye el uso de herramientas como desbrozadoras y arados. El control químico se realiza mediante la aplicación de herbicidas selectivos, especialmente durante las primeras etapas de crecimiento del cultivo. El control biológico se basa en la introducción de plantas de cobertura que compiten con las hierbas y mejoran la fertilidad del suelo (Richard et al., 2023; MAPA, 2024; Pekrun et al., 2023).

La fertilización del almendro es clave para maximizar la productividad. Es común el uso de fertilizantes nitrogenados, fosforados y potásicos en función de las necesidades específicas del cultivo y las características del suelo. En los últimos años, se ha incrementado el uso de fertilización orgánica, que mejora la estructura del suelo y reduce la dependencia de insumos químicos, contribuyendo a la sostenibilidad del cultivo (Zhang et al., 2024; Saravana et al., 2024; Srinivasarao et al., 2023).

El almendro es susceptible a varias plagas y enfermedades, como la polilla del almendro (*Anarsia lineatella*) y la mancha ocre (*Polystigma ochraceum*). El control integrado de plagas (CIP) es una estrategia clave, combinando prácticas culturales, biológicas y químicas para mantener las poblaciones de plagas y enfermedades por debajo de niveles que puedan causar daño económico, se promueve el uso de productos fitosanitarios selectivos (Hamby et al., 2015; López et al., 2016).

La sustentabilidad en el cultivo del almendro se enfoca en prácticas agrícolas que preserven el medio ambiente y garanticen la viabilidad económica a largo plazo. Se promueve la gestión eficiente del agua, la reducción en el uso de productos químicos y la implementación de técnicas que mejoren la salud del suelo y la biodiversidad del agroecosistema (Trigo et al., 2021; Kelly, 2023).

El cultivo del almendro contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente a través del uso de fertilizantes nitrogenados y la maquinaria agrícola. Sin embargo, las prácticas sostenibles como el laboreo reducido, la fertilización orgánica y el manejo integrado de cultivos pueden reducir significativamente estas emisiones. Además, los almendros, como árboles perennes, tienen la capacidad de capturar carbono, lo que puede compensar parte de las emisiones generadas (Aguilera et al., 2019).

La eficiencia energética en el cultivo del almendro se mide por la relación entre la energía consumida en la producción y la energía obtenida de la cosecha. La implementación de tecnologías como el riego por goteo, el uso de maquinaria eficiente y la reducción de labores innecesarias contribuyen a mejorar la eficiencia energética del cultivo (Salimi et al., 2023).

El balance económico del cultivo del almendro depende de diversos factores, incluyendo los costos de producción (insumos, mano de obra, maquinaria) y los ingresos obtenidos por la venta de la cosecha. En los últimos años, el precio de la almendra ha sido favorable, impulsando la rentabilidad del cultivo (Reisman, 2020; Quintanilla-Albornoz et al., 2024).

2. JUSTIFICACIÓN

En el presente trabajo plantea el estudio de las labores agrícolas diferenciales entre el cultivo convencional y ecológico del almendro con el objetivo de lograr rentabilidad económica, sostenibilidad y sustentabilidad en el tiempo y proporcionar una calidad de vida óptima para el ciudadano, sin que esto perjudique a los sistemas naturales de la tierra.

Posteriormente, se estudia en paralelo los tratamientos agrícolas aplicados en el cultivo del almendro, tanto convencional como ecológico, para combatir sus plagas y enfermedades. De esta manera, se podrá prever la presencia de posibles contaminantes en la almendra procedentes del uso inadecuado de los productos fitosanitarios permitidos con distinta naturaleza en cada caso, para los cultivos convencionales y ecológicos.

Como resultado de la investigación desarrollada se podrá justificar y discutir sobre las diferencias y beneficios que a priori supone el cultivo ecológico del almendro en particular y para cualquier producto agrícola, en general, con prácticas agrícolas sustentables en torno al uso óptimo de los recursos naturales sin dañar el medio ambiente.

Al mismo tiempo la producción ecológica debe ser una garantía en toda la cadena alimentaria que asegure productos de mejor calidad, bajo el punto de vista de su inocuidad, por tanto, exentos de la presencia de contaminantes y residuos tóxicos.

3. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es:

- Estudiar las extensiones de zonas productoras de almendro convencional y ecológico, las plagas, enfermedades y sus tratamientos agrícolas.

Los objetivos específicos son:

- Conocer el laboreo del suelo, control de hierbas y fertilización en el almendro convencional y ecológico.
- Clasificar los distintos productos fitosanitarios empleados en el almendro convencional y ecológico.
- Estudiar los tres temas relevantes sobre la sustentabilidad del cultivo convencional y ecológico del almendro: emisión de gases de efecto invernadero, eficiencia energética y balance económico.

Las líneas de investigación más destacadas para el desarrollo y modernización del sector del almendro son (Marcelo, 2008):

- a) La mejora de la gestión del riego para lograr ahorro de agua sin un impacto importante sobre la producción. Hay que desarrollar herramientas que optimicen el riego y la fertilización con aceptación entre los agricultores.
- b) Mejorar la eficiencia hídrica en los procesos de extracción de aceite de almendra, se consigue una reducción de efluentes líquidos contaminantes de la almazara, con el consiguiente menor impacto medioambiental.
- c) Estudiar la resistencia del almendro a enfermedades como Verticilosis y Podredumbre radical de Fitoftora.
- d) Investigar los beneficios para la salud del consumo de almendra y sus derivados porque hay pocos estudios.
- e) Se tiene que iniciar tecnologías punteras para el manejo de los cultivos de almendro. Así, se debe promover la implantación de redes de sensores y el empleo de técnicas de teledetección para la mejora de la gestión de dichas explotaciones.
- f) Selección de genotipos adaptados al cultivo ecológico.
- g) Reducir el impacto medioambiental del almendro y sus residuos, mejorando las cualidades agronómicas y nutricionales de los aceites y leches obtenidas.

Además, es importante saber que la seguridad alimentaria en el almendro contribuye a cumplir los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (MDSCA, 2021):

- **ODS 2: Hambre cero.** Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible. La agricultura y el sector alimentario son fundamentales para eliminar el hambre y la pobreza. Actualmente la tierra y el agua de los océanos y de los ríos se están degradando y sufren los efectos de la sobreexplotación. La reforma del sistema agrario y alimentario en todo el mundo es fundamental para que puedan comer todas las personas que pasan hambre.
- **ODS 3: Salud y bienestar.** Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todas las personas en todas las edades. Este objetivo es la base de todos los demás porque para alcanzar el resto de ODS es necesario garantizar y promover la salud y el bienestar.

- **ODS 13: Acción por el clima.** Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. El cambio climático es una realidad y está produciendo efectos negativos en las personas, en la economía y en la naturaleza.
- **ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres.** Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de la biodiversidad. Más del 30% de la superficie de la tierra está cubierta por bosques y los árboles son elementos esenciales para frenar el cambio climático.

4. METODOLOGÍA

El apartado de metodología queda estructurado en varias secciones:

- Ámbito de estudio.** Para alcanzar los objetivos previstos, se parte de la historia del almendro y de su extensión a nivel nacional y mundial, continúa con el laboreo del suelo, control de hierbas, fertilización, plagas y enfermedades del almendro, para acabar con los tres temas relevantes sobre la sustentabilidad del cultivo convencional y ecológico del almendro: emisión de gases de efecto invernadero, eficiencia energética y balance económico.
- Criterios de inclusión y exclusión.** En caso de encontrar un artículo repetido o bibliografía repetida en varias publicaciones se incluye aquel publicado en una fuente de mayor factor de impacto y/o aquel publicado más recientemente.
- Procedimiento de muestreo.** Con los conocimientos alcanzados en el *Máster Universitario en Agroecología: Un enfoque de Transformación Sustentable de los Sistemas Agroalimentarios*, se va a realizar una búsqueda, tanto bibliográfica, como de notas de prensa, artículos virtuales y tesis doctorales, con el fin de recabar datos y puntos de vista de expertos y expertas en el sector del almendro que los complementen.
- Diseño del estudio.** A lo largo de este TFM, el estudio se centrará en los siguientes contenidos:
 - El almendro convencional y ecológico en Andalucía, España y el mundo.
 - Laboreo del suelo, control de hierbas y fertilización.
 - Principales plagas del almendro y sus tratamientos.

- Principales enfermedades del almendro y sus tratamientos.
- Sustentabilidad del cultivo convencional y ecológico del almendro: emisión de gases de efecto invernadero, eficiencia energética y balance económico.

d) Recogida de datos y fuentes de información. Se va a proceder a consultar una elevada cantidad de bibliografía actual en PubMed/Medline, Scopus, Google Scholar, Proquest, Sciencedirect y manualmente a través de Internet en revistas, tesis doctorales y organismo públicos. Las palabras clave utilizadas son: almendro, cultivo, ecológico, estadísticas, laboreo del suelo, control de hierbas, fertilización, plagas, enfermedades, sostenibilidad, gases de efecto invernadero, eficiencia energética y balance económico.

e) Análisis de datos. Se examinan y estudian las distintas fuentes de información bibliográfica (notas de prensa, artículos virtuales, tesis doctorales, revistas y libros de organismos públicos) para recoger los datos principales sobre los diferentes puntos del estudio.

f) Dificultades y limitaciones del estudio. Las fuentes de información para la realización del estudio son limitadas.

g) Plan de trabajo o cronograma (Figura 2).

Es el siguiente:

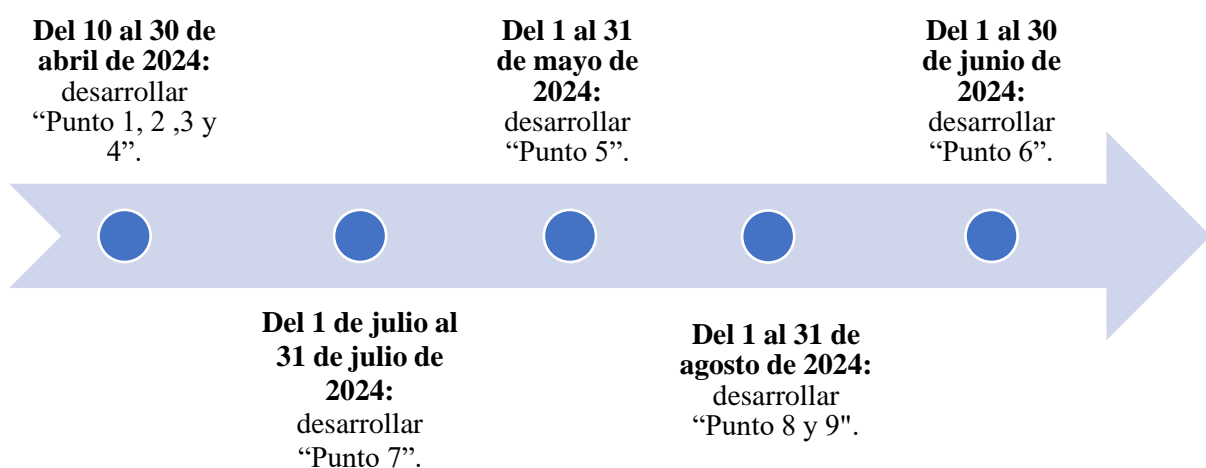


Figura 2. Plan de trabajo o cronograma
Fuente: elaboración propia

5. SITUACIÓN ACTUAL DEL CULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO DEL ALMENDRO.

5.1. EL ALMENDRO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO EN EL MUNDO

El área mundial plantada de almendros alcanzó 2.385.642 hectáreas en el año 2022, 2.300.313 hectáreas en el año 2021 y 2.213.400 hectáreas en el año 2020 según cifras de FAOSTAT (2024) (*Figura 3*). Esta superficie ha permanecido estable durante los años 2010 a 2015 en España y aumentando hasta el año 2022. En el año 2022, España concentra un tercio de la superficie mundial de almendros (31,92%), seguida por Estados Unidos, que capta el 22,9%; Marruecos (9,48%), Túnez (8,16%), Irán (3,1%), Portugal (2,68%), Turquía (2,65%), Libia (2,59%), Australia (2,42%), Italia (2,26%), Afganistán (1,55%), Argelia (1,54%) y el resto de países presenta un 8,73%. Los seis primeros países representan el 78,24% de la superficie total (FAOSTAT, 2024).

La evolución de la superficie mundial de almendro en hectáreas (*Figura 3*) es la siguiente:

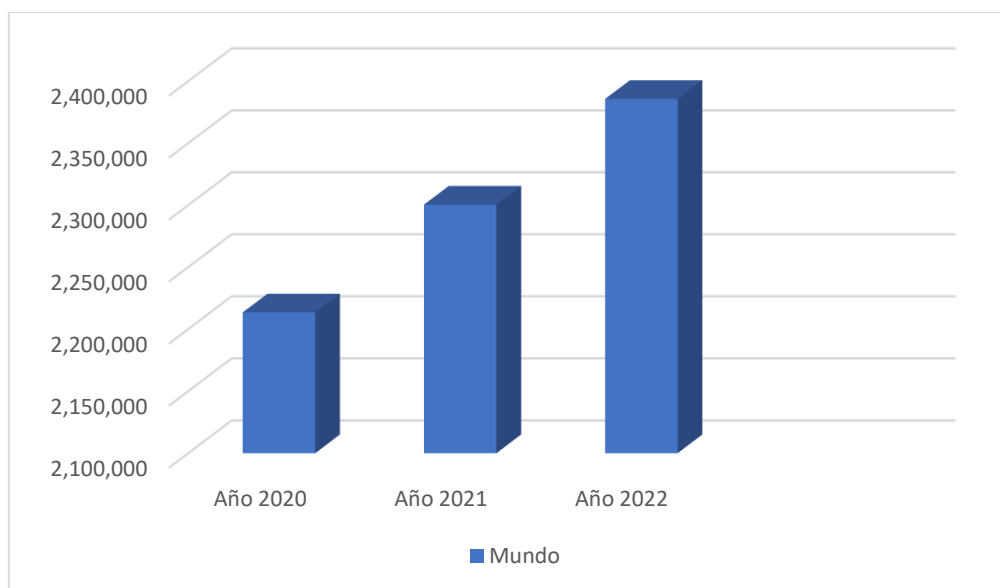


Figura 3. Evolución de la superficie mundial de almendro (ha)

Fuente: FAOSTAT (2024)

Podemos observar en la *Tabla 1* y *Figura 4* como España, EEUU, Marruecos y Túnez son los países con mayor superficie de almendro en el año 2022 (FAOSTAT, 2024).

Tabla 1. Superficie mundial de almendro (ha)

Fuente: FAOSTAT (2024)

País	Hectáreas		
	2020	2021	2022
España	718.540	744.470	761.660
EEUU	505.863	534.191	546.332
Marruecos	209.233	219.013	226.213
Túnez	176.416	185.703	194.785
Irán	78.829	73.857	73.857
Portugal	52.340	58.400	63.880
Turquía	52.370	57.732	63.266
Libia	58.270	53.980	61.882
Australia	47.239	51.971	57.872
Italia	52.650	53.720	53.890
Afganistán	22.134	36.862	37.000
Argelia	34.542	32.492	36.684
Resto	204.974	197.922	208.321
Mundo	2.213.400	2.300.313	2.385.642

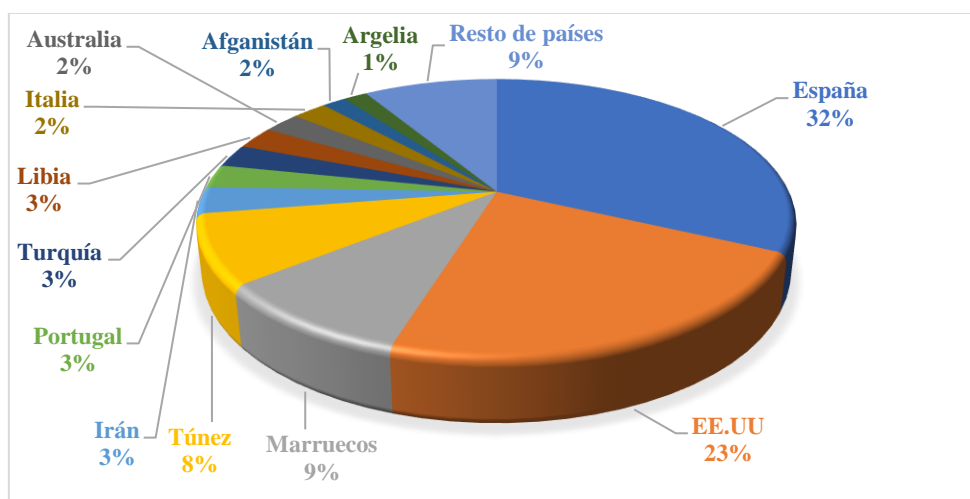


Figura 4. Porcentaje de la superficie mundial de almendro en el año 2022

Fuente: FAOSTAT (2024)

Según el Anuario Estadístico Internacional de frutos secos 2018/2019, las almendras son el fruto seco más consumido en las economías de altos ingresos, representando el 39%, seguidas de las nueces, los anacardos y las avellanas, lo que demuestra una gran importancia en este campo de la bioeconomía de frutos secos (Ribeiro Campos et al., 2023).

A escala global, la producción de almendra está liderada por Estados Unidos, más concretamente por el estado de California, con alrededor del 79% de la producción. Este es el país de referencia en términos de precios, tipificación de productos, promoción y comunicación. En la temporada 2019-2020, la tasa de producción promedio en California fue de 2.400 kg de almendras/ha debido a la producción altamente tecnológica enfocada en cultivares de cáscara blanda, no autofértiles y cosecha en tierra (Orozco et al., 2024).

En segundo lugar, se encuentra Australia, con una producción de 104.437 toneladas utilizando un modelo de producción como el americano. La Unión Europea (UE) aporta sólo alrededor del 6% de la producción mundial. Otros países con algunas tasas de producción interesantes son Túnez, Irán, Chile, Turquía y Marruecos (Ribeiro Campos et al., 2023).

Como he comentado anteriormente, en EEUU, Valle Central en California, es un potencial enorme en la producción mundial de almendras y produce el 80% del suministro mundial. En Estados Unidos, la industria de la almendra de California tiene la distinción de ser el principal cultivo de exportación. Además, dentro del estado de California, las almendras son la mayor superficie de cultivo en comparación con cualquier otro cultivo, es un área que continúa expandiéndose anualmente (Orozco et al., 2024).

Por lo tanto, se presenta un importante estudio de caso para comprender los cambios fenológicos impulsados por el clima y sus consiguientes impactos en la idoneidad de la tierra. La fenología del almendro está intrínsecamente ligada a factores climáticos; una floración temprana puede comprometer el cuajado de frutos debido a una posible exposición tardía a las heladas, mientras que una floración tardía puede enfrentar la inactividad del polen debido a las altas temperaturas (Orozco et al., 2024). Se ofrece una visión general de los principales recursos genéticos disponibles, objetivos de mejoramiento genético y logros en cuanto a su mejoramiento hacia limitaciones bióticas y abióticas tanto en Portugal como en el resto del mundo (Ribeiro Campos et al., 2023).

La producción de almendras juega un papel muy importante en el contexto socioeconómico portugués, especialmente en lo que respecta a la producción de frutos secos. De hecho, Portugal es el tercer productor de almendras en Europa, produciendo 41.450 toneladas de almendra con cáscara en 2021. Esto se debe a sus condiciones edafoclimáticas favorables para su producción (Ribeiro Campos et al., 2023).

La dilatada trayectoria del almendro en el campo nos ha llevado a considerar razones no estrictamente productivas o comerciales para entender tanto su expansión como su regresión. Entre las principales, el carácter multifuncional del cultivo y su capacidad para proveer a las economías campesinas de determinados productos (combustible, abono, pienso para el ganado, etc.) que resultaron cruciales para el reinicio de los ciclos productivos de muchas explotaciones, incluidas las de mayor tamaño. Desde esta perspectiva, la perpetuación del cultivo tradicional y, sobre todo, la resistencia a los cambios o las dificultades de afrontarlos con éxito debido a

las características del país, muchos pequeños campesinos compatibilizaron su cultivo con el ejercicio de otras actividades; muy especialmente con el trabajo relacionado con el turismo o la construcción (Morey y Fornés, 2021).

España, con una superficie de almendro ecológico de 245.923 hectáreas (FiBL Statistics, 2024) y una producción estimada de 55.588 toneladas de almendra en cáscara, es la primera potencia mundial en almendra ecológica, según los datos de Producción Ecológica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2022).

El área mundial plantada de almendros ecológicos alcanzó 257.874 hectáreas en el año 2022, 234.673 hectáreas en el año 2021 y 4.646 hectáreas en el año 2020 según cifras de FiBL Statistics 2024 (*Figura 5-6 y Tabla 2*). Esta superficie ha permanecido estable durante los años 2021 y 2022. En el año 2022, España presenta un 95% de la superficie mundial de almendros, seguida por Estados Unidos, que capta el 2%; Túnez (1%), Turquía (1%) y el resto de países en su conjunto presenta el 1% (Argentina, Chile, Ecuador, Georgia, Irán, Israel, Líbano, Moldavia, Marruecos, Macedonia del Norte, Palestina, Sur África y Uzbequistán) (FiBL Statistics 2024).

La superficie los países productores de almendra ecológica (*Tabla 2 - Figura 5*) es la siguiente (FiBL Statistics 2024):

Tabla 2. Superficie mundial de almendro ecológico (ha)
Fuente: FiBL Statistics (2024)

País	Hectáreas		
	2020	2021	2022
Argentina	7,5	29,13	15,60
Chile	306,6	621,9	389
Ecuador	0	0	0,03
Georgia	0	0	74
Irán	30,6	764	768,2
Israel	8,26	5	28,6
Líbano	1,21	1,21	1,05
Moldavia	99,50	127,10	140,53
Marruecos	0	0	130
Macedonia del Norte	0	0	193,89
Palestina	192,3	123,9	109,5
Sur África	0,33	0,33	0,33
España	0	222.024,03	245.923,14
Túnez	1.604	1.533,85	1.571,7
Turquía	0	4.003,42	3.091,29
EEUU	2.394,7	5.411	5.411
Uzbequistán	0	0	26,42
Jordania	1,99	1,99	0
México	0	0,12	0
Ucrania	0	26,31	0
Total Mundo	4646,29	234.673,29	257.874,28

La evolución de la superficie mundial de almendro ecológico en hectáreas (*Figura 5*) es la siguiente:

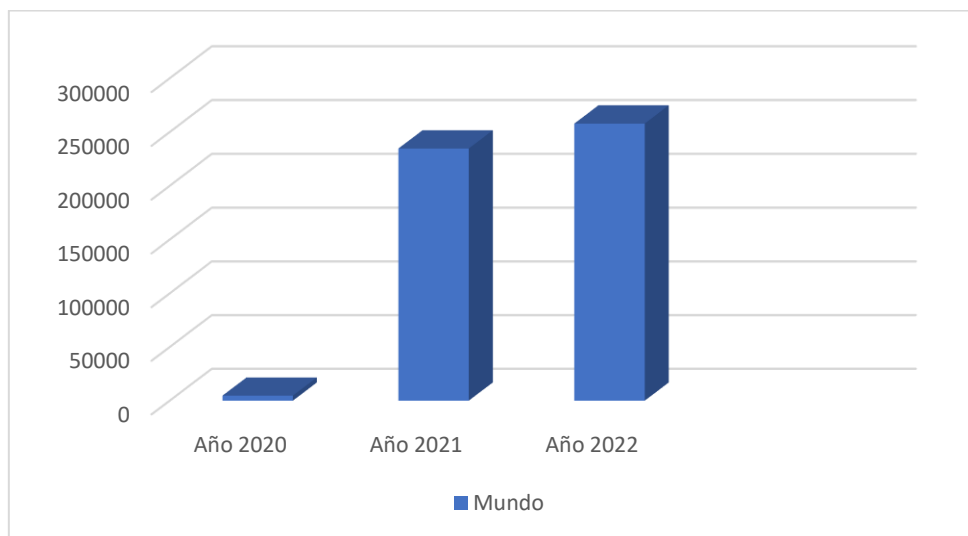


Figura 5. Evolución de la superficie mundial de almendro ecológico (ha)
Fuente: FiBL Statistics (2024)

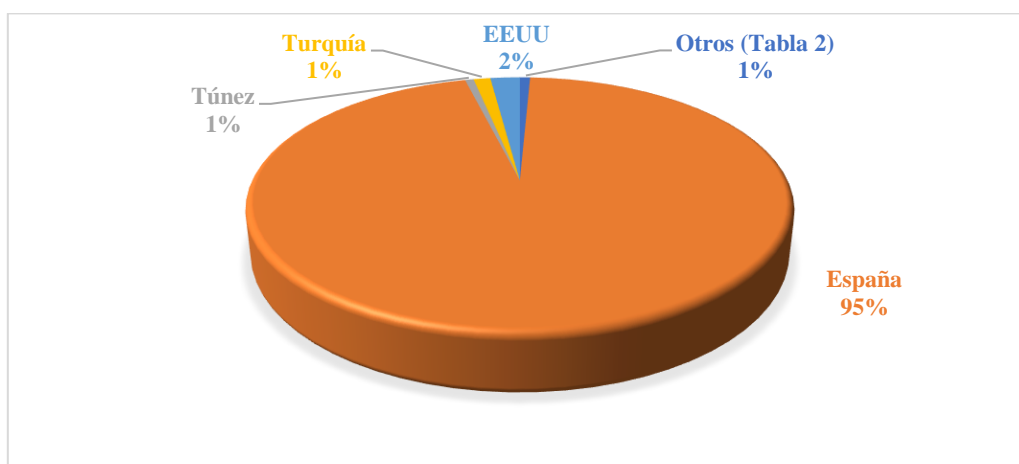


Figura 6. Porcentaje de la superficie mundial de almendro ecológico en el año 2022
Fuente: FiBL Statistics (2024)

Se ha reconocido que las prácticas agrícolas convencionales son el principal impulsor de la degradación de la tierra. Este fenómeno se puede definir como una disminución de la calidad de la tierra por causas antropogénicas y que tiene efectos negativos sobre la productividad agrícola, el medio ambiente, el bienestar humano y la seguridad alimentaria, siendo la degradación de la tierra un proceso global que se extiende mundialmente (Cárceles Rodríguez et al., 2023).

El manejo agroecológico utiliza prácticas como la labranza cero, la cobertura vegetal, la aplicación de enmiendas orgánicas del suelo y otras para equilibrar la productividad agrícola y las funcionalidades ecológicas y mejorar la resiliencia a la biodiversidad externa, perturbaciones físicas (por ejemplo, erosión, sequías, plagas, etc.) (De Leijster et al., 2020).

En este contexto, la degradación y la erosión del suelo son algunos de los principales problemas ambientales de los agroecosistemas mediterráneos, afectando a su sostenibilidad y a la prestación de los servicios ecosistémicos que proporcionan. Se puede afirmar que la conservación del suelo es uno de los principales desafíos ambientales en los agrosistemas semiáridos mediterráneos. Las características del clima mediterráneo con escasas precipitaciones de distribución irregular, sequías severas y tormentas de gran intensidad, junto con una mala estructura del suelo en pendientes pronunciadas, crean condiciones favorables para el desarrollo de la erosión hídrica. Este problema se ve agravado aún más por prácticas inapropiadas como la labranza intensiva, la deforestación y el pastoreo excesivo (Cárceles Rodríguez et al., 2023).

La agroecología es un movimiento agrícola holístico que integra conceptos ecológicos y sociales para diseñar sistemas alimentarios resilientes. Relacionado con la gestión específica del territorio, pretende mejorar los procesos ecológicos internos que optimicen la funcionalidad y resiliencia del sistema agrícola. Para aplicar estos principios se utiliza una amplia gama de prácticas agroecológicas. En la zona mediterránea, se ha identificado que los principios de conservación mínima del suelo, cobertura permanente del suelo y enmienda orgánica del suelo son cruciales para estimular las funciones ecológicas (Aguilera et al., 2020).

Por otro lado, las previsiones para esta región en materia de cambio climático prevén un aumento de las temperaturas, una reducción significativa de la precipitación neta, más variabilidad en la distribución de las lluvias, eventos de sequía más severos y frecuentes, y un aumento en la frecuencia. Por lo cual, el 60% de la productividad mundial de la tierra se ve afectada negativamente por el cambio climático. Para la UE, la pérdida de productividad agrícola debida a la erosión del suelo se ha calculado en un 0,43% anual, lo que representa una pérdida económica de aproximadamente 1.250 millones de euros al año. Por lo tanto, en el contexto del cambio climático, la implementación de medidas de conservación del suelo es esencial para promover la producción agrícola sostenible (Cárceles Rodríguez et al., 2023).

5.2. EL ALMENDRO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO EN ESPAÑA

La almendra (*Prunus dulcis*) es uno de los cultivos de frutos secos más importantes de España en términos de extensión, siendo actualmente el país del mundo con mayor superficie dedicada al cultivo de almendros con alrededor de 761.662 hectáreas en el año 2022, que experimentó un aumento del 34% entre 2011 y 2022 (MAPA, 2023).

A pesar de esto, España es el segundo productor mundial de almendras, con 263.597 toneladas, por detrás de EE.UU., y su rendimiento es diez veces menor. Andalucía, sur de España, contiene alrededor del 30% del cultivo de almendro de España, 240.106 hectáreas en 2022, de los cuales más del 87% son en condiciones de sequía y una producción de alrededor de 102.987 toneladas (MAPA, 2023).

Sin embargo, en los últimos cinco años la superficie de regadío del cultivo se ha expandido de 8 a 26 mil hectáreas, lo que representa un aumento del 8% en ese período. El cambio a un régimen de regadío ha proporcionado mayores rendimientos, más de seis veces en comparación con las tierras de secano (2.500 vs. 350 kg ha⁻¹) destinados a satisfacer la creciente demanda para la producción y consumo de almendra, que ha aumentó el valor comercial de la almendra (Arroyo et al., 2022).

El primer punto a destacar es la innovación varietal, ha aportado variedades autofértiles y de floración tardía, lo que ha permitido una mejor adaptación a climas donde el riesgo de heladas es recurrente. El segundo aspecto a destacar ha sido la evolución en sistemas de formación y poda. Un tercer factor que ha conducido a la mejora de la eficiencia del cultivo ha sido considerar al almendro como una especie frutal, con todo lo que ello conlleva en lo referido a tecnología de producción, en particular protección del cultivo, riego y fertilización (Iglesias et al., 2021).

La superficie de almendro representa el 90% de la superficie nacional de los frutos de cáscara. Su cultivo se realiza mayoritariamente en secano, el 81% de la superficie de almendro a nivel nacional no cuenta con ningún aporte de riego. El cultivo de almendra en España se localiza mayoritariamente en las Comunidades del litoral mediterráneo. Andalucía es la región española con mayor superficie dedicada al cultivo de almendro, le siguen Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana, Aragón, Murcia, Cataluña, Baleares, Extremadura y La Rioja (MAPA, 2023).

Hasta 2011 la superficie nacional dedicada al cultivo del almendro disminuía paulatinamente afectada por baja la rentabilidad del producto. En 2012 y 2013 el precio de la almendra subió considerablemente favoreciendo la estabilidad de la superficie cultivada, pero no fue hasta 2014 cuando se observa un incremento sustancial del número de hectáreas de almendro, tendencia que continúa en 2015. Este cambio de tendencia se fundamenta principalmente en los altos precios percibidos por el productor a partir de 2012 y en las buenas expectativas para la comercialización del producto en los próximos años (CAPDR, 2016).

En la siguiente *Tabla 3* se muestra la evolución de la superficie en las distintas CCAA: Andalucía, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana, Aragón, Murcia, Cataluña, Baleares, Extremadura, La Rioja y el resto de España, teniendo una superficie total en 2022 de 761.662 hectáreas de almendro (MAPA, 2023). La *Figura 7* muestra la evolución de la superficie total de almendra nacional desde el año 2018 hasta el año 2022.

Tabla 3. Evolución de la superficie total de almendra nacional en plantación regular (ha)

Fuente: MAPA (2023)

CCAA	Superficie total en plantación regular (ha)				
	2018	2019	2020	2021	2022
Andalucía	198.983	212.223	224.142	234.100	240.106
Extremadura	9.164	10.276	11.879	13.477	15.845
R. de Murcia	78.564	79.921	81.160	82.706	84.369
C. Valenciana	91.867	92.641	93.441	92.408	91.400
C. La Mancha	123.971	133.153	141.003	150.453	158.360
Baleares	24.032	24.032	24.032	24.032	24.032
Cataluña	39.350	39.139	39.424	40.940	38.933
Aragón	75.075	77.572	83.800	86.098	88.406
La Rioja	9.860	9.981	10.057	10.247	10.283
Resto España	6.902	8.287	9.602	10.005	9.928
Total	657.768	687.225	718.540	744.466	761.662

La evolución de la superficie española de almendro en hectáreas (*Figura 7*) es la siguiente:

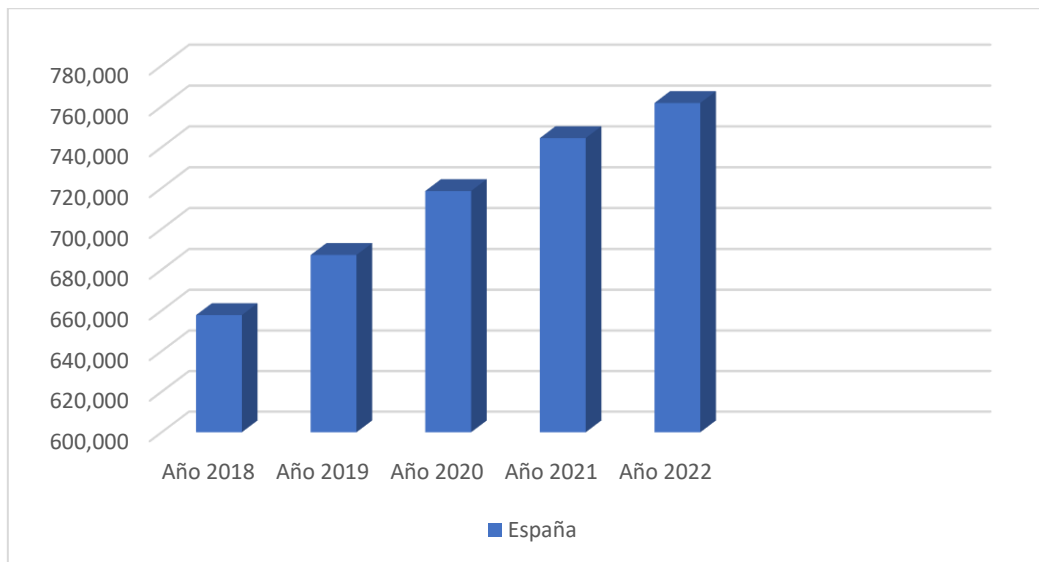


Figura 7. Evolución de la superficie total de almendro nacional (ha)
Fuente: MAPA (2023)

Andalucía es la primera Comunidad Autónoma de España en producción de almendra, le sigue Comunidad Valenciana, Aragón, Región de Murcia, Castilla-La Mancha y Extremadura. La producción nacional de almendra se caracteriza por su irregularidad, estando muy condicionada por la sequía y por la incidencia de heladas que afectan a la floración y al cuajado del fruto (MAPA, 2023; Arroyo et al., 2022; Iglesias et al., 2021).

Es importante destacar la distribución geográfica de la superficie de almendro en España por CC. AA. en 2022 con un total de 761.662 hectáreas: Andalucía presenta 240.106 hectáreas (31,52%), seguida de Castilla-La Mancha con 158.360 hectáreas (20,79%), Comunidad Valenciana con 91.400 hectáreas (12%), Aragón con 88.406 hectáreas (11,61%), Región de Murcia con 84.369 hectáreas (11,7%), Cataluña con 38.933 hectáreas (5,11%), Islas Baleares con 24.032 hectáreas (3,15%), Extremadura con 15.845 hectáreas (2,08%), La Rioja con 10.283 hectáreas (1,35%) y el resto de España con 9.928 hectáreas (1,3%) (MAPA, 2023).

El porcentaje de superficie de almendro en las Comunidades Autónomas anteriormente citadas en el año 2022 (*Figura 8*) es el siguiente:

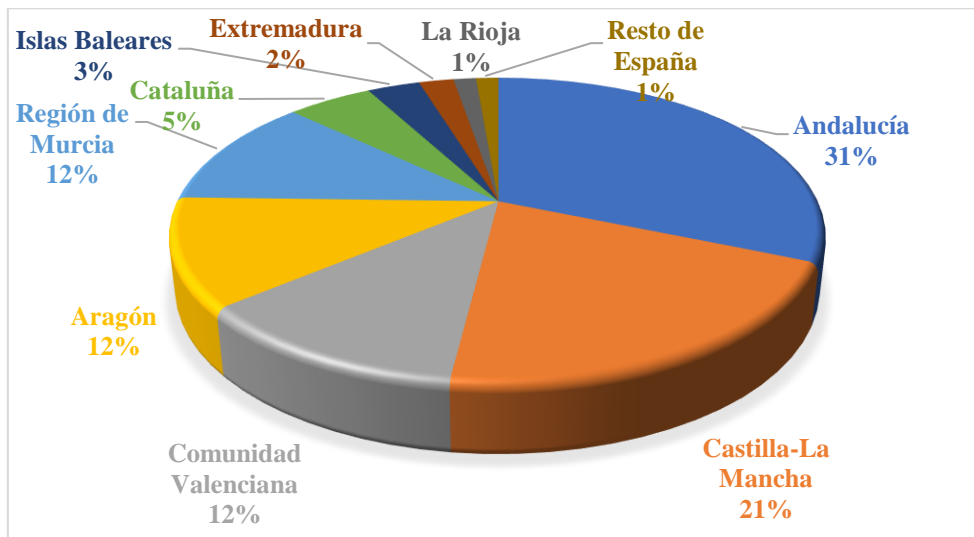


Figura 8. Porcentaje de la superficie nacional de almendro distribuido por CCAA en el año 2022
Fuente: MAPA (2023)

En muchos países mediterráneos, el suelo se está degradando dramáticamente. El arado frecuente perturba el suelo y permite que el viento y el agua erosionen la capa superior del suelo; mientras tanto, la erosión, la compactación y la pobreza de nutrientes reducen la capacidad del suelo para sustentar cultivos. Ya estamos viendo los efectos de este fenómeno a través de la desertificación que ha dejado muchas zonas incapaces de sustentarse por sí mismas (EIT Food, 2021).

Desde el año 2020 está aumentando considerablemente la superficie que adquiere el sistema ecológico debido a las directrices que marca el Pacto Verde Europeo para una producción más respetuosa con el medio ambiente, el cual exige que la superficie agraria útil (SAU) de la UE, al menos un 25% de cada cultivo sea en ecológico (Bielsa y Rubio-Cabetas, 2022).

La gestión extensiva del almendro ecológico exige fuentes específicas de fertilizantes y enmiendas orgánicas, que deben ser validadas mediante normativa específica en un escenario agronómico con una escasez muy importante de abonos tradicionales (Pérez-Murcia et al., 2021). La producción española de almendra ecológica es de 55.588 toneladas en 2022 (MAPA, 2022).

El almendro es un cultivo bastante rústico que se adapta fácilmente a múltiples zonas edafoclimáticas, siendo el cultivo del almendro una solución de valor añadido para zonas marginales y condiciones áridas. Sin embargo, las almendras ecológicas han disfrutado de

precios superiores en comparación con los convencionales, y la prima ha disminuido a medida que ha aumentado la producción orgánica (Pérez-Murcia et al., 2021).

El compostaje a partir de residuos de actividades agroindustriales se puede utilizar en OFC (condiciones de agricultura ecológica), considerando los requisitos de origen y composición establecidos por la legislación. Estrategias de co-compostaje basadas en la combinación de residuos derivados de la agroalimentación, residuos del procesamiento de uva, cítricos y hortícolas, así como desechos ganaderos en explotaciones semi- intensivas, permiten la obtención de compost equilibrados con propiedades de valor añadido para OFC (Pérez-Murcia et al., 2021).

En la siguiente *Tabla 4 - Figura 10* se muestra la evolución de la superficie en las distintas CCAA: Andalucía, Castilla-La Mancha, Región de Murcia, Comunidad Valenciana, Aragón, Cataluña, Extremadura, La Rioja y el resto de España, teniendo una superficie total en el año 2022 de 245.923 hectáreas de almendro ecológico (MAPA, 2022).

Tabla 4. Evolución de la superficie total de almendro ecológico en España
Fuente: MAPA (2022)

CCAA	Superficie total de cultivo ecológico (ha)				
	2018	2019	2020	2021	2022
Andalucía	56.864,75	61.762,96	71.668,03	94.564,09	101.511,59
Extremadura	805,69	874,85	1.018,07	1.226,43	1.672,89
R. de Murcia	30.061,63	30.900,5	32.657,46	43.981,78	50.228,50
C. Valenciana	8.858,78	9.695,99	10.993,25	15.084,98	16.687,41
C. La Mancha	40.192,99	32.934,69	40.619,53	52.611,70	59.238,70
Cataluña	2.494,08	2.605,16	2.815,93	3.410,56	3.728,68
Aragón	2.508,03	2.885,55	4.068,2	8.371,82	9.344,03
La Rioja	675,46	756,11	856,35	979,38	1.319,71
Resto España	996,42	1.207,97	1.380,83	1793,29	2.191,62
Total	143.457,83	143.623,78	166.077,65	222.024,03	245.923,13

La evolución de la superficie española de almendro ecológico en hectáreas (*Figura 9*) es la siguiente:

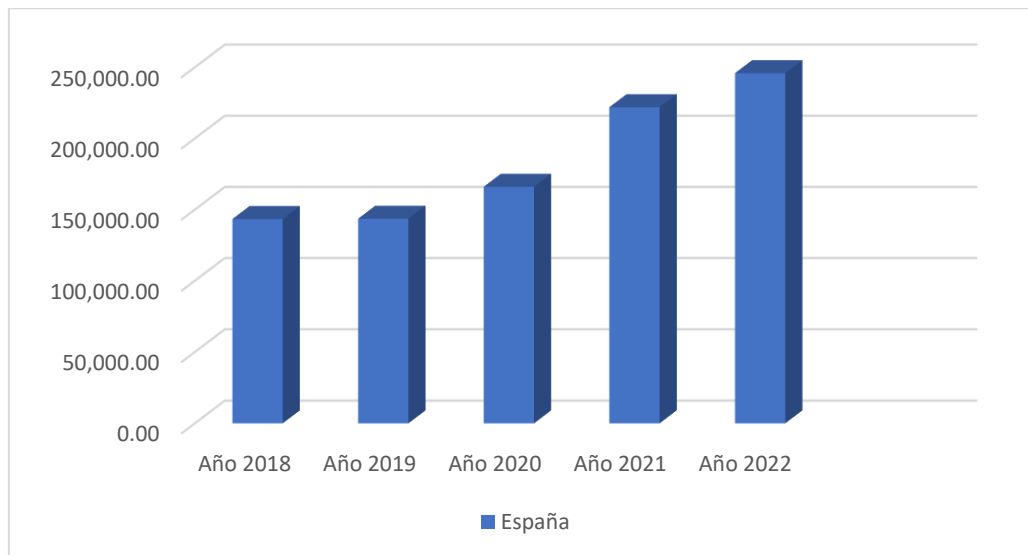


Figura 9. Evolución de la superficie total de almendro nacional ecológico (ha)

Fuente: MAPA (2022)

En 2022, la superficie de almendro ecológico en España sería de 245.923 hectáreas en total, Andalucía presenta 101.511 hectáreas (41,27%), seguida de Castilla-La Mancha con 59.238 hectáreas (24,09%), Región de Murcia con 50.228 hectáreas (20,42%), Comunidad Valenciana con 16.687 hectáreas (6,78%), Aragón con 9.344 hectáreas (3,8%), Cataluña con 3.728 hectáreas (1,52%), Extremadura con 1.672 hectáreas (0,68%), La Rioja con 1.319 hectáreas (0,54%) y el resto de España con 2.191,62 hectáreas (0,99%) (MAPA, 2022).

Por lo tanto, el porcentaje de almendro ecológico en las Comunidades Autónomas anteriormente citadas (Figura 10), es el siguiente (MAPA, 2022):

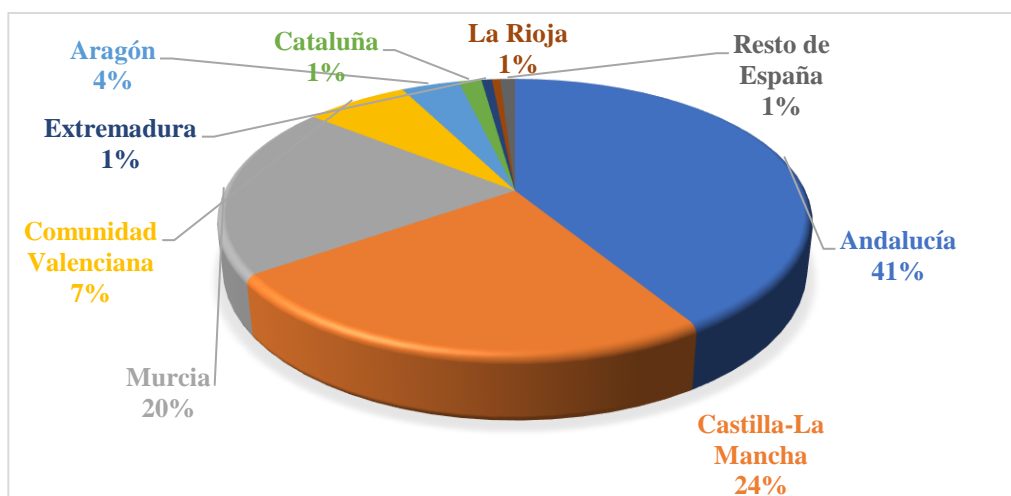


Figura 10. Porcentaje de la superficie nacional de almendro ecológico distribuido por CCAA en el año 2022

Fuente: MAPA (2022)

5.3. EL ALMENDRO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO EN ANDALUCÍA

Andalucía con 209.512 hectáreas en producción, es la región española que posee una mayor implantación de este cultivo (MAPA, 2023). Andalucía lidera el sector de la almendra en el territorio nacional, concentrando el 32% de la superficie y el 39% de la producción española. La superficie andaluza asciende progresivamente desde 2015 gracias al impulso de las plantaciones en regadío, que alcanzan las 38.045 hectáreas, un 10% más que la pasada campaña. A pesar de estos datos, el 84% de la superficie en producción de almendro se encuentra en régimen de secano, centralizando Granada el 55% del secano andaluz y Almería el 30%. Sevilla encabeza la superficie de regadío de la Comunidad, con el 33% del total, seguida de Granada (32%) y Córdoba (16%) (CAPDR Almendra, 2023).

La producción de almendra en Andalucía ha descendido bruscamente por segunda campaña consecutiva, debido a la sequía y a las desfavorables condiciones meteorológicas durante la floración y el cuajado del fruto. Granada es la principal productora andaluza (32%), seguida de Sevilla (25%) y Almería (17%) (CAPDR Almendra, 2023).

A las plantaciones tradicionales de almendro, caracterizadas por su manejo en régimen de secano (87 % de la superficie), por situarse en terrenos con elevada pendiente, y por una alta influencia de heladas tardías que provocan importantes oscilaciones en la cosecha; se están sumando nuevas explotaciones intensivas en régimen de regadío, con un diseño de plantación optimizado, con variedades más productivas y tecnificación de las labores culturales (Iglesias et al., 2021).

El cultivo del almendro ha experimentado un desarrollo espectacular en Andalucía y en España en los últimos años. A partir del año 2018 aumenta la superficie total del cultivo en Andalucía (Tabla 5), que continúa incrementando dicha superficie total hasta el año 2022 (MAPA, 2023).

Tabla 5. Evolución de la superficie total de almendro en Andalucía (ha)

Fuente: MAPA (2023)

	Superficie total en plantación regular (ha)				
Andalucía	2018	2019	2020	2021	2022
Almería	56.155	57.119	58.088	58.533	59.082
Cádiz	914	975	1.510	1.975	2.878
Córdoba	5.096	6.424	9.815	12.698	14.005
Granada	100.898	111.450	117.103	118.654	119.050
Huelva	1.041	1.054	1.244	1.401	1.945

Jaén	4.950	5.224	5.740	6.553	6.801
Málaga	18.585	18.585	18.795	18.931	19.005
Sevilla	11.344	11.392	11.847	15.355	17.340
Total	198.983	212.223	224.142	234.100	240.106

La evolución de la superficie andaluza de almendro en hectáreas (*Figura 11*) es la siguiente:

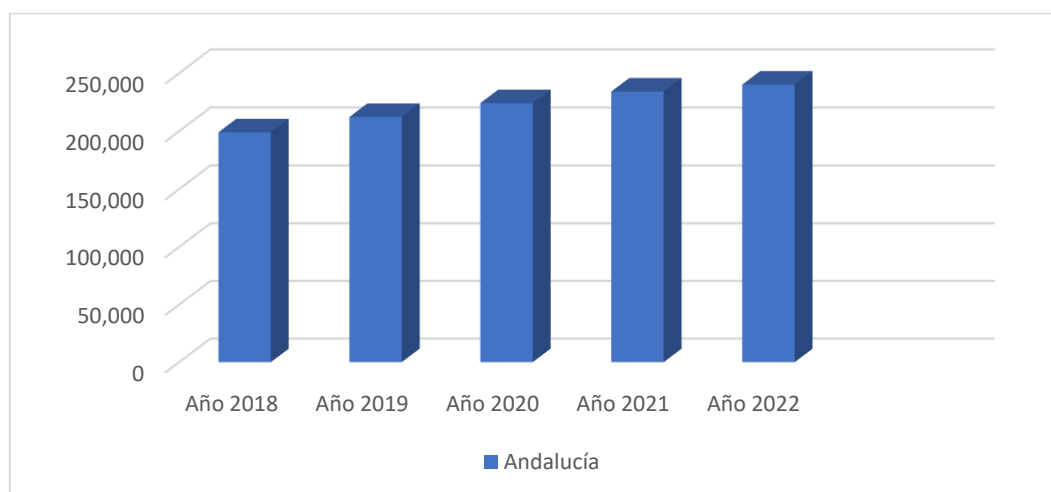


Figura 11. Evolución de la superficie total de almendro en Andalucía (ha)
Fuente: MAPA (2023)

Granada, Sevilla y en menor medida Málaga y Almería son las provincias que han experimentado un mayor incremento en el número de hectáreas en producción, consolidándose Granada y Almería (*Tabla 5-6 y Figura 12*) como las provincias andaluzas con mayor superficie de almendro convencional en producción (CAPDR Almendra, 2023). Por otro lado, Granada, Sevilla y Córdoba son las provincias andaluzas con más producción de almendra convencional (*Tabla 7*).

Tabla 6. Distribución provincial de la superficie en producción de almendra en Andalucía (ha)

Fuente: MAPA (2023)

	Granada	Almería	Málaga	Jaén	Sevilla	Huelva	Córdoba	Cádiz	Andalucía
Total (ha)	8.531	55.845	18.691	6.506	1.900	1.348	5.438	1.253	209.512

Tabla 7. Distribución provincial de producción (toneladas) de almendra en Andalucía (ha)

Fuente: CAPDR Almendra (2023)

	Granada	Almería	Málaga	Jaén	Sevilla	Huelva	Córdoba	Cádiz	Andalucía
Total (ha)	32.753	9.569	4.149	5.884	5.360	3.940	19.545	1.787	102.987

El porcentaje de la superficie de almendro en las provincias de Andalucía en el año 2022 es el siguiente (*Tabla 5 y Figura 12*):

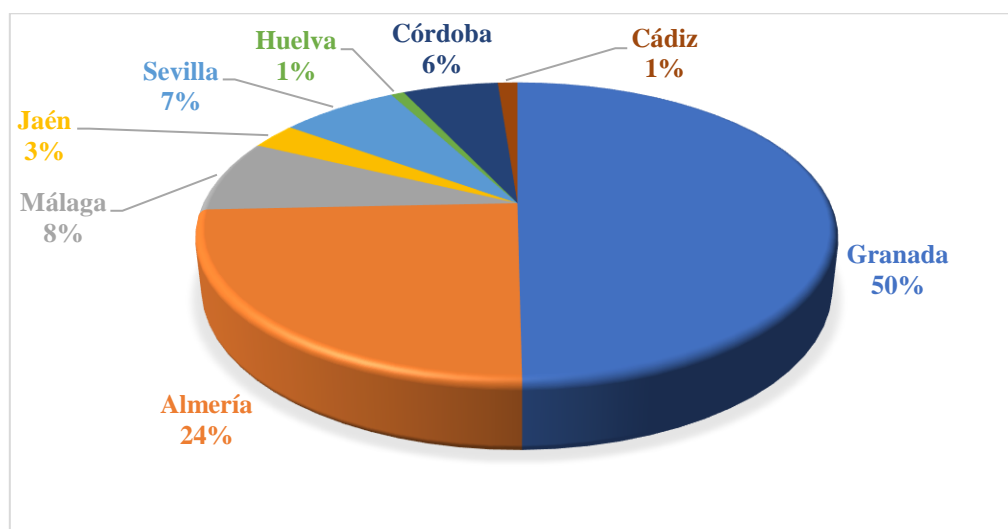


Figura 12. Porcentaje de superficie provincial de producción de almendra en Andalucía

Fuente: MAPA (2023)

Andalucía lidera el sector de la almendra ecológica a nivel nacional, concentrando el 41% de la superficie y el 26% de la producción ecológica del territorio nacional. Granada y Almería son las provincias en las que mayor número de hectáreas se han incorporado a la producción ecológica en la campaña 2022/23, experimentando ambas un crecimiento del 7% respecto a la temporada anterior. El almendro ecológico representa el 48% de la superficie total del almendro y el 16% de la producción (CAPDR Almendra ecológica, 2023).

El cultivo del almendro ecológico ha experimentado un desarrollo espectacular en Andalucía y en España en los últimos cinco años (*Tabla 8*). A partir del año 2018 se ha revelado un auténtico potencial productivo de este cultivo, que continuará incrementando su superficie hasta el año 2022 (CAPDR Almendra ecológica, 2023).

Tabla 8. Evolución de la superficie de almendro ecológico en Andalucía (ha)

Fuente: CAPDR Almendra ecológica (2023)

	2018	2019	2020	2021	2022
Superficie ecológica total (ha)	58.335	64.204	71.668	94.626	101.512

Por lo tanto, la evolución de la superficie andaluza de almendro ecológico en hectáreas (*Figura 13*) es la siguiente:

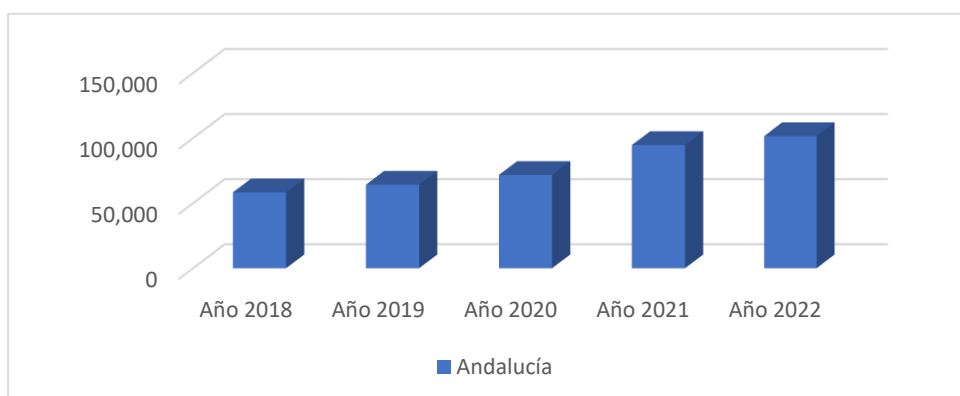


Figura 13. Evolución de la superficie total de almendro ecológico en Andalucía (ha)
Fuente: MAPA (2023)

Por otro lado, la distribución provincial en Andalucía de la superficie ecológica en hectáreas de almendro en el año 2022 es la siguiente (*Figura 14*):

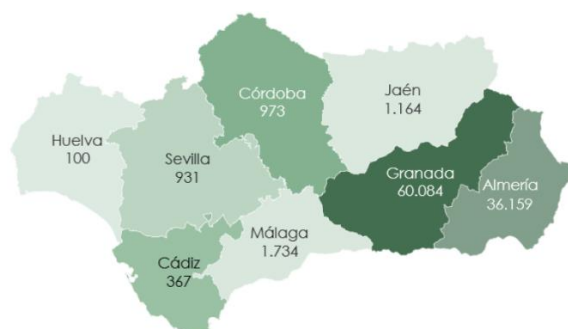


Figura 14. Distribución provincial en Andalucía de superficie ecológica de almendro en el año 2022 (ha)
Fuente: CAPDR Almendra ecológica (2023)

Como podemos observar Granada y Almería son las provincias andaluzas con mayor superficie ecológica de almendro, seguidas de Málaga, Jaén, Córdoba, Sevilla, Cádiz y Huelva (CAPDR Almendra ecológica, 2023). Por otro lado, la distribución provincial en porcentaje de la superficie ecológica de almendro en el año 2022 en Andalucía (*Figura 15*) es la siguiente:

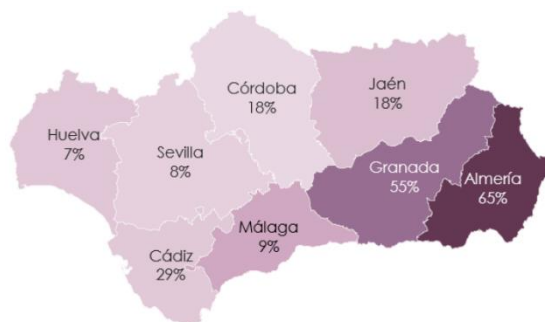


Figura 15. Distribución provincial en porcentaje de la superficie ecológica de almendro en Andalucía en el año 2022
Fuente: CAPDR Almendra ecológica (2023)

6. LABORES AGRÍCOLAS DIFERENCIALES ENTRE EL CULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO DEL ALMENDRO.

6.1. LABOREO DEL SUELO Y CONTROL DE HIERBAS

6.1.1. Almendro convencional

El mantenimiento del suelo tiene como objetivo principal controlar o eliminar las malas hierbas para maximizar la disponibilidad de nutrientes y agua para el almendro. Adicionalmente, las labores del suelo ayudan a incorporar y distribuir los nutrientes en el perfil de cultivo. También influyen en el desarrollo del sistema radicular, el mantenimiento de la estructura del suelo, la prevención de la erosión, la reducción de la incidencia de heladas y otros factores que se detallarán más adelante (Almagro et al., 2023).

Mediante las labores del suelo, podemos establecer diferentes objetivos, como asegurar que su superficie esté en condiciones óptimas para realizar la recolección de manera eficiente (Almagro et al., 2023).

Existen cinco sistemas principales para el mantenimiento del suelo (IFAPA, 2015):

6.1.1.1. Laboreo o suelo desnudo

6.1.1.2. No laboreo o no cultivo con suelo desnudo

6.1.1.3. Cubiertas permanentes

6.1.1.4. Acolchado o mulching

6.1.1.5. Cubiertas vegetales mixtas

Las técnicas de mantenimiento del suelo pueden aplicarse individualmente o en combinación. Estas combinaciones pueden ser temporales, como usar el laboreo en primavera y herbicidas el resto del año, o específicas al territorio, como aplicar el laboreo entre filas y herbicidas entre árboles. Dado que el objetivo principal del cultivo del suelo es controlar las malas hierbas, es importante conocer bien las adventicias que se desean manejar (Camacho-Sánchez et al., 2023)

En España, el método predominante hasta hace poco ha sido el laboreo del suelo. En California, es común el uso de herbicidas. Los otros dos métodos mencionados se emplean raramente o con objetivos muy específicos (Orozco et al., 2024; Carmago, 2023).

6.1.1.1. Laboreo o suelo desnudo

Esta labor consiste en pasar la grada o el cultivador sobre toda la superficie del suelo en diferentes momentos del año, generalmente de 3 a 5 veces al año. Entre las ventajas de este sistema se incluyen: es el método tradicional de cultivo del suelo,

ampliamente conocido y preferido por la mayoría de los agricultores. Si se realiza adecuadamente, proporciona a la parcela un aspecto de buen mantenimiento. Mantener una parcela bien labrada y libre de hierbas ha sido siempre una prioridad para los cultivadores. No obstante, es importante considerar la oportunidad y utilidad de realizar estas labores en cada momento. Este método es muy efectivo para controlar las malas hierbas y facilita la incorporación de fertilizantes y enmiendas (Cárceles Rodríguez et al., 2023; Camacho-Sánchez et al., 2023).

Esta técnica es incompatible (*Figura 16*) con cualquier sistema de riego por goteo con tuberías superficiales, excepto que se utilice intercepas o fingerweeder y, además, no se realice labor cruzada. Otra opción que nos permite aumentar la eficiencia del riego además de otras muchas ventajas adicionales es la instalación del riego por goteo subterráneo en el que la tubería es enterrada a una profundidad de 30-60 cm dependiendo el tipo de suelo, estructura y profundidad de las raíces (Soares, 2016; University of Georgia Extension, 2024). No obstante, puede aumentar la evaporación, por lo que es necesario evaluar el balance en cada tipo de suelo. Dado que favorece el enraizamiento profundo, es especialmente recomendable en áreas de secano. En general, se sugiere utilizarla durante los primeros años de plantación, cuando los árboles aún son jóvenes (Sperling et al., 2023; Niederholzer, 2024).

En contraste, este sistema presenta importantes desventajas: destruye las raíces superficiales ubicadas en los primeros 20 centímetros del perfil, donde se encuentra la mayor concentración de fósforo y potasio. Esto reduce la capacidad de absorción de estos nutrientes. Además, las labores cercanas al árbol suelen causar lesiones en el tronco y el cuello de la raíz, lo que provoca exudaciones gomosas, la posible entrada de parásitos y fermentaciones anaerobias en el cambium en climas cálidos. Estas fermentaciones pueden producir alcohol etílico, una sustancia fitotóxica que interfiere con el flujo de savia y puede llevar al colapso del árbol, evidenciado por el ennegrecimiento de la zona afectada. Asimismo, el laboreo del suelo fomenta la propagación de enfermedades y plagas del suelo, como *Verticillium*, *Armillaria*, *Nematodos* y *Rossellinia* (López Fuster, 2019).



Figura 16. Manejo del suelo mediante laboreo tradicional

Fuente: IFAPA (2015)

En lo que respecta a las propiedades del suelo, generalmente empeoran, ya que se facilita la pérdida de humus y la degradación de su estructura. No obstante, se afloja el suelo y se favorecen los fenómenos de oxidación. El uso continuo de maquinaria con el mismo implemento facilita la formación de suelos de labor, lo que puede dificultar la circulación del agua a lo largo del perfil. Un suelo desnudo es muy vulnerable a los procesos erosivos y, si además está muy suelto, favorece la formación de heladas por inversión térmica en primavera. Este suelo desnudo y suelto dificulta el paso de personas y vehículos, e incluso puede impedir su tránsito en épocas lluviosas (*Figura 17*) (Cárceles Rodríguez et al., 2023; Camacho-Sánchez et al., 2023).



Figura 17. Árboles jóvenes secos por rotura de raíces debido al laboreo excesivo

Fuente: IFAPA (2015)

Por otro lado, este sistema es conocido por ser caro y consumir mucha energía, ya que implica el uso de maquinaria y varias pasadas para lograr los objetivos deseados. Además, es crucial tener en cuenta que es una solución temporal para eliminar las malezas, especialmente aquellas con órganos de reproducción subterráneos, como estolones, rizomas o bulbos (Arroyo et al., 2022).

6.1.1.2. No laboreo o no cultivo

Otro método para mantener el suelo desnudo sin usar herramientas de labranza consiste en eliminar las malezas con herbicidas o productos químicos fitotóxicos, aplicados en distintas épocas del año, principalmente entre marzo y octubre (Almagro et al., 2023).

En California, el uso de herbicidas en cultivos de cítricos comenzó a principios del siglo XX, aunque se intensificó en la década de 1930. Los primeros herbicidas eran aceites, que luego se reforzaron con otras sustancias. En España, los herbicidas se empezaron a utilizar en la década de 1960, también en cítricos, y actualmente tienen una amplia aplicación en este cultivo. En California, es muy común usar herbicidas en los cultivos de almendros. En cambio, en España, su uso sigue siendo limitado, principalmente para la limpieza de ribazos o márgenes de fincas (Alghamdi and Alsabehi, 2024).

Se pueden utilizar diferentes tipos de herbicidas (Trouillas et al., 2024; MAPA, 2024).

- 1) Preventivos o preemergencia: actúan bloqueando la germinación de las semillas o dañando las raíces de las plántulas jóvenes, por ejemplo, oxifluorfen y napropamida.
- 2) Curativos o postemergencia:
 - Contacto: solo afectan al tejido verde de la planta adventicia, causando su necrosis y destrucción, por ejemplo, 2,4-D.
 - Sistémicos: son absorbidos por las hojas y, en ocasiones, por las raíces, y luego se desplazan a través de la savia por toda la planta, propagando así su efecto destructivo, por ejemplo, glifosato.

Los herbicidas de preemergencia están diseñados para prevenir el crecimiento de malas hierbas y se aplican directamente al suelo. Pueden esparcirse sobre toda la superficie, entre las calles o cerca de los troncos de los árboles, dependiendo del control deseado. Deben ser aplicados antes de que las semillas comiencen a germinar, aunque también pueden ser absorbidos por las raíces. Se aplican generalmente entre finales de otoño y principios de primavera. Estos herbicidas tienen un efecto residual y, con una sola aplicación anual, pueden controlar las malas hierbas. Sin embargo, su toxicidad puede ser un problema, especialmente en ciertas condiciones (Contreras, 2023):

- Plantaciones de menos de tres años.

- Suelos arenosos con escasa materia orgánica y limitada capacidad de retención de agua.
- Raíces poco profundas.
- Riego por inundación.

Estas circunstancias hacen que los agricultores teman estos herbicidas, prefiriendo generalmente los herbicidas de postemergencia, que consideran más seguros. Los herbicidas de postemergencia son curativos y se utilizan después de que las malas hierbas hayan germinado, aplicándose de forma foliar. Pueden ser de contacto, actuando solo sobre los órganos que tocan (hojas), o sistémicos, trasladándose a otras partes de la planta, como rizomas y raíces. Otro factor a considerar en el uso de herbicidas es la selectividad o resistencia, por la cual algunas plantas permanecen inalteradas tras la aplicación de ciertos herbicidas en dosis habituales (Schaeffer, 2023).

La selectividad de un tratamiento está influenciada por diversos factores, como la capacidad de la planta para absorber o trasladar el producto, y la localización del tratamiento. Además, los hábitos de crecimiento y el tipo de hojas de la planta también tienen un impacto significativo. Es crucial saber si los puntos de crecimiento de la planta son visibles y accesibles a los herbicidas, o si están ocultos y protegidos de su acción. El tipo de hojas es igualmente importante para la selectividad de los herbicidas. La resistencia a los herbicidas también puede desarrollarse con el tiempo. Algunas plantas adquieren esta resistencia de manera natural a través de procesos selectivos, no por mutación. Mediante estos procesos, las plantas susceptibles mueren por los herbicidas, mientras que las plantas resistentes sobreviven y se reproducen sin la competencia de las plantas susceptibles (Nalin et al., 2023).

En el manejo de la vegetación adventicia es crucial entender que un solo herbicida no puede controlar todas las especies de malezas al mismo tiempo. Cada herbicida tiene un espectro de acción específico y se enfoca en ciertos tipos de vegetación. Por lo tanto, es necesario seleccionar el producto o la combinación de productos según la vegetación predominante. Es fundamental evitar el uso repetitivo de los mismos herbicidas, ya que esto puede conducir a la resistencia de las especies que se están tratando de controlar y a un cambio en la flora. Esto significa que, al eliminar la especie predominante, otras especies secundarias podrían comenzar a proliferar. Además del uso de herbicidas, es recomendable combinar este método con otras

prácticas de manejo, como el laboreo en periodos específicos. Este enfoque integrado puede ser más eficaz para mantener el control de la vegetación adventicia y asegurar un manejo sostenible (Ghatrehsamani et al., 2023).

El uso de herbicidas en la agricultura (*Figura 18*) ofrece varias ventajas que contribuyen al manejo eficiente de los cultivos y a la mejora de las condiciones del suelo. Entre las principales ventajas del uso de herbicidas se encuentran las siguientes (Barbás et al., 2023):

- **Facilitan el desarrollo de raíces superficiales:** Al evitar el paso de aperos, como arados y otras herramientas agrícolas, se previene la compactación del suelo superficial, permitiendo un mejor desarrollo de las raíces superficiales de las plantas.
- **Reducen la degradación estructural del suelo:** La ausencia de maquinaria pesada que remueva la tierra minimiza la degradación estructural del suelo, manteniendo su integridad y previniendo la erosión.
- **Mejoran la circulación en la plantación:** Al no estar el suelo suelto, se facilita la circulación de vehículos y personas dentro de la plantación. Esto es especialmente beneficioso para las actividades de mantenimiento y cosecha, ya que permite un acceso más fácil y seguro.
- **Son adecuados para sistemas de recolección mecanizada:** Los sistemas de recolección mecanizada, especialmente aquellos que recogen los productos del suelo, operan de manera más eficiente en suelos tratados con herbicidas. La consistencia del suelo facilita el uso de maquinaria y mejora la eficiencia de la cosecha.
- **Disminuyen el riesgo de heladas por inversión térmica:** Los suelos tratados con herbicidas irradian menos calor durante la noche. Esto es beneficioso en regiones donde el riesgo de heladas por inversión térmica es alto, ya que se reduce la pérdida de calor del suelo, disminuyendo así el riesgo de daño por heladas a los cultivos.



Figura 18. No laboreo. Aplicación de herbicidas en explotación de almendros

Fuente: www.google.es

Estas ventajas destacan la importancia de usar herbicidas de manera controlada y adecuada en la gestión agrícola, promoviendo un equilibrio entre la productividad y la conservación del suelo. Este sistema es recomendado para plantaciones densas y adultas, siendo especialmente adecuado con riego localizado. Presenta costes energéticos y de mantenimiento muy reducidos. La mayor economía se debe a dos factores: la menor potencia necesaria para los equipos de aplicación y la menor frecuencia de aplicación gracias a la alta persistencia de algunos productos (Barbás et al., 2023).

El uso de herbicidas en suelos de almendros bajo prácticas de no laboreo tiene las siguientes contraindicaciones (Torra et al., 2022; Francaviglia et al., 2023; Ali et al., 2023 and González-Gómez et al., 2022):

1) Impacto en la salud del suelo:

Reducción de la biodiversidad del suelo: El uso repetido de herbicidas puede afectar negativamente a la microfauna y microflora del suelo, incluyendo organismos beneficiosos como lombrices y hongos micorrícicos, lo que puede afectar la salud del suelo a largo plazo.

Compactación del suelo: En ausencia de laboreo, el uso continuado de herbicidas puede llevar a la compactación del suelo debido a la reducción de la actividad biológica, lo que disminuye la aireación y la infiltración de agua.

2) **Resistencia de las malas hierbas:**

El uso repetido de herbicidas, especialmente aquellos con el mismo mecanismo de acción, puede conducir al desarrollo de resistencia en las malas hierbas, lo que puede hacer que los herbicidas se vuelvan ineficaces y resulte en un aumento de costos y dificultades en el control de estas plantas no deseadas.

3) **Contaminación ambiental:**

Contaminación del agua: Los herbicidas pueden lixiviarse o escurrirse hacia cuerpos de agua cercanos, contaminando fuentes de agua subterráneas y superficiales, lo que puede afectar a la fauna acuática y a la calidad del agua para otros usos.

Contaminación del aire: Algunos herbicidas pueden volatilizarse y afectar áreas vecinas, incluyendo cultivos sensibles o zonas naturales protegidas.

4) **Fitotoxicidad:** Aunque los herbicidas están diseñados para ser selectivos, existe el riesgo de fitotoxicidad, especialmente si no se aplican correctamente, lo que podría afectar negativamente el crecimiento y la producción de los almendros.

5) **Reducción de la disponibilidad de nutrientes:** El control excesivo de la vegetación con herbicidas puede reducir la cantidad de materia orgánica que se descompone en el suelo, disminuyendo la disponibilidad de nutrientes esenciales para los almendros.

6) **Costo económico y dependencia:**

Dependencia en el uso continuado de herbicidas puede incrementar los costos de producción y puede resultar en un círculo vicioso de necesidad de productos químicos para mantener los niveles de producción, especialmente si la resistencia a los herbicidas se convierte en un problema.

7) **Reducción de hábitats naturales:** El control continuo de la vegetación puede reducir la diversidad de plantas en el huerto, lo que a su vez afecta la biodiversidad de insectos, aves y otros animales que dependen de esos hábitats.

6.1.1.3. **Cubiertas permanentes**

El sistema también se denomina enherbado permanente, ya que el suelo está cubierto por una pradera artificial o natural, generalmente compuesta por gramíneas como Bromus, Agrostis, Fleum, Festuca, entre otras, o por leguminosas. Las malas hierbas se controlan mediante sofocación y siega. Para mantener la pradera, es necesario realizar de 3 a 4 pasadas anuales con una segadora o desbrozadora (*Figura 19*) (Pirsan et al., 2015; Sairam et al., 2023).

El principal inconveniente de este sistema es que la pradera compite fuertemente por el agua y los nutrientes con la plantación. Por estas razones, este método solo es viable en zonas muy húmedas. Además, debido a los altos costes de establecimiento, no es un método recomendado en la mayoría de las situaciones de cultivo en España. Otro problema es el incremento del riesgo de heladas (Kumar et al., 2023; Manrique et al., 2023).



Figura 19. Cubierta vegetal inerte de restos de poda
Fuente: IFAPA (2015)

Sin embargo, este sistema tiene varias ventajas, principalmente relacionadas con la mejora general de las características del suelo, tanto en su estructura como en la actividad biológica y el contenido de materia orgánica. El enherbado permanente también previene prácticamente cualquier erosión. Además, facilita el tránsito tanto para las operaciones como para los equipos agrarios. Si se utilizan leguminosas como cobertura, se incrementa la fijación del nitrógeno atmosférico debido a los nódulos que estas plantas poseen (Pekrun et al., 2023).

En terrenos muy pedregosos también se pueden implantar cubiertas inertes de piedra de pequeño tamaño (*Figura 20*), que serían colocadas en el centro de la calle (IFAPA, 2015).



Figura 20. Cubierta inerte de piedras
Fuente: IFAPA (2015)

6.1.1.4. Acolchado o Mulching

Para controlar la vegetación espontánea en este sistema, se aplica una cubierta sobre el suelo, que puede ser orgánica (restos de paja, cortezas, heno, papel, carbón, etc.) o inorgánica (lámina de plástico, generalmente de polietileno negro) (*Figura 21*). Esta cubierta debe extenderse en una franja de entre un metro y 1,25 metros alrededor del árbol, sofocando el crecimiento de plantas no deseadas (López Fuster, 2019; Pirsan et al., 2015).

Esta técnica suele emplearse principalmente durante el primer año de plantación, especialmente cuando las condiciones no son ideales, como en situaciones de escasez de agua o suelos poco profundos. Su objetivo es asegurar un inicio de cultivo más uniforme y eficiente. Las cubiertas orgánicas generalmente tienen una duración de hasta un año, después de lo cual se integran al suelo. Por otro lado, las cubiertas inorgánicas pueden durar entre 3 y 4 años (Jing et al., 2023).



Figura 21. Acolchado o Mulching

Fuente: <https://www.fecoagro.com.ar/que-es-el-acolchado-o-mulching/>

A pesar de ser una técnica de corta duración, ofrece beneficios notables, como un control efectivo de la vegetación no deseada cerca de la planta en las primeras fases del crecimiento del árbol. Normalmente, las condiciones del suelo mejoran al reducirse la degradación, lo que contribuye a mantener una estructura saludable. Cuando se utiliza una cubierta orgánica, se incrementa el contenido de materia orgánica, se facilita la absorción de minerales y se reduce la evaporación del agua. Además, este sistema se adapta bien a riesgos localizados, disminuyendo el riesgo de heladas en primavera (Rozalia Holzle, 2023).

Uno de los principales inconvenientes de este sistema es que puede presentar problemas en suelos muy pesados, donde el riesgo de asfixia radicular puede aumentar. Además, el sistema tiende a ser relativamente costoso. Es importante tener en cuenta

que el uso de materiales orgánicos puede causar un desequilibrio en la relación C/N del suelo, resultando en un consumo inicial elevado de nitrógeno. Sin embargo, es un sistema muy aplicable y recomendado en la agricultura ecológica (Long et al., 2023).

6.1.1.5. Cubiertas vegetales mixtas

A menudo es recomendable manejar el suelo de forma distinta bajo la copa de los árboles por diversas razones: facilitar la recolección, prevenir daños por herbicidas o herramientas de labranza, y mejorar el control de malezas. En estos casos, se emplea un manejo mixto del suelo, con un sistema bajo la copa y otro diferente en el centro de las calles: mezcla de leguminosas, gramíneas y crucíferas (*Figura 22*) (Fracchiolla et al., 2016).



Figura 22. Manejo del suelo mixto: bajo copa (desnudo); centro calle (laboreo o cubierta)
Fuente: IFAPA (2015)

En fruticultura, es habitual emplear sistemas mixtos, donde se mantiene el suelo desnudo bajo la copa de los árboles, utilizando herbicidas o un mínimo de laboreo, mientras que en las calles se establece una cubierta vegetal que se controla mecánica o químicamente (Fracchiolla et al., 2016).

6.1.2. Almendro ecológico

La almendricultura ecológica es un conjunto de prácticas agrícolas que evita el uso de productos químicos sintéticos, como fertilizantes y plaguicidas, con el propósito de proteger el medio ambiente, mantener o mejorar la fertilidad del suelo, lograr una gestión más sostenible del cultivo y ofrecer almendras con todas sus cualidades naturales (Lipan et al., 2023).

Una plantación de almendros bajo el sistema de agricultura ecológica debe controlar las malas hierbas mediante cultivos de cobertura, acolchado y métodos mecánicos (laboreo). No

obstante, es crucial mantener la calidad del suelo, un principio fundamental de este sistema de cultivo. Desde esta perspectiva, el laboreo puede ser perjudicial, afectando negativamente la materia orgánica, la estructura del suelo, favoreciendo la erosión y pérdida de la fertilidad del suelo. Por consiguiente, en la agricultura ecológica, el laboreo debe realizarse de manera cuidadosa, respetando ciertos principios básicos y evitando métodos intensivos (Cárceles Rodríguez et al., 2023; Szostek et al., 2022).

Algunas recomendaciones son (Tolon Becerra et al., 2010; De Leijster et al., 2020):

- Intentar reducir el laboreo para evitar tanto la destrucción de los agregados como la formación de la suela de labor o la compactación de los suelos.
- Intentar reducir el uso de maquinaria pesada.
- En el caso de la formación de la suela de labor, realizar los pases de subsolador alternativos.
- No realizar labores en el sentido de la pendiente y respetar las curvas de nivel a la hora de implantar los cultivos.

Es importante mantener la cubierta vegetal en el suelo durante el mayor tiempo posible, esto ayuda a mitigar la erosión y evita prácticas dañinas como el laboreo excesivo, la compactación del terreno por el uso frecuente de maquinaria, y la aplicación constante de herbicidas. Además, la cubierta vegetal proporciona refugio a depredadores que favorecen el control biológico (Almagro et al., 2023).

Existen diferentes clasificaciones de cubiertas:

- 1) **Cubierta inerte:** Se trata de una cubierta de paja, restos vegetales de hojas y de poda, etc (Bielsa y Rubio-Cabetas, 2022).
- 2) **Cubiertas espontáneas:** Se sugiere dar prioridad al establecimiento de cubiertas vegetales silvestres aprovechando las plantas que crecen espontáneamente entre las hileras, debido a su bajo costo, su alta producción de biomasa y la diversidad de especies que incluyen. Sin embargo, el uso indiscriminado de herbicidas antes de convertir el cultivo de almendro en ecológico ha disminuido el valor ecológico de estas cubiertas vegetales naturales (Bielsa y Rubio-Cabetas, 2022). Además, las especies que prevalecen en estas cubiertas suelen reflejar el tipo de suelo en el que crecen (Riquelme y Larraín, 2023):
 - **Ortiga (*Urtica dioica/urens*):** Buena fertilidad, leve compactación y alto contenido de nitrógeno y carbono orgánico.

- **Diente de león (*Taraxacum officinale*):** Presencia de nitrógeno orgánico animal, compactación y leve anaerobiosis.
- **Amapola (*Papaver rhoeas*):** Alto contenido de calcio y potasio en el suelo, deficiencia de nitrógeno y pobre retención de agua.
- **Verdolaga (*Portulaca oleracea*):** Suelo fértil.
- **Hortelana de burro (*Marrubium vulgare*):** Suelo compactado.
- **Rábano silvestre (*Raphanus raphanistrum*):** Deficiencia de boro y magnesio, suelo rico en bases activas y tierras húmedas.
- **Helecho (*Pteridium aquilinum*):** Suelos ácidos, alto contenido de aluminio y terrenos frescos.
- **Cenizo (*Chenopodium álbum*):** Tierras muy labradas y poca materia orgánica.
- **Jaramago (*Diplotaxis sp.*):** Aplicación de fertilizante y exceso de potasio.
- **Grama (*Elytrichia repens*):** Suelos muy compactados.

3) **Cubiertas sembradas:** Por consiguiente, también es posible sembrar una mezcla de semillas silvestres adaptadas a la región, dando prioridad a las leguminosas sobre las gramíneas o crucíferas, y asegurando que provengan de cultivos ecológicos. Si se opta por semillas convencionales, se debe consultar previamente con el organismo de control competente y garantizar que no hayan sido tratadas. Asimismo, se puede emplear estiércol para la fertilización (Bielsa y Rubio-Cabetas, 2022).

El laboreo de conservación es una alternativa que combina técnicas de laboreo tradicional con sistemas de acolchado y cobertura. Si se utiliza un cultivo intercalar de cobertura, este debe gestionarse adecuadamente para no competir ni reducir el crecimiento del cultivo principal, como es el caso del almendro (Repullo-Ruibérriz de Torres, 2021).

El acolchado del suelo puede resultar uno de los métodos más eficaces en este tipo de agricultura. Tal como se ha señalado anteriormente, los materiales utilizados pueden variar ampliamente, pero los orgánicos suelen ser los más adecuados. Entre estos, se pueden emplear tanto materiales muertos, como heno o paja, como materiales vivos. En el caso de los materiales vivos, se cultiva una planta de cobertura que posteriormente se integra al suelo. Las leguminosas, como el trébol, la veza, la alfalfa, las esparcetas y las judías, son especialmente valiosas debido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico. Es esencial asegurarse de que el crecimiento de estas plantas no sea tan vigoroso que compita con el almendro; de ser así, se debe controlar el desarrollo de la planta de cobertura (Rahmat et al., 2023).

Por otro lado, se aconseja la utilización de maquinaria que permita realizar una labor vertical, como rastras, vibrocultivadores, cultivadores, intercepas y fingerweeder, son muy efectivas para la eliminación de las malas hierbas cuando estas han alcanzado un gran desarrollo (el primer paso es eliminarlas en el momento adecuado). Recordar que cuando volteamos el terreno invertimos el perfil del suelo, aumentan las pérdidas de agua por evaporación y se provoca un endurecimiento del suelo en la zona de corte del apero, conocida como “suela de labor”, que disminuye la infiltración del agua y dificulta la penetración vertical de las raíces. Además, entre las ventajas del laboreo “vertical” podemos citar: fácil control de las malas hierbas, posibilidad de incorporar abonos al suelo, no presenta dificultad técnica para el agricultor, elimina las pequeñas cárcavas y rompe la costra superficial que se forma tras las lluvias (Teagasc, 2017; Richard et al., 2023).

Finalmente, es crucial destacar que, en este tipo de cultivo, la vegetación del suelo juega un papel esencial no solo por los beneficios que aporta al suelo, sino también porque proporciona refugio a insectos beneficiosos que ayudan en el control de plagas (Aguilera et al., 2020).

6.2. FERTILIZACIÓN

6.2.1. Almendro convencional

6.2.1.1. Fundamentos de la fertilización

Las plantas requieren diversos elementos esenciales para satisfacer sus necesidades alimenticias. El agua es crucial en numerosos procesos vitales, actuando como agente en reacciones químicas, disolvente y medio de transporte de nutrientes. Cabe destacar que el 95% de los tejidos jóvenes de las plantas está compuesto por agua. Este elemento cumple una doble función: es vital para la planta y facilita la absorción de otros nutrientes al mejorar su solubilidad y movilidad. El oxígeno es indispensable para los procesos de respiración, mientras que el dióxido de carbono es fundamental para la fotosíntesis. Las sustancias orgánicas contienen elementos químicos en reserva, disponibles para las plantas tras la mineralización, y juegan un papel importante en el intercambio catiónico. El humus es clave para la fertilidad del suelo, ya que mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El suelo también contiene diversos minerales que las plantas necesitan; cuando estos son insuficientes, deben añadirse, y esto constituye el propósito de la fertilización (Tarantino et al., 2024).

A continuación, se detallan los elementos esenciales para el crecimiento del almendro (Tabla 9):

Tabla 9. Elementos necesarios en las plantas

Fuente: Hou et al (2020)

	Macroelementos	Microelementos
Primarios	Nitrógeno (N) Fósforo (P) Potasio (K)	Hierro (Fe) Zinc (Zn) Cobre (Cu)
Secundarios	Azufre (S) Calcio (Ca) Magnesio (Mg)	Manganeso (Mn) Molibdeno (Mo) Boro (B) Cloro (Cl)

Los macroelementos son nutrientes que las plantas necesitan en grandes cantidades. Además de los ya mencionados, el carbono, hidrógeno y oxígeno también son fundamentales, aunque se obtienen por otras vías y son relativamente abundantes en el suelo. En contraste, los microelementos se requieren en cantidades más pequeñas, pero son esenciales para el funcionamiento adecuado de la planta. Otros elementos, no mencionados aquí, pueden estar presentes en la planta en cantidades muy reducidas, pero su exceso puede causar toxicidad si superan ciertos niveles. En los últimos años, la fertilización con productos químicos sintéticos ha sido la práctica común. Sin embargo, la fertilización orgánica, que se basa en el uso exclusivo de sustancias naturales, es la única permitida en la agricultura ecológica. La fertilización se hace necesaria cuando el suelo no contiene suficientes macroelementos, una situación común en suelos agrícolas donde, cada año, se exporta una cantidad considerable de materia orgánica, como ocurre con las cosechas (Szczepanek et al., 2024).

6.2.1.2. Función de los nutrientes en la fertilización

Primero, es fundamental reconocer que los nutrientes esenciales para el almendro se obtienen principalmente del suelo a través del sistema radicular. El suelo no solo proporciona estos nutrientes, sino que también es el entorno en el que las raíces se desarrollan. Por lo tanto, para asegurar una nutrición adecuada, el suelo debe estar bien abastecido y permitir un buen crecimiento del sistema radicular. Diversos factores influyen en esto, como la textura, la estructura, la materia orgánica y el pH, todos aspectos que se estudian en la ciencia de la edafología (Hartman et al., 2024).

Los suelos con un alto contenido de materia orgánica son más ricos en nutrientes y los retienen mejor, lo que aumenta su disponibilidad para las plantas. Los suelos arcillosos, o aquellos con una buena cantidad de arcilla, tienen una mayor capacidad para retener nutrientes

en comparación con los suelos arenosos. Por el contrario, los suelos muy arenosos pueden sufrir serias deficiencias de nutrientes debido a su limitada capacidad de retención. Sin embargo, los suelos que son demasiado arcillosos pueden retener los nutrientes de tal forma que las plantas tienen dificultades para acceder a ellos. Esto puede generar problemas con la fertilización potásica, ya que el potasio podría no llegar fácilmente a las raíces profundas del árbol. Por ello, la textura del suelo es un factor clave que puede influir en la efectividad de la fertilización potásica (Yu, 2022).

El pH del suelo influye en la disponibilidad de nutrientes para las raíces de las plantas. En suelos alcalinos, especialmente cuando el pH supera 8, pueden surgir dificultades en la absorción de fósforo y micronutrientes como hierro, magnesio, zinc, cobre y cobalto. En suelos muy ácidos, con un pH menor a 5, la asimilación de estos micronutrientes y otros elementos secundarios se vuelve más difícil. La presencia de carbonato cálcico (caliza) está asociada al pH, ya que este compuesto no es estable en suelos con un pH inferior a 7. Los suelos alcalinos contienen siempre carbonato cálcico, y en suelos calcáreos el hierro puede ser bloqueado por el anión HCO_3^- , lo que provoca clorosis férrica. Además, la disponibilidad de boro y fósforo también disminuye. Por esta razón, la cantidad de caliza total se utiliza como un factor corrector en la fertilización fosfórica (Mohamadi et al., 2024).

El sistema radicular del almendro puede originarse de diversas especies según el patrón utilizado, lo que resulta en diferencias tanto en el comportamiento como en las necesidades de las raíces. A continuación, se detalla la función de los principales nutrientes en los fertilizantes (Hartman et al., 2024).

A) Nitrógeno

Es fundamental en la formación de sustancias esenciales como la clorofila, aminoácidos y proteínas, y juega un papel crucial en la fertilización. La carencia de este elemento puede causar la caída de flores sin cuajar. En general, contribuye al aumento del tamaño de los órganos vegetativos, acelera el crecimiento y proporciona un color verde más intenso a las hojas. Su presencia está estrechamente relacionada con el vigor de la planta. Sin embargo, un exceso de nitrógeno puede llevar a un desarrollo vegetativo excesivo, lo que debilita la inducción floral. Además, los árboles que reciben un exceso de nitrógeno son más susceptibles a los ataques de parásitos, especialmente pulgones (Zhang et al., 2024).

El nitrógeno en el suelo se presenta en tres formas principales (Patrick K, 2023):

- La primera es la forma orgánica, que representa aproximadamente el 5% del nitrógeno en el humus. Este nitrógeno se mineraliza gradualmente gracias a la acción de los

microorganismos del suelo, convirtiéndose en nitrógeno amoniacal, que no es directamente utilizable por las plantas.

- La forma amoniacal (NH_4^+) resulta de la transformación inicial del nitrógeno orgánico a través de un proceso llamado amonización. Esta forma es transitoria y se convierte rápidamente en nitrógeno nítrico por acción de la nitrificación, realizada también por microorganismos del suelo. El amoniaco puede perderse por volatización si se aplica en la superficie.

- Finalmente, el nitrógeno nítrico (NO_3^-) es la forma más avanzada de mineralización y es la principal forma en que las plantas absorben el nitrógeno. Debido a su alta solubilidad y a que no se retiene bien en el suelo, puede ser fácilmente lixiviado. Por ello, es fundamental prestar atención a cómo se incorpora este nutriente y considerar el tipo de nitrógeno presente en el fertilizante que se utilice.

Generalmente, los fertilizantes nitrogenados deben aplicarse justo antes de los períodos críticos y, si estos son prolongados, es recomendable fraccionar la aplicación en varias dosis. La aplicación debe ser más superficial cuanto mayor sea el contenido de nitrógeno nítrico del fertilizante. Es importante controlar el exceso de nitrógeno, ya que no solo incrementa los costos sin ofrecer beneficios agronómicos justificados, sino que también puede contaminar acuíferos y aguas subterráneas. Además, un exceso de nitrógeno puede promover un crecimiento excesivo en las plantas, haciéndolas más vulnerables a plagas y enfermedades (Zhang et al., 2024).

B) Fósforo

El fósforo es un componente esencial de las nucleoproteínas y participa en procesos vitales como la fotosíntesis y la división celular. Su presencia es crucial para el desarrollo de flores y frutos jóvenes, además de ser fundamental en el transporte de energía. Sin embargo, el fósforo es poco móvil en el suelo y suele estar firmemente retenido. El ion fosfato (PO_4^{3-}), a pesar de su carga negativa, puede quedar unido al complejo arcillo-húmico a través de puentes formados por el ion Ca^{++} . Por esta razón, la aplicación de fósforo debe ser localizada cerca de las raíces para una mejor absorción.

La eficiencia de absorción del fósforo aumenta en suelos con pH neutro, ya que en suelos con pH alto se fija con el ion Ca^{++} y en suelos con pH bajo con Fe^{++} y Al^{+++} , formando fosfatos de calcio, hierro y aluminio, que tienen una solubilidad muy baja. Por suerte, la extracción anual de fósforo no es elevada, y las deficiencias de este nutriente son poco comunes (Saravana et al., 2024).

C) Potasio

El potasio es fundamental para el crecimiento de los árboles, activando diversas enzimas y jugando un papel importante en la regulación de la presión osmótica, lo que facilita la absorción de nutrientes. En plantaciones mal gestionadas, es común observar deficiencias de este elemento, ya que se necesita en grandes cantidades. Al ser un catión (K^+), el potasio se adhiere a los coloides del suelo y, aunque es relativamente poco móvil, se mueve más que el fósforo y de manera similar al ion amonio, especialmente en suelos arenosos (Srinivasarao et al., 2023).

D) Magnesio

El magnesio es un componente esencial de la molécula de clorofila. Aunque este ion (Mg^{++}) es retenido en el suelo por el complejo arcillo-húmico, lo hace con menos fuerza que el potasio. Las deficiencias de magnesio son poco comunes, ya que la mayoría de los suelos tienen un nivel adecuado de sales magnésicas. Sin embargo, estas deficiencias pueden surgir en suelos arenosos o con pH bajo (Gathuka et al, 2021; Zhao and Naeth, 2024)

E) Azufre

El azufre es un componente clave de numerosas proteínas y enzimas. Aunque es esencial para el desarrollo de los almendros, las carencias de azufre son poco comunes, ya que los suelos suelen estar bien abastecidos de este elemento. Además, se encuentra en muchos fertilizantes y fitosanitarios, como superfosfatos y sulfatos, y se añade al suelo a través de la lluvia y de emisiones industriales y automotrices. En el suelo, el azufre se presenta como ion sulfato (SO_4^-), que es altamente móvil en el perfil de cultivo (Mehmet, 2023; Al-Mayahi et al.,2024).

F) Calcio

El calcio está presente en grandes cantidades tanto en las hojas como en las partes lignificadas, como las cáscaras. Es esencial para la estructura de las membranas celulares. En las regiones orientales de España, los suelos suelen tener niveles elevados de caliza activa, lo que a veces puede ser más un problema por exceso que por deficiencia. Los problemas de carencia de calcio solo ocurren en suelos muy ácidos. El ion calcio (Ca^{++}) tiene un comportamiento similar al del magnesio y, junto con él, puede cubrir entre el 80 y el 90% de la superficie de las arcillas en el complejo absorbente del suelo (Jing et al., 2024).

G) Hierro

El hierro es fundamental para la síntesis de clorofila, aunque no forma parte de su molécula. También es un componente clave de varias enzimas de oxidación. Su solubilidad en el suelo varía según el pH: es más soluble en suelos ácidos, donde se encuentra como Fe^{++} (relativamente soluble), y menos en suelos básicos, donde se presenta como Fe^{+++} (insoluble). Aunque los suelos suelen contener suficiente hierro, este puede no estar disponible para las plantas, provocando deficiencias. La presencia de caliza activa empeora la disponibilidad del hierro. Además de la caliza activa, otros factores que pueden causar clorosis férrica incluyen excesos de fósforo, temperaturas elevadas, alta luminosidad (que aumenta el pH de la saliva y reduce la movilidad del hierro en los tejidos), antagonismos con magnesio y zinc, y suelos con deficiencia de aireación. Sin embargo, niveles excesivos de hierro pueden resultar tóxicos para las plantas. Para prevenir deficiencias, es aconsejable evitar plantaciones en suelos con estas condiciones y, si es necesario, aplicar quelatos de hierro para el tratamiento (Mohamadi et al., 2024).

H) Zinc

El zinc es crucial para diversas enzimas y auxinas de crecimiento. Su deficiencia puede llevar a un desarrollo deficiente de los entrenudos y a la formación de hojas pequeñas en roseta. Este elemento también participa en el metabolismo de los glúcidos y es un componente de la clorofila. Las carencias de zinc pueden ocurrir en suelos excesivamente abonados con fósforo debido a la competencia con este nutriente, así como en suelos con pH alto, donde el zinc (Zn^{++}) es menos móvil. Por otro lado, en suelos ácidos puede haber riesgo de toxicidad. El zinc se encuentra en muchos fungicidas, por ejemplo, el ziram. (Ramzan et al., 2023; Culumber, 2023; MAPA, 2024).

I) Cobre

El cobre es un elemento clave en varias enzimas de oxidación. Su comportamiento (Cu^{++}) es comparable al del zinc, mostrando baja movilidad y menor absorción en suelos con pH elevado. También presenta antagonismo con el fósforo. Diversos fungicidas utilizados con frecuencia contienen cobre en cantidades significativas, tales como el oxiclورو de cobre y el hidróxido de cobre (Laurent et al., 2024).

J) Manganeso

El manganeso es un componente clave de varias enzimas y juega un rol importante en la fotosíntesis. El ion manganeso (Mn^{++}) es generalmente absorbido con facilidad, pero su

disponibilidad disminuye en suelos con pH alto, donde el ion se oxida y se transforma en formas trivalentes o tetravalentes, que son menos asimilables. Las deficiencias de manganeso tienden a ocurrir en suelos muy ácidos, donde puede ser lixiviado, así como en suelos alcalinos o con alta concentración de caliza (Cárceles Rodríguez et al., 2023).

K) Cloro

El almendro tiene una necesidad relativamente baja de cloro, aunque su papel específico aún no está completamente clarificado. El cloro se incorpora al suelo principalmente a través de la lluvia, siendo más abundante en regiones costeras. Generalmente, los suelos tienen suficiente cantidad de cloro, ya que el ion Cl^- es muy móvil. No obstante, los problemas suelen surgir más por exceso de cloruros en el suelo que por deficiencia de cloro (Wang et al., 2023).

L) Boro

El papel del boro en las plantas no está completamente definido, aunque se sabe que contribuye al transporte de azúcares y a la formación de membranas celulares. Este elemento es poco móvil dentro del árbol, por lo que las deficiencias suelen presentarse en áreas localizadas. En el suelo, el boro se encuentra en forma de ácido bórico (BO_3H_3), y en suelos alcalinos se transforma en borato (BO_3H_2^-). Las carencias de boro son más frecuentes en suelos muy ácidos o muy básicos, y tanto la sequía prolongada como la humedad excesiva pueden agravar estos déficits. El boro puede causar tanto deficiencias como toxicidad en las plantas (Arrobas et al., 2019).

M) Molibdeno

El molibdeno es crucial para el metabolismo del nitrógeno, lo que destaca su importancia en la nutrición vegetal. A diferencia de muchos otros oligoelementos, el molibdeno se asimila de manera más eficiente en suelos con pH alto, por lo que las deficiencias de este elemento son raras en suelos básicos. Se requiere en cantidades mínimas y se encuentra en el suelo como anión MoO_4^- (Li, 2024).

6.2.1.3. Consideraciones clave sobre la fertilización

En la región caliza de España, particularmente en la zona oriental donde el almendro es el principal cultivo, los suelos suelen cubrir las necesidades de calcio, magnesio, azufre, cobre, boro, cloro y molibdeno. Sin embargo, es habitual que haya carencias de nitrógeno, fósforo y

potasio, elementos que se agotan anualmente debido a las cosechas. Las deficiencias más comunes son de hierro, magnesio y zinc, y en casos específicos también pueden faltar boro, cobre y magnesio. En la práctica, es crucial enfocarse en los tres macroelementos, con especial atención al nitrógeno y al potasio, ya que la falta de fósforo es rara. Respecto a los microelementos, la mayor atención debe dirigirse, en situaciones particulares, al hierro, boro y zinc (Pica et al., 2022; Hou et al., 2020).

Los macroelementos primarios, como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, son absorbidos principalmente del suelo o de las hojas viejas, por lo que las deficiencias de estos nutrientes suelen manifestarse en estas hojas. En cambio, los oligoelementos como hierro, boro, zinc, cobre, molibdeno y calcio se obtienen mayormente del suelo, y sus carencias se notan primero en las hojas jóvenes. Los elementos con baja movilidad tienden a mostrar síntomas de deficiencia en los tejidos jóvenes, mientras que los elementos más móviles lo hacen en las hojas más viejas (Heghedűş-Mîndru, 2023).

A veces se ha considerado la posibilidad de usar la fertilización foliar de manera prioritaria. Aunque el área foliar del almendro puede ser significativa, hay varios factores a tener en cuenta: la mayoría de los nutrientes esenciales para la planta se absorben a través de las raíces y la aplicación foliar a menudo resulta en pérdidas significativas de fertilizante, ya que las hojas no retienen bien los nutrientes. Esto requeriría tratamientos frecuentes y costosos, además de potencialmente causar daños a las hojas. La capacidad de absorción foliar de nutrientes es bastante limitada. Por lo tanto, la fertilización foliar debería limitarse a la corrección de deficiencias de oligoelementos, idealmente combinada con un tratamiento fitosanitario adecuado (Morais et al., 2020).

Al aplicar estos tratamientos, es importante tener en cuenta lo siguiente (Muhammad et al., 2017):

- Concentraciones demasiado altas de algunos productos pueden causar quemaduras en las hojas.
- Usar mojantes ayuda a aumentar la superficie de absorción y a reducir el riesgo de quemaduras.
- La absorción se optimiza a temperaturas moderadas y con una humedad adecuada.
- Es preferible utilizar pulverización con gotas gruesas.
- Los iones, como el cloro, nitrógeno y magnesio, se absorben rápidamente.
- La absorción es más eficaz en el envés de las hojas y en las hojas jóvenes.

Es importante tener en cuenta que otros órganos de la planta, como los frutos y los tejidos leñosos, también pueden absorber nutrientes. La deficiencia de un elemento no siempre indica su escasez en el suelo (Solangi et al., 2024).

El pH del suelo es crucial para la absorción de nutrientes. Los suelos alcalinos pueden dificultar la absorción de muchos oligoelementos. Otros factores que afectan la absorción incluyen bajas temperaturas, mala aireación y falta de agua. Al aplicar fertilizantes, es esencial tener en cuenta su contenido de otros elementos secundarios y el pH del fertilizante. Los fertilizantes se pueden clasificar en basificantes (para suelos ácidos), acidificantes (para suelos alcalinos) y neutros. También se debate la eficacia de los fertilizantes simples frente a los compuestos, y es importante evaluar las ventajas y desventajas (Yu, 2022).

Los abonos compuestos presentan varias ventajas sobre la combinación de abonos simples. Primero, sus ingredientes son totalmente compatibles, a diferencia de los abonos simples, que pueden provocar reacciones químicas que afectan su asimilación. También, la mezcla de abonos compuestos es más uniforme, lo que facilita su distribución y absorción. Además, se reducen los costos de manipulación, ya que el agricultor no tiene que realizar mezclas (Moreira et al., 2024).

Por el contrario, los abonos compuestos presentan varios inconvenientes en comparación con las mezclas de abonos simples. Su costo suele ser mayor y encontrar la fórmula ideal que se ajuste a las necesidades específicas del cultivo no siempre es sencillo. Además, el nitrógeno en estos abonos tiende a ser más móvil que el fósforo y el potasio, lo que puede llevar a la pérdida de nitrógeno si se aplica prematuramente, o a una absorción inadecuada de fósforo y potasio si se aplica demasiado tarde (Moreira et al., 2024).

Por lo tanto, desde una perspectiva agronómica, el uso de fertilizantes compuestos puede ser menos recomendable, especialmente si la fórmula no está bien equilibrada con las necesidades del cultivo (Solangi et al., 2024).

6.2.1.4. Evaluación de los requerimientos de fertilización

El diagnóstico se efectúa mediante tres sistemas, los cuales pueden aplicarse por separado o, de manera más efectiva, en combinación y de forma complementaria. Los sistemas empleados son: diagnóstico visual, análisis de suelo y análisis foliar (López Fuster, 2019).

A) Diagnóstico visual

Los excesos o deficiencias de diversos elementos pueden causar estados tóxicos o carenciales, y en algunos casos, los síntomas pueden confundirse. Además, el

diagnóstico suele realizarse de forma tardía, cuando el daño ya está hecho, por lo que este método solo puede considerarse como un complemento a otros.

A continuación, se presenta la sintomatología visual de los distintos elementos en el almendro (Yara, 2024; Muhammad, 2013):

1) Nitrógeno

Época: Primavera y otoño.

Síntomas: Complicado de diagnosticar a través de síntomas visuales. Se presenta una brotación limitada, con hojas pequeñas y pálidas, y una caída temprana de las hojas.

2) Fósforo

Época: Rara.

Síntomas: Las hojas comienzan con un tono oscuro inusual y posteriormente se vuelven pálidas y frágiles.

3) Potasio

Época: Verano.

Síntomas: Hojas pálidas con puntas necróticas con forma de proa de barco y frutos de tamaño pequeño.

4) Zinc

Época: Primavera.

Síntomas: Puede presentarse en suelos con alto contenido de estiércol. La floración y el desborre son tardíos, y la polinización es inadecuada. Las hojas son pequeñas y se agrupan en forma de penacho, mostrando áreas cloróticas entre las venas. Los frutos son pequeños.

5) Boro

Época: Primavera.

Síntomas: Frecuente en suelos ligeros. Se manifiestan necrosis y caída de hojas, así como la muerte de la parte superior del brote. Al final de la primavera, los frutos muestran exudaciones gomosas.

6) Hierro

Época: Primavera.

Síntomas: Asociado a suelos calizos. Hojas amarillas con nervios verdes.

7) Magnesio

Época: Verano

Síntomas: Se encuentra en suelos con pH muy bajo. Las hojas basales, especialmente en brotes vigorosos, muestran clorosis en los bordes y las puntas, lo que eventualmente lleva a su caída.

8) Manganeso

Época: Primavera.

Síntomas: Hojas que presentan un color pálido con pequeñas manchas cloróticas alrededor de las venas principales.

9) Cobre

Época: Verano

Síntomas: Hojas en las extremidades con un tono pálido que se marchitan y caen. Los brotes presentan un crecimiento deficiente. La corteza de ramas y troncos se observa oscura, rugosa y con gomosis.

B) Análisis del suelo

Para analizar el suelo de manera efectiva, es fundamental que el muestreo sea representativo de toda la finca, siempre que no haya variaciones significativas en ella. Normalmente, se obtienen varias submuestras para asegurar una mayor precisión en el análisis. A mayor número de submuestras, mayor será la representatividad del suelo. Estas submuestras se mezclan para obtener una muestra final, la cual debe pesar al menos un kilogramo, estar libre de piedras y, idealmente, no estar demasiado húmeda (Nasraoui et al., 2024).

Para llevar a cabo el análisis del suelo de cultivo, se realizarán catas a lo largo de un corte de aproximadamente 30 centímetros de profundidad. Si es necesario analizar el subsuelo, se tomará una muestra a partir de esa profundidad. En parcelas homogéneas, se puede tomar una muestra cada cinco o diez hectáreas. El muestreo se puede hacer en cualquier época del año, siempre y cuando haya pasado más de un mes desde la última fertilización. Además de la textura y los elementos fertilizantes, se determinarán el pH, la materia orgánica, la caliza total y la relación carbono/nitrógeno (Salvato, 2023).

C) Análisis foliar

Es fundamental para evaluar el estado nutricional y las deficiencias de la planta. Debe considerarse como un complemento al análisis del suelo. Los niveles de diversos elementos en las hojas cambian con el tiempo y también dependen de la ubicación de la

hoja. Por ello, es crucial seguir ciertas directrices para el muestreo de hojas con el fin de obtener resultados precisos en el análisis (Joseph et al., 2022).

En el cultivo de almendros, las muestras deben recogerse siguiendo las siguientes pautas (Pérez Burillo, 2017):

- 1) Realiza el muestreo preferentemente durante la primera quincena de julio.
- 2) Cada muestra debe consistir en aproximadamente 100 hojas.
- 3) Evita seleccionar hojas cercanas al fruto o aquellas que estén dañadas.
- 4) Recoge hojas al azar en los cuatro puntos cardinales del árbol, cubriendo todo su perímetro.
- 5) Para completar la muestra, recolecta hojas de varios árboles, eligiendo entre seis y doce hojas de cada uno a unos dos metros del suelo, y asegúrate de que las hojas no tengan pecíolos.

Las muestras deben enviarse al laboratorio de inmediato después de su recolección. Generalmente, se transportan en bolsas de plástico, que deben perforarse y mantenerse a baja temperatura sin congelar. Pueden conservarse en una nevera portátil hasta su envío al laboratorio. El muestreo debe llevarse a cabo al menos dos semanas después del último tratamiento, especialmente si este incluyó productos químicos que serán analizados (Pérez Burillo, 2017).

Los niveles tóxicos en las hojas, según el análisis, se definen como (Muncharaz, 2017):

- Sodio: > 0,25%
- Cloro: > 0,3%
- Boro: > 300 ppm

Si se presentan deficiencias, se debe ajustar la dosis de fertilizante de manera correcta para lograr niveles óptimos (Muncharaz, 2017).

6.2.1.5. Fertilización mineral

Para diseñar un plan de fertilización del almendro, se deben seguir estos pasos: primero, analizar las características del suelo para detectar posibles problemas. Luego, es importante considerar factores como el pH, la caliza activa, la salinidad y la estructura del suelo, que influyen en la selección de fertilizantes. Finalmente, se debe evaluar el nivel de nutrientes en el suelo; si se encuentra alguna deficiencia, se deberán aplicar fertilizantes complementarios para corregirla (Cho, 2024).

El plan de fertilización debe enfocarse en los nutrientes principales: nitrógeno, fósforo y potasio. Los otros elementos se aplican únicamente si se identifican deficiencias, ya sea por síntomas visibles o, idealmente, mediante análisis de tejidos. Para estimar las necesidades de fertilización de los árboles, generalmente se analiza la cantidad extraída por los órganos vegetativos (Brown et al., 2022).

Así, se calcula el contenido mineral en los órganos que se eliminan anualmente, como las hojas, los frutos completos y la madera de poda. También se estima la cantidad de elementos necesarios para el crecimiento del año y se compensa por aquellos elementos que podrían permanecer en la parcela y ser reciclados. Estos cálculos se ajustan, corrigiendo por exceso o defecto, según los resultados de los análisis foliares (Brown et al., 2022).

El consumo anual de fertilizantes debe equilibrar las extracciones realizadas durante las cosechas y la cantidad que se inmoviliza en la madera para su crecimiento y reservas alimenticias (Cho, 2024). Las hojas caídas se reincorporan al suelo. Basándonos en esto, podemos estimar las extracciones e inmovilizaciones de elementos de la siguiente manera (*Tabla 10*) (Muncharaz, 2017):

Tabla 10. Estimación de extracción e inmovilización de elementos

Fuente: Muncharaz (2017)

Elementos	En 1.000 kg Cosecha	En madera
Nitrógeno (kg)	15	40
Fósforo (kg)	2	6
Potasio (kg)	14	26

En consecuencia, se pueden admitir los siguientes valores, tras especificar las necesidades en unidades de fertilizantes y para diversos rendimientos de cosecha (*Tabla 11*) (Muncharaz, 2017):

Tabla 11. Unidades de fertilizantes para distintos valores de cosecha

Fuente: Muncharaz (2017)

Unidades fertilizantes	Producción esperada en kg/hectárea:			
(kg/ha)	500	1.000	2.000	3.000
N	47	55	70	85
P ₂ O ₅	16	18	23	28
K ₂ O	40	48	65	80

Para alcanzar rendimientos de almendra de 1.000 kg/ha, se recomienda una fertilización con una proporción de 1-0,3-0,9. Es fundamental considerar las características del suelo al elegir el fertilizante, ya que ciertos tipos son más adecuados para suelos ácidos, básicos, calizos,

salinos, etc. Además, la eficacia de la aplicación del fertilizante es clave, ya que no todo el abono aplicado llega al sistema radicular debido a pérdidas por lixiviación, inmovilización y distribución ineficiente. Por lo tanto, se sugiere aumentar las cantidades calculadas en alrededor de un 25% (Muncharaz, 2017).

Cuando se apliquen fertilizantes al suelo, las fracciones de fósforo y potasio deben incorporarse en otoño o invierno. Los fertilizantes nitrogenados deben fraccionarse lo máximo posible; idealmente, al menos la mitad debe aplicarse antes del desborre y la otra mitad aproximadamente un mes después, coincidiendo con el período de mayor crecimiento de la planta. Las aplicaciones se realizarán a una distancia progresivamente mayor del árbol. Una vez el árbol tenga un tamaño considerable, esta distancia se estabilizará en unos tres metros, aproximadamente, por debajo del borde de la copa proyectada (Muhammad, 2013).

Antes de plantar, es crucial no olvidar fertilizar el fondo de la parcela. Esta práctica no solo crea una reserva de nutrientes, sino que también corrige los problemas del suelo. Se recomienda aplicar fertilización orgánica para mejorar el contenido de humus. Especialmente en suelos con menos del 2% de materia orgánica, se debe aportar una cantidad mayor de materia orgánica en función de su deficiencia (Cho, 2024).

Cuando los análisis de hojas y suelo revelan deficiencias en nutrientes, es importante ajustar las dosis recomendadas. La dosis de nitrógeno debe ajustarse teniendo en cuenta la textura del suelo y su contenido de materia orgánica. En suelos arenosos y con baja materia orgánica, se puede aumentar la dosis recomendada. Por el contrario, en suelos arcillosos con alto contenido de materia orgánica, se recomienda reducir la dosis (Joseph et al., 2022).

Cuando los niveles de fósforo y potasio en el suelo sean altos o muy altos, y los niveles en las hojas sean normales, altos o muy altos, se puede omitir la fertilización con fósforo y potasio, siempre y cuando estas condiciones se mantengan. Se debe realizar un análisis anual de las hojas para verificar que los niveles sean adecuados. Si se observa una disminución en estos niveles, se deberá aplicar el fertilizante correspondiente según las recomendaciones. Además, se aplicarán micronutrientes, generalmente por vía foliar, si los análisis muestran que los niveles nutritivos son bajos o muy bajos (Muhammad, 2013).

A continuación, se detalla un plan de abonado (*Tabla 12*) para el almendro basado en las estimaciones previas y utilizando una mezcla de fertilizantes comúnmente aplicados en este cultivo. Las cantidades indicadas para el nivel óptimo de producción se logran de manera gradual a partir del año de plantación (Muncharaz, 2017).

Tabla 12. Plan de abonado en almendro (secano con abonos simples)

Fuente: Muncharaz (2017)

Edad (Años)	Dosis (gramos/árbol)			Fertilizante (gramos/árbol)				Coste del fertilizante por		Producción esperada	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Primavera		Otoño		Árbol	Hectárea	Kg Árbol	Kg Hectárea
				Sulfato amónico 21%	Superfosfato de cal 18%	Sulfato Potásico 50%					
1	10			48				0,005	0,95		
2	20			95				0,010	1,90		
3	35	11	30	167	63	60		0,042	8,32	0,5	100
4	70	23	60	333	125	120		0,083	16,65	1	200
5	105	34	90	500	188	180		0,125	24,97	1,5	300
6	140	45	120	667	250	240		0,166	33,29	2	400
7	175	56	150	833	313	300		0,208	41,62	2,5	500
8	210	68	180	1.000	375	360		0,250	49,94	3	600
9	245	79	210	1.167	438	420		0,291	58,26	3,5	700
10	280	90	240	1.333	500	480		0,333	66,59	4	800
11	315	101	270	1.500	563	540		0,375	74,91	4,5	900
12 y +12	350	113	300	1.667	625	600		0,416	83,23	5	1.000

Coste medio del fertilizante (Euros/100 kilogramos de almendra): **8,32**

Condiciones: Suelo calizo; pH>7; Textura franca Precio de los fertilizantes (Euros/Kg)

Densidad: 200 árboles/hectárea Sulfato amónico: 0,10

Rendimiento: 1.000 kilogramos/hectárea Superfosfato de cal: 0,14

Precipitación anual: 400 a 500 mm. Sulfato potásico: 0,27

6.2.1.6. Fertirrigación

El uso preferente del riego por goteo en el cultivo de almendros, junto con la opción de incorporar fertilizante en el agua de riego, ha representado un avance significativo en las técnicas de fertilización (Mirás et al., 2023).

Desde una perspectiva agronómica, la fertirrigación resulta ser una técnica más eficiente, ya que facilita un fraccionamiento más preciso del fertilizante y su aplicación en el momento óptimo para la planta. Además, el abono se aplica directamente en la zona radicular, disuelto y, por lo tanto, de manera más accesible para la planta. Aunque esta técnica optimiza la utilización del fertilizante y reduce los costes de aplicación, es importante tener en cuenta que el precio de los fertilizantes solubles ha aumentado considerablemente en los últimos años, lo que puede afectar su viabilidad económica (Mirás et al., 2023).

El primer desafío al implementar estos fertilizantes era encontrar abonos que se disolvieran completamente en el agua de riego. En cuanto a los fertilizantes nitrogenados, este aspecto no presentó dificultades, ya que son conocidos por su alta solubilidad. Fertilizantes como la urea al 46%, el nitrato amónico al 33,5% y el sulfato amónico al 21% se disuelven sin problemas en agua. Sin embargo, para los fertilizantes de fósforo y potasio, la adaptación ha sido más complicada, aunque hoy en día se pueden encontrar fácilmente abonos simples con estas propiedades. El ácido fosfórico al 54% se usa comúnmente como fuente de fósforo, mientras que el nitrato potásico, que también aporta nitrógeno, es una opción para el suministro de potasio (López Fuster, 2019; Pirsan et al., 2015).

Para utilizar un producto en fertirrigación, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones (Fares and Abbas, 2009):

- a) Los abonos deben ser totalmente solubles en agua a temperatura ambiente, y su solubilidad aumenta con la temperatura. Es importante tener en cuenta que, durante la dilución del abono, especialmente del nitrógeno, la temperatura disminuye y, por lo tanto, también lo hace la solubilidad.
- b) Los abonos sólidos deben estar libres de impurezas y materiales extraños para prevenir la obstrucción de los sistemas de filtrado.
- c) Siempre que sea posible, deben estar libres de cloruros, sulfatos y sodio para evitar aumentar la salinidad de la solución (agua más fertilizante), la cual no debe exceder los 3 mmhos/cm.
- d) Se recomienda usar abonos con reacción ácida ($\text{pH} < 7$) para evitar la precipitación de calcio, lo cual puede obstruir goteros y tuberías. La acidez del fertilizante también puede ayudar en la limpieza de los goteros.

- e) Cuando se mezclan con otros productos, es crucial verificar su compatibilidad. En particular, se debe prestar atención a los fertilizantes que contienen el ion Ca^{++} (como el nitrato cálcico), ya que pueden formar precipitados con la mayoría de los abonos y resultar incompatibles.

Es fundamental considerar que la máxima movilización de elementos minerales ocurre durante las primeras etapas del crecimiento de las plantas. La brotación y el rápido desarrollo vegetativo se producen principalmente entre marzo y abril. El crecimiento acelerado del fruto también se da en estas etapas iniciales. Después, se produce el endurecimiento del hueso y la formación de yemas. En los meses de agosto y septiembre, tiene lugar la maduración del fruto y la acumulación de reservas. Por lo tanto, las mayores necesidades de nutrientes se presentan al inicio del ciclo anual, cuando se movilizan en gran medida las reservas almacenadas en el árbol. Posteriormente, hay un período de menor consumo, seguido de una fase en la que se movilizan más minerales para establecer las reservas necesarias. En resumen, el ritmo de utilización de minerales sigue un patrón similar al del crecimiento radicular (Aamir et al., 2024).

Tomando en cuenta estas observaciones y que los riegos en el almendro se llevan a cabo entre mayo y septiembre, es importante ajustar la dosificación del abono durante este período. A falta de estudios concluyentes, el ritmo de aplicación de los abonos podría ser el siguiente (*Tabla 13*) (Muncharaz, 2017):

Tabla 13. Ritmo de aplicación de los abonos
Fuente: Muncharaz (2017)

Mes	Incorporación de abono %
Mayo	30
Junio	25
Julio	10
Agosto	20
Septiembre	15

Este método de distribución del fertilizante no satisface completamente las necesidades del cultivo durante las primeras etapas de desarrollo. Por lo tanto, sería ideal realizar un riego en marzo o abril para asegurar que las fases iniciales cuenten con los nutrientes necesarios. De no hacerse, el crecimiento inicial dependería de las reservas, y en ese caso, se podría distribuir el fertilizante de la siguiente manera (Rubio-Asensio, 2022) (*Tabla 14*):

Tabla 14. Distribución del fertilizante

Fuente: Muncharaz (2017)

Mes	Incorporación de abono %
Abril	25
Mayo	15
Junio	15
Julio	10
Agosto	20
Septiembre	15

Se podría optar por dividir el abono en dos partes: una tercera parte o la mitad en febrero, aplicándola de manera convencional al suelo, y luego continuar con el riego desde mayo o incluso junio (si solo se realizan riegos de apoyo), incorporando el resto del fertilizante mediante el agua de riego. La cantidad de fertilizante se determinará en función de la cosecha esperada, asumiendo una eficiencia total en la aplicación (Rubio-Asensio, 2022).

6.2.2. Almendro ecológico

En la agricultura ecológica, el principio clave es asegurar que el suelo sea saludable, equilibrado y rico en materia orgánica. La idea fundamental es 'alimentar el suelo para alimentar la planta', lo que se alcanza mediante prácticas que mejoran la materia orgánica del suelo, fomentan la actividad biológica y optimizan la disponibilidad de nutrientes (Aguilera et al., 2020).

La materia orgánica es fundamental para la fertilidad del suelo y se divide en tres componentes principales (Bhattacharjya et al., 2024):

a) Microflora y microfauna, que comprenden organismos vivos como nematodos, protozoos, algas, hongos y bacterias.

b) Restos de animales y plantas en descomposición, incluyendo materia vegetal, excrementos y otros residuos orgánicos que están siendo degradados por microorganismos del suelo.

c) Humus, que es la materia orgánica transformada y estabilizada. A medida que el material vegetal se descompone, la relación C/N disminuye, estabilizándose en alrededor de 10 en el humus. Este proceso libera lentamente nutrientes imprescindibles para las plantas a través de la mineralización.

La materia orgánica es crucial no solo por su contribución a los nutrientes del suelo, sino también por su impacto en diversas áreas. El humus afecta a (Bernet and Weidmann, 2021):

a) Nutrición. El suministro de nutrientes a las plantas es esencial no solo en cantidad, sino también en la forma en que se entregan. La liberación gradual de nutrientes es clave para la disponibilidad de nitrógeno, un elemento altamente móvil en el suelo. Además, el humus aumenta la solubilidad de ciertos nutrientes, facilitando su absorción, y retiene otros cationes, lo que puede ayudar en la incorporación de nutrientes difíciles de asimilar.

b) Propiedades del suelo. El humus mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo, fortaleciendo su estructura. Esto resulta en mejor aireación, menor compactación, mayor capacidad de retención de agua y nutrientes, y un entorno más favorable para la microflora y microfauna del suelo, beneficiando así a las plantas que crecen en él.

Dado que el humus generado a partir de la descomposición de los restos de cosecha no es suficiente para satisfacer las demandas de nutrientes, es necesario realizar aportes orgánicos periódicos. Antes de plantar, independientemente del tipo de fertilización que se utilice, es crucial aplicar un abonado orgánico de fondo para garantizar condiciones óptimas para el crecimiento inicial del árbol (Bernet and Weidmann, 2021).

En la agricultura ecológica, solo se emplean productos naturales para la fertilización del suelo (Aguilera et al., 2020). La producción agrícola ecológica está regulada por el Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018. Los productos permitidos para la fertilización se clasifican en las siguientes categorías:

a) Fertilizantes orgánicos: son productos naturales que mejoran la fertilidad del suelo (Nichols et al., 2024). Entre ellos se incluyen:

1) Compost. Está compuesto por materia orgánica fermentada y estabilizada de diversas fuentes (como excrementos de animales grandes, lombrices, hongos, cortezas, etc.), siempre que no hayan sido tratados químicamente. La compostación convierte la materia orgánica animal o vegetal en humus a través de procesos biológicos aeróbicos, es decir, mediante fermentación en presencia de aire. Es el fertilizante preferido en la agricultura ecológica, ya que promueve el reciclaje de productos. Se recomienda prepararlo en la propia finca utilizando materiales orgánicos disponibles en ella (Hodson et al., 2021).

2) Estiércol. Son excrementos de animales mantenidos en régimen extensivo, ya sea solos o mezclados con camas de paja, ya sea sin transformar o parcialmente

descompuestos. Es más beneficioso aplicarlo después de su compostación, y en el caso de estiércol líquido, debe diluirse antes de su aplicación (Bernet and Weidmann, 2021). Según el Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, el estiércol debe cumplir con ciertos requisitos para ser considerado adecuado:

- **Origen Animal:** El estiércol debe provenir de animales criados en condiciones que cumplan con los estándares de bienestar animal establecidos por la normativa ecológica.
- **Tratamiento:** El estiércol debe ser tratado de acuerdo con prácticas que minimicen la presencia de patógenos y aseguren que el producto no contenga residuos químicos o contaminantes. La compostación es uno de los métodos aceptados para asegurar este tratamiento.
- **No Uso de Productos Químicos:** No se permite el uso de estiércol de animales que hayan sido tratados con medicamentos no permitidos en agricultura ecológica, como ciertos antibióticos o hormonas.
- **Aplicación:** La aplicación del estiércol debe hacerse de manera que se respete la normativa sobre las dosis permitidas y los tiempos de espera antes de la cosecha, para evitar la contaminación de los productos y asegurar la salud del suelo y de las plantas.
- **Documentación y Trazabilidad:** Los productores deben mantener una documentación adecuada y trazabilidad del origen y tratamiento del estiércol para cumplir con las normativas y garantizar la transparencia en su uso.

El reglamento busca asegurar que los productos de estiércol utilizados en agricultura ecológica contribuyan a la sostenibilidad del sistema agrícola sin comprometer la salud del suelo, las plantas y el medio ambiente.

3) Algas y derivados. Comprenden productos de origen marino que suelen ser ricos en calcio y oligoelementos. Deben ser obtenidos exclusivamente mediante métodos físicos, como el uso de agua o soluciones acuosas, o a través de fermentación (Qader, 2023).

4) Subproductos agroganaderos. Incluyen materiales como polvo de huesos, harinas de pescado, pelos, carne, sangre, vinazas y tortas de oleaginosas, entre otros (Yoo et al., 2023).

b) Enmiendas minerales: son productos naturales empleados para corregir deficiencias de elementos en el suelo. Se dividen en categorías según su composición, como calizas, magnésicas, potásicas y férricas, entre otras (Jiang et al., 2023).

- c) **Activadores biológicos:** son productos naturales que contienen principios activos específicos o una alta concentración de microorganismos, diseñados para estimular o activar ciertas reacciones o procesos en el suelo. Los activadores de compost son un tipo común (Jiaqiang and Chunchan, 2018)
- d) **Abonos verdes:** consisten en cultivar determinadas especies, normalmente de crecimiento rápido y pertenecientes a las familias de leguminosas, crucíferas y gramíneas, para luego enterrarlas mientras están verdes. Este método mejora la fertilidad del suelo a través de diversos efectos beneficiosos, que son los siguientes (Pekrun et al., 2023; Bernet and Weidmann, 2021):
- 1) **Enriquecimiento del suelo con fertilizantes.** Las crucíferas aportan altos niveles de potasio, mientras que las leguminosas son efectivas para fijar nitrógeno en el suelo, lo que ayuda a reducir la pérdida de nitratos. Se estima que un cultivo de abono verde de leguminosas puede crecer entre 120 y 160 días, fijando entre 110 y 220 kilogramos de nitrógeno por hectárea durante ese tiempo.
 - 2) **Protección del suelo contra la erosión y desertificación.** La cobertura vegetal ayuda a proteger el suelo de estos problemas.
 - 3) **Control de malas hierbas.** La competencia generada por la cubierta verde limita el crecimiento de plantas no deseadas.
 - 4) **Mejora de las características del suelo.** Además de aportar materia orgánica, los abonos verdes también movilizan nutrientes de las capas profundas a las superficiales, gracias a la penetración de raíces, especialmente de las crucíferas. Esto mejora la estructura del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y drenaje.
- e) **Acondicionadores y otras funciones:** son ciertos productos que ofrecen diversas funcionalidades adicionales. Por ejemplo, pueden inicialmente proteger el suelo contra la erosión y el incremento de malas hierbas, y, una vez descompuestos, contribuir a aumentar la fertilidad del suelo y mejorar sus particularidades. Entre estos productos se encuentran los subproductos de la tala, como el mantillo de corteza, el serrín, las virutas y el polvo de madera (Srivastava et al., 2023).

6.3. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

6.3.1. Plagas principales y tratamientos en el almendro

Las plagas principales de fitófagos que afectan al cultivo del almendro son:

6.3.1.1. Pulgón verde (*Myzus persicae*) (Homóptero) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Kirkland et al., 2024) (*Figura 23*).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** En invierno valorar el nivel de puesta y durante la brotación la aparición de las primeras colonias, considerando el posible daño derivado de la producción de melaza.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Realizar un abonado racional, evitando excesos de nitrógeno. Poda en verde para eliminar chupones.
- **Umbral/Momento de intervención:** Tratamiento invernal si ha habido afectación fuerte el año anterior y presencia de huevos Post floración: Realizar tratamiento para controlar las primeras colonias. Vegetación: 5% de brotes ocupados.
- **Medios biológicos:** Mantener e incrementar la fauna auxiliar mediante cubiertas y márgenes vegetales: coccinélidos, neurópteros y sírfidos.
- **Medios químicos:** Pirimicarb, acetamiprid, flonicamid, deltametrina y lambda-cihalotrin.

Evitar realizar tratamientos tardíos ya que los pulgones esta protegidos por las hojas enrolladas y también para no afectar las poblaciones de fitoseidos.

- **Medios naturales para almendro ecológico:** Aceite de neem (azadiractina), aceite parafínico y polisulfuro de calcio.



Figura 23. Pulgón verde (*Myzus persicae*)

Fuente: Certis Belchim (2024)

6.3.1.2. Gusano cabezudo (*Capnodis tenebrionis*) (Coleóptero) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Benseddik et al., 2022) (*Figura 24 y 25*).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Vigilar las plantaciones si se observan síntomas, presencia de adultos o larvas.

- **Medidas de prevención y/o culturales:** Mantener las plantaciones en buen estado vegetativo. Arrancar árboles afectados, quemando raíces y tronco. Con riego localizado, mantener humedad en la base del tronco durante el período de puesta.
- **Umbral/Momento de intervención:** No existe umbral. Realizar la protección química a final de invierno/principios de primavera contra los adultos invernantes y en los meses centrales de verano para evitar las puestas de las hembras en el suelo.
- **Medios biológicos:** Existen formulados de nematodos entomopatógenos.
- **Medios físicos:** Uso de láminas de polietileno enterradas a la base de los árboles para evitar que las larvas lleguen a las raíces.
- **Medios químicos:** Alfa cipermetrina y acetamiprid.
La lucha química se dirige a los adultos.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Piretrinas naturales y aceite de neem (azadiractina).



Figura 24. Larvas del gusano cabezudo
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)



Figura 25. Gusano cabezudo adulto
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.1.3. *Minadora de los brotes y frutos (Anarsia lineatella)* (Lepidóptero) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Synergy Nuts, 2024; Hamby et al., 2015) (Figura 26).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Seguimiento de la curva de vuelo mediante trampas delta y feromona sexual, realizando los conteos semanalmente. Observación de daños en brotes y frutos.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Eliminación y destrucción de los brotes afectados de las parcelas con árboles jóvenes.
- **Umbral/Momento de intervención:** Tratamiento prefloración según afectación campaña anterior. Vegetación: 3% de brotes atacados 1% de daños en fruto.
- **Medios biológicos:** Se saben de diferentes enemigos naturales, *Bracónidos* e *Ichneumónidos* (*Apanteles emarginatus*, *A. xanthostigmus*, *Paralithomastix variicornis*, *Perisierola gallicola*, *Copidosoma pyralidis*, *Elasmus flabellatus*, etc.)

- **Medios químicos:** Oxicloruro de cobre, lambda-cihalotrin y *bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki*.
Tratamiento en prefloración o a la salida de las larvas invernantes y en las tres generaciones anuales a máximo de vuelo.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Aceite de neem (azadiractina) y aceite parafínico.



Figura 26. Larva de *Anarsia* en almendra
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.1.4. Mosquito verde (*Jacobiasca lybica* Berg, *Asymmetrasca decedens* Paoli) (Homóptero) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Abu et al., 2023) (Figura 27).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de formas vivas y/o brotes con síntomas. En plantaciones jóvenes es aconsejable la colocación de placas amarillas adhesivas (2 por fina o parcela), realizando observaciones semanales para control de vuelo.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Eliminación de malas hierbas de la parcela durante la parada invernal.
- **Umbral/Momento de intervención:** No hay establecido un umbral. Los tratamientos deben ir dirigidos contra el máximo poblacional de ninfas, que se produce durante el verano.
- **Medios biológicos:** Colocación de placas amarillas adhesivas. Himenópteros Parasitoides: *Anagrus atomus* y *Stethynium triclavatum* (ambos parasitan huevos). Depredadores: *chinchas míritidos*.
- **Medios químicos:** Lambda-cihalotrin, acetamiprid, fenpiroximato, deltametrin y Tau-Fluvalinato.
Dirigir las aplicaciones hacia las partes tiernas de las brotaciones.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Piretrinas naturales.



Figura 27. Mosquito verde adulto
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.1.5. Tigre (*Monosteira unicostata*) (Hemíptero) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Bouali et al., 2024) (Figura 28 y 29).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Durante primavera y verano realizar prospección visual de formas vivas en brotes y hojas.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** No utilizar variedades sensibles. Si hay ataques intensos, se aconseja eliminar las hojas caídas al suelo para reducir población.
- **Umbral/Momento de intervención:** A partir de un 10% de brotes ocupados con formas vivas. En fincas donde el año anterior ha habido una fuerte afectación puede realizarse a partir de un 5%.
- **Medios biológicos:** Favorecer la fauna auxiliar: antocóridos, cecidómidos y coccinélidos.
- **Medios físicos:** En las parcelas afectadas se pueden encalar los troncos a finales de la última generación para evitar que el adulto se refugie en la corteza.
- **Medios químicos:** Tau-Fluvalinato y azadiractin.
La lucha química se dirige a los adultos para evitar el incremento poblacional.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Aceite de neem (azadiractina), aceite parafínico, piretrinas naturales y polisulfuro de calcio.



Figura 28. Detalle ninfas y mudas de tigre del almendro en hoja en seto
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)



Figura 29. Detalle adulto tigre del almendro en hoja en seto
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.1.6. Araña amarilla y roja (*Eotetranychus carpini*, *Tetranychus urticae*, *Panonychus ulmi*) (Arácnido) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Chaboussou, 2017) (Figura 30).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de los primeros síntomas. En caso de *P. ulmi* observación visual de la puesta de invierno sobre madera.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Control del abonado nitrogenado. Utilizar productos respetuosos con los ácaros fitoseidos.
- **Umbral/Momento de intervención:** Tratamiento invernal si ha habido afectación fuerte el año anterior. Tratamiento eclosión huevos invernantes: En *P. ulmi* al 80% de huevos eclosionados. Vegetación: Al observar los primeros síntomas, sobre el 5% de brotes afectados.
- **Medios biológicos:** Favorecer y respetar las poblaciones de fitoseidos y de *Stethorus spp.*
- **Medios químicos:** Abamectina, tebufenpirad y etoxazol.
Es importante limitar la aparición de formas móviles de la primera generación.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Aceite de neem (azadiractina) y aceite parafínico.



Figura 30. Araña amarilla de almendro
Fuente: Zapata Ecoagro (2024)

6.3.1.7. Nematodo *Meloidogyne* (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Westphal et al., 2019).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de un decaimiento general del árbol y detección de nódulos en raíces. Valoración del riesgo según patrón, nivel de inóculo y textura del suelo.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Elegir patrones resistentes o tolerantes. Destrucción de los órganos afectados para reducir el inóculo. En replantación, eliminar los restos vegetales afectados del cultivo anterior y no cultivar huéspedes susceptibles durante al menos dos años.
- **Umbral/Momento de intervención:** Presencia.

- **Medios biológicos:** Hongos nematófagos y saprófagos como *Paecilomyces lilacinus* y especies de *Trichoderma*, las bacterias *Bacillus spp.* y *Pseudomonas spp.*
- **Medios químicos:** Espirotetramato.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Aceite de neem (azadiractina).

6.3.1.8. Barrenillo (*Scolytus amygdali*) (Coleóptero) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Zeiri et al., 2018) (*Figura 31*).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de las galerías alimenticias y de puesta.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Localizar las ramas con larvas invernantes y eliminarlas antes de la salida de los adultos de la primera generación. Las ramas después de cortadas deben quemarse inmediatamente y en caso de guardarse, deben depositarse en sacos de plástico y en lugares cerrados.
- **Umbral/Momento de intervención:** No existe umbral, los tratamientos se deben realizar en el momento de iniciar las galerías alimenticias y antes de introducirse en las ramas.
- **Medios biológicos:** Preservar la fauna auxiliar.
- **Medios químicos:** Deltametrin.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Piretrinas naturales.



Figura 31. Barrenillo del almendro
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.1.9. Orugueta (*Aglaope infausta*) (Lepidóptero) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; (Alghamdi and Alsabehi, 2024) (*Figura 32*).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Vigilar las plantaciones si se observan síntomas en las hojas.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** En zonas con problemas de parcelas abandonadas colindantes se debe extremar la vigilancia ante el ataque de esta plaga.

- **Umbral/Momento de intervención:** Observación de los primeros daños en hojas.
- **Medios biológicos:** Preservación fauna auxiliar: himenópteros y pájaros insectívoros. Placas cromáticas para la captura de adultos.
- **Medios químicos:** *Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki*, deltametrina y lambda-cihalotrin.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Aceite parafínico y piretrinas naturales.



Figura 32. Orugeta del almendro
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

En la siguiente *Tabla 15* se muestran los distintos tratamientos (cultural, biológico, físico, químico y de compuesto natural) para las plagas del almendro:

Tabla 15. Tipos de tratamientos para las plagas del almendro
Fuente: MAPA (2015); MAPA (2024); Synergy Nuts (2024); Agrologica (2024)

PLAGAS PRINCIPALES	TRATAMIENTO				
	Cultural	Biológico	Físico	Compuesto Químico	Compuesto Natural
				AC	AE
Pulgón verde (<i>Myzus persicae</i>)	X	X	-	X	X
Gusano cabezudo (<i>Capnodis tenebrionis</i>)	X	X	X	X	X
Anarsia (<i>Anarsia lineatella</i>)	X	X	-	X	X
Mosquito verde (<i>Empoasca vitis</i>)	X	X	-	X	X
Falso tigre (<i>Monosteira unicostata</i>)	X	X	X	X	X
Araña amarilla (<i>Tetranychus urticae</i>)	X	X	-	X	X
Nemátodo <i>Meloidogyne</i>	X	X	-	X	X
Barrenillo (<i>Scolytus amygdali</i>)	X	X	-	X	X
Orugeta (<i>Aglaope infausta</i>)	X	X	-	X	X

- Como podemos observar en dicha tabla, el tratamiento químico para almendro convencional y con compuesto natural para almendro ecológico se realiza para las principales plagas del almendro.
- El tratamiento cultural y biológico se aplica también para las principales plagas del almendro.
- El tratamiento físico se aplica para Gusano cabezudo (*Capnodis tenebrionis*) y Falso tigre (*Monosteira unicostata*).

En la siguiente *Tabla 16* se presentan las distintas plagas para los diferentes tipos de almendro, convencional y ecológico, al mismo tiempo, se destacan aquellos compuestos químicos y naturales utilizados para las diferentes plagas. La presencia de compuestos químicos en las almendras puede causar un riesgo para la salud, de no haberse realizado un uso adecuado en el tratamiento de las plagas.

Tabla 16. Tratamientos para las plagas del almendro

Fuente: MAPA (2015); MAPA (2024); Synergy Nuts (2024); Agrológica (2024)

PLAGAS PRINCIPALES	TRATAMIENTO	
	Convencional	Ecológico **
Pulgón verde (<i>Myzus persicae</i>)	Pirimicarb, acetamiprid, flonicamid, deltametrina y lambda-cihalotrin	Aceite de neem (azadiractina), aceite parafínico y polisulfuro de calcio
Gusano cabezudo (<i>Capnodis tenebrionis</i>)	Alfa cipermetrina y acetamiprid	Piretrinas naturales y aceite de neem (azadiractina)
Minadora de los brotes y frutos (<i>Anarsia lineatella</i>)	Oxicloruro de cobre, lambda-cihalotrin y <i>Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki</i> .	Aceite de neem (azadiractina) y aceite parafínico
Mosquito verde (<i>Empoasca vitis</i>)	Lambda-cihalotrin, acetamiprid, fenpiroximato, deltametrina y Tau-Fluvalinato	Piretrinas naturales
Falso tigre (<i>Monosteira unicostata</i>)	Tau-Fluvalinato y azadiractin	Aceite de neem (azadiractina), aceite parafínico, piretrinas naturales y polisulfuro de calcio
Araña amarilla y roja (<i>Eotetranychus carpini</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>Panonychus ulmi</i>)	Abamectina, tebufenpirad y etoxazol	Aceite de neem (azadiractina) y aceite parafínico
Nemátodo <i>Meloidogyne</i>	Espirotetramato	Aceite de neem (azadiractina)
Barrenillo (<i>Scolytus amygdali</i>)	Deltametrina	Piretrinas naturales
Orugeta (<i>Aglaope infausta</i>)	<i>Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki</i> , deltametrina y lambda-cihalotrin	Aceite parafínico y piretrinas naturales

** Reglamento CE nº 889/2008 de la Comisión de 5 de septiembre de 2008 modificado por el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/181 de la Comisión de 15 de febrero de 2021

En la *Figura 33* se representan los porcentajes correspondientes al empleo de cada compuesto químico de la *Tabla 16*, resultando ser deltametrina, lambda-cihalotrin, acetamiprid, Tau-Fluvalinato y *Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki* los compuestos químicos más utilizados para tratar las plagas del almendro convencional, mientras que en la *Figura 34*, aceite de neem (azadiractina), aceite parafínico y peritrenas naturales son compuestos naturales más empleados para el tratamiento de plagas en el almendro ecológico.

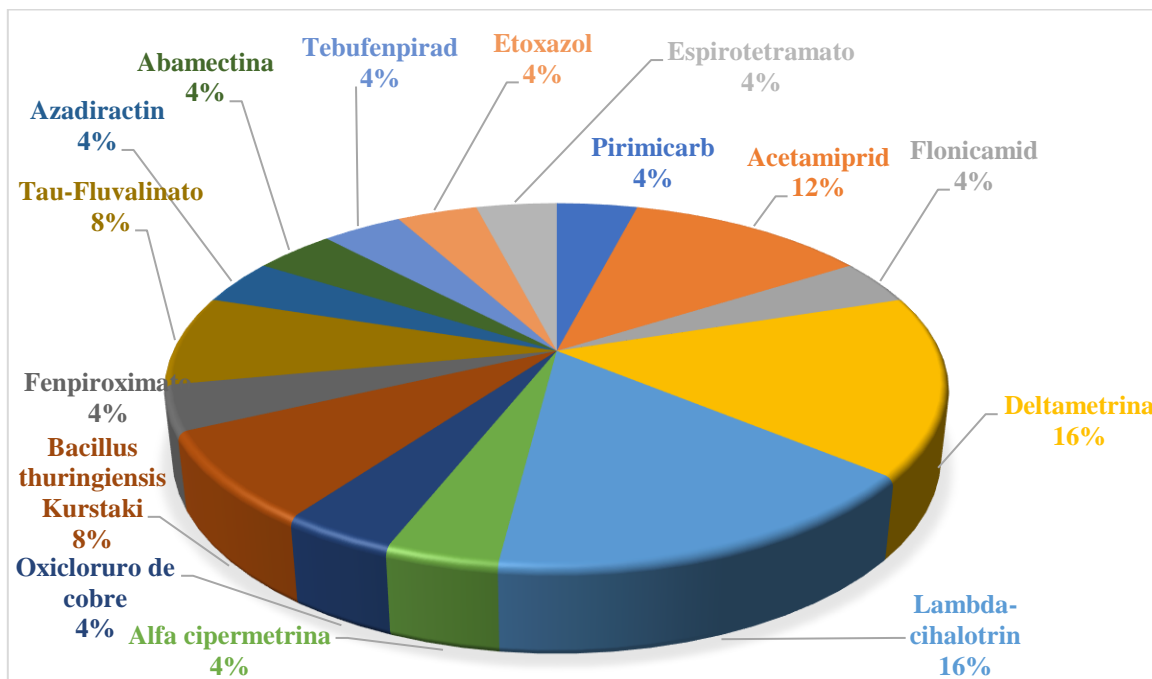


Figura 33. Porcentaje de compuestos químicos utilizados en almendro convencional para el tratamiento de plagas

Fuente: MAPA (2015); MAPA (2024); Synergy Nuts (2024); Agrologica (2024)

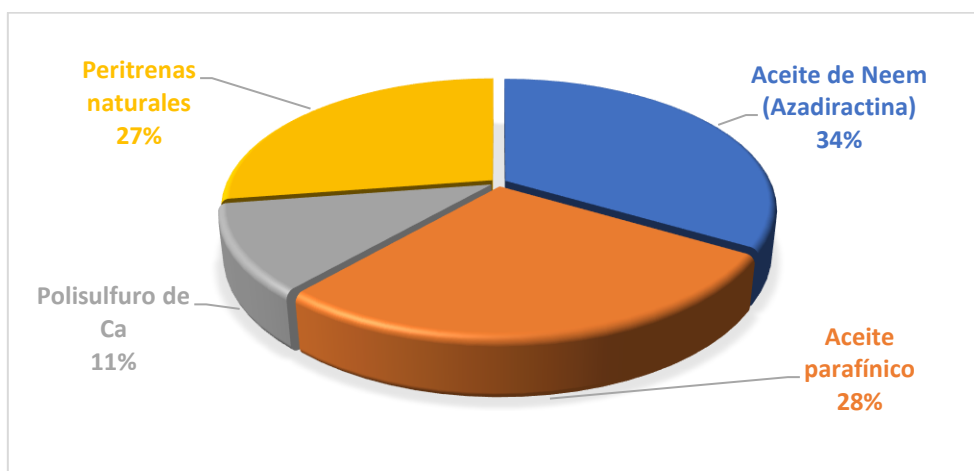


Figura 34. Porcentaje de compuestos naturales utilizados en almendro ecológico para el tratamiento de plagas

Fuente: MAPA (2015); MAPA (2024); Synergy Nuts (2024); Reglamento CE nº 889/2008 modificado por el Reglamento 2021/181

6.3.2. Enfermedades principales y tratamientos en el almendro

Las enfermedades principales del almendro, todas ellas provocadas por hongos, agrupadas por los órganos afectados, son:

6.3.2.1. Monilia o podredumbre parda (*Monilinia* sp.) (Flor y fruto) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Akhlaq et al., 2023) (*Figura 35*).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de síntomas: chancros en madera, frutos momificados, flores secas. Valoración del riesgo según nivel de inóculo y condiciones meteorológicas durante la floración.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Elegir variedades menos sensibles. Eliminación de ramas atacadas y frutos momificados para reducir el inóculo. Realizar poda adecuada para favorecer la aireación.
- **Umbral/Momento de intervención:** Tratamiento preventivo durante la floración según riesgo de la parcela y condiciones meteorológicas.
- **Medios químicos:** Fenhexamida, trifloxistrobina, captan, piraclostrobina, ciprodinil, tebuconazol, bacillus subtilis y bacillus amyloliquefaciens.
Los tratamientos preventivos se realizan en floración. Las plantaciones afectadas se deben proteger desde el inicio de la floración hasta la caída de pétalos.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Polisulfuro de calcio.



Figura 35. Monilia o podredumbre parda del almendro

Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.2.2. Mancha ocre (*Polystigma ochraceum*) (Hoja) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; López et al., 2016) (*Figura 36*).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de los primeros síntomas en hojas durante primavera. Valoración del riesgo según variedad, nivel de inóculo y meteorología.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Elegir variedades menos sensibles. Destrucción de los órganos afectados para reducción del inóculo.
- **Umbral/Momento de intervención:** Primeros síntomas en primavera. Los tratamientos son preventivos según riesgo de la parcela.
- **Medios químicos:** Captan, folpet, piraclostrobina, difenoconazol y kresoxim metil.

En primavera, desde la caída de pétalos hasta finales de mayo, en el caso de producirse humedades intensas o lluvias.

- **Medios naturales para almendro ecológico:** Cobre ecológico.



Figura 36. Mancha ocre del almendro

Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.2.3. Cribado o perdigonado (*Coryneum beijerinckii* / *Stigmina carpophila*) (Hoja) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Freitas et al., 2023) (Figura 37).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de síntomas en hojas, frutos y ramas. Valoración del riesgo según nivel de inóculo y condiciones meteorológicas durante los períodos de sensibilidad.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Elegir variedades menos sensibles. Destrucción de los órganos afectados para reducción del inóculo. Realizar poda adecuada que impida un exceso de vegetación.
- **Umbral/Momento de intervención:** Tratamiento preventivo mediante el inicio brotación según riesgo de la parcela y las condiciones meteorológicas.
- **Medios químicos:** captan y ziram.
Proteger desde la prefloración (estado C/D) al cuajado del fruto (estado H), especialmente con altas humedades y lluvias. En otoño al 50% de caída de hojas.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Polisulfuro de calcio y cobre ecológico.



Figura 37. Daños en la almendra por Cribado

Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.2.4. Lepra o abolladura (*Taphrina deformans*) (Brotos y ramas) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Ollero-Lara et al., 2019) (*Figura 38*).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de síntomas en hojas y frutos. Valoración del riesgo según nivel de inóculo y condiciones meteorológicas durante los períodos de sensibilidad.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Elegir variedades menos sensibles. Destrucción de los órganos afectados para reducción del inóculo.
- **Umbral/Momento de intervención:** Tratamiento preventivo mediante el inicio brotación según riesgo de la parcela y las condiciones meteorológicas.
- **Medios químicos:** captan, ziram, acetamiprid, deltametrina, lambda-cihalotrin, pirimicarb y tau-fluvalinato.
Proteger desde la prefloración (estado C/D) al cuajado del fruto (estado H), especialmente con altas humedades y lluvias. Con ataques fuertes en otoño al 50% de caída de hojas.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Polisulfuro de calcio y cobre ecológico.



Figura 38. Lepra en almendro
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.2.5. Verticilosis (*Verticillium dahliae*) (Brotos y ramas) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Sánchez Hernández et al., 2023) (*Figura 39*).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de síntomas en ramas. Valoración del riesgo según nivel de inóculo y condiciones meteorológicas durante los periodos sensibles.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Destrucción de los órganos afectados para reducir el inóculo.
- **Umbral/Momento de intervención:** Presencia.

- **Medios químicos:** No existe una lucha química eficaz para combatir la enfermedad, ya que ataca al interior de los tejidos del almendro, donde los fungicidas no pueden llegar. Realizar un abonado equilibrado, evitando el exceso de nitrógeno y la falta de potasio.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Realizar un abonado equilibrado, evitando el exceso de nitrógeno y la falta de potasio.



Figura 39. Verticilosis en almendro
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.2.6. Chancro de las ramas (*Fusicoccum amygdali*) (Brotos y ramas) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Fontaine et al., 2022) (Figura 40 y 41).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de síntomas en ramas. Valoración del riesgo según variedad, nivel de inóculo y meteorología.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Elegir variedades menos sensibles. Realizar un abonado racional. Puede reducirse el inóculo realizando una poda en verde durante el verano y otra en invierno, eliminando las ramas más afectadas.
- **Umbral/Momento de intervención:** Tratamiento preventivo en primavera según riesgo.
- **Medios químicos:** Captan, folpet y ziram.
Los tratamientos preventivos se realizan durante mayo-junio y a la caída de hoja.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Polisulfuro de calcio y cobre ecológico.



Figura 40. Almendro con ramas afectadas por *fusicocum* o *chancro*
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)



Figura 41. Yema con chancro producido por *fusicocum* o *chancro*
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.2.7. Roya (*Tranzschella pruni-spinosae*) (Hoja) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Vidal et al., 2021) (Figura 42).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de síntomas en hojas. Valoración del riesgo según nivel de inóculo y condiciones meteorológicas durante los periodos sensibles.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Destrucción de los órganos afectados para reducir el inóculo. Realizar una poda adecuada que favorezca la aireación de la plantación.
- **Umbral/Momento de intervención:** Tratamiento preventivo después de la floración según riesgo de la parcela y condiciones meteorológicas.
- **Medios químicos:** Fluxapiraxad, piraclostrobina, metconazol, difenoconazol, azoxistrobin y tebuconazol.
En primavera-verano, cuando se den humedades altas o lluvias. Con ataques severos, al 75% de caída de hoja.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** Polisulfuro de calcio y cobre ecológico.



Figura 42. Hoja de almendro con pústulas en el envés causadas por roya
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

6.3.2.8. Podredumbre del cuello (*Phytophthora spp*) (Raíz) (MAPA, 2015; MAPA, 2024; Beluzán et al., 2022) (*Figura 43 y 44*).

- **Seguimiento y estimación del riesgo para el cultivo:** Observación visual de un debilitamiento general del árbol y detección de síntomas en cuello y raíces que suelen detectarse a finales de invierno principios de primavera, coincidiendo con un aumento de las temperaturas.
- **Medidas de prevención y/o culturales:** Uso de patrones resistentes. Evitar los excesos y encharcamientos de agua en la zona del cuello. Evitar lesiones en el tronco. En replantación eliminar los restos vegetales afectados.
- **Umbral/Momento de intervención:** Presencia.
- **Medios físicos:** En árboles afectados se puede descalzar la base del tronco para facilitar la aireación.
- **Medios químicos:** No existen tratamientos químicos conocidos para este uso en el cultivo del almendro. La única estrategia válida para esta enfermedad es la prevención.
- **Medios naturales para almendro ecológico:** No existen tratamientos naturales conocidos para este uso en el cultivo del almendro. La única estrategia válida para esta enfermedad es la prevención.

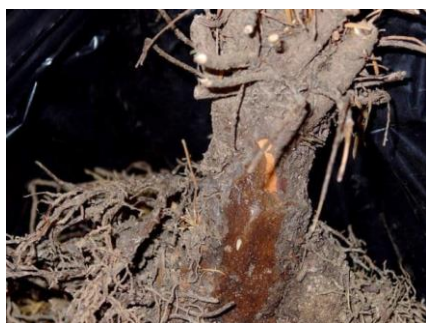


Figura 43. Cuello afectado por podredumbre
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)



Figura 44. Tejidos internos afectados
Fuente: Synergy Nuts. UPC (2024)

De forma similar a las plagas, en el caso de los tratamientos de las enfermedades del almendro, se ha realizado una comparación en función de la naturaleza de los mismos (cultural, biológico, físico, químico y de compuesto natural) y que se muestra en la siguiente *Tabla 17*.

Tabla 17. Tipos de tratamientos para las enfermedades del almendro

Fuente: MAPA (2015); MAPA (2024); Synergy Nuts (2024); Agrologica (2024)

ENFERMEDADES	TRATAMIENTO				
	Cultural	Biológico	Físico	Compuesto Químico	Compuesto Natural
				AC	AE
Monilia o podredumbre parda (<i>Monilinia sp.</i>)	X	-	-	X	X
Mancha ocre (<i>Polystigma ochraceum</i>)	X	-	-	X	X
Cribado o perdigonado (<i>Coryneum beijerinckii</i> / <i>Stigmia carpophila</i>)	X	-	-	X	X
Lepra o abolladura (<i>Taphrina deformans</i>)	X	-	-	X	X
Verticilosis (<i>Verticillium dahliae</i>)	X	-	-	-	-
Chancro de las ramas (<i>Fusicoccum amygdali</i>)	X	-	-	X	X
Roya (<i>Tranzschella pruni-spinosae</i>)	X	-	-	X	X
Podredumbre del cuello (<i>Phytophthora spp</i>)	X	-	X	-	-

- Como podemos observar en dicha tabla, el tratamiento químico para almendro convencional y con compuesto natural para almendro ecológico se realiza para las plagas principales del almendro excepto para *Verticillium dahliae* y *Phytophthora spp*.
- El tratamiento cultural se aplica para las enfermedades principales del almendro y no existe tratamiento biológico para todas ellas.
- El tratamiento físico se aplica solo para Podredumbre del cuello (*Phytophthora spp*).

Al igual que en el caso de las plagas, en la siguiente *Tabla 18*, se presentan las distintas enfermedades para los diferentes tipos de almendro, convencional y ecológico, al mismo tiempo, se destacan aquellos compuestos químicos y naturales utilizados para las diferentes enfermedades.

Tabla 18. Tratamientos para las enfermedades del almendro

Fuente: MAPA (2015); MAPA (2024); Synergy Nuts (2024); Agrologica (2024)

ENFERMEDADES	TRATAMIENTO	
	Convencional	Ecológico**
Monilia o podredumbre parda (<i>Monilinia sp.</i>)	Fenhexamida, trifloxistrobina, captan, piraclostrobina, ciprodinil, tebuconazol, <i>bacillus subtilis</i> y <i>bacillus amyloliquefaciens</i>	Polisulfuro de calcio
Mancha ocre (<i>Polystigma ochraceum</i>)	Captan, folpet, piraclostrobina, difenoconazol y kresoxim metil	Cobre ecológico

Cribado o perdigonado (<i>Coryneum beijerinckii</i> / <i>Stigmina carpophila</i>)	Captan y ziram	Polisulfuro de calcio y cobre ecológico
Lepra o abolladura (<i>Taphrina deformans</i>)	Captan, ziram, acetamiprid, deltametrina, lambda-cihalotrin, pirimicarb y tau-fluvalinato	Polisulfuro de calcio y cobre ecológico
Verticilosis (<i>Verticillium dahliae</i>)	Ninguno. Realizar un abonado equilibrado evitando el exceso de nitrógeno y la falta de potasio.	
Chancro de las ramas (<i>Fusicoccum amygdali</i>)	Captan, folpet y ziram	Polisulfuro de calcio y cobre ecológico
Roya (<i>Tranzschella pruni-spinosae</i>)	Fluxapiroxad, piraclostrobina, metconazol, difenoconazol, azoxistrobin y tebuconazol	Polisulfuro de calcio y cobre ecológico
Podredumbre del cuello (<i>Phytophthora spp</i>)	-	-

** Reglamento CE nº 889/2008 de la Comisión de 5 de septiembre de 2008 modificado por el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/181 de la Comisión de 15 de febrero de 2021

Además, como podemos observar en la *Figura 45*, captan, piraclostrobina, tebuconazol, ziram, folpet y difenoconazol son los compuestos químicos más utilizados para tratar las enfermedades del almendro convencional según la *Tabla 18*. Mientras que en la *Figura 46*, polisulfuro de calcio y cobre ecológico, son los compuestos naturales empleados para tratar las enfermedades de almendro ecológico.

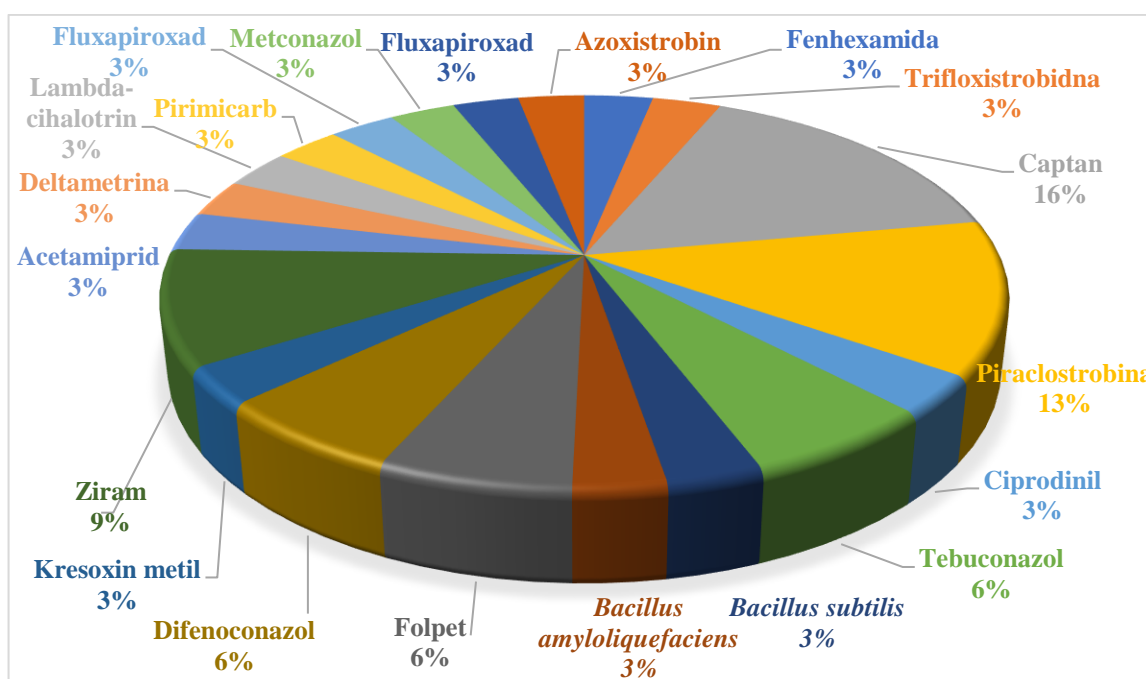


Figura 45. Porcentaje de compuestos químicos utilizados en almendro convencional para el tratamiento de enfermedades

Fuente: MAPA (2015); MAPA (2024); Synergy Nuts (2024); Agrologica (2024)

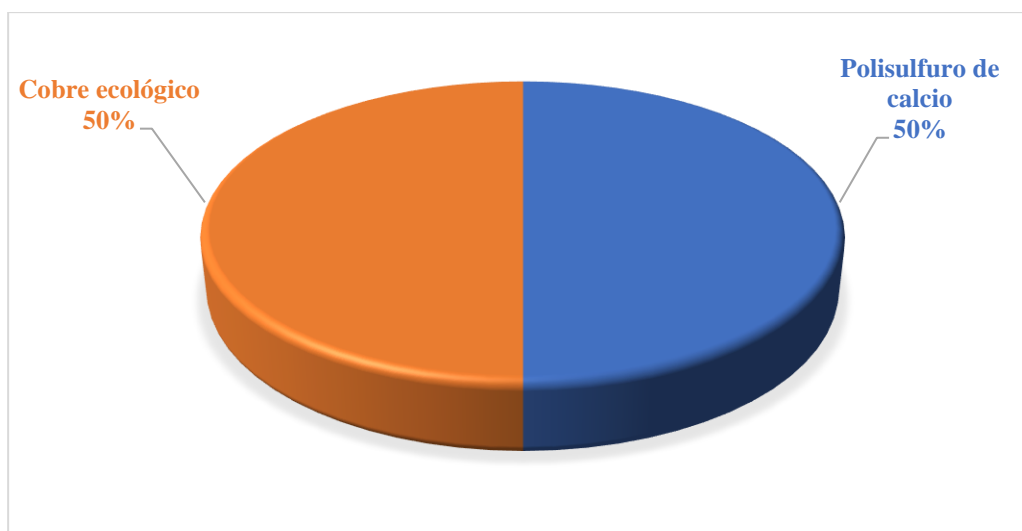


Figura 46. Porcentaje de compuestos químicos utilizados en almendro ecológico para el tratamiento de enfermedades

Fuente: MAPA (2015); MAPA (2024); Synergy Nuts (2024); Agrológica (2024)

7. SUSTENTABILIDAD DEL CULTIVO CONVENCIONAL Y ECOLÓGICO DEL ALMENDRO.

Sustentabilidad es utilizar los recursos disponibles de manera responsable, sin poner en riesgo los de las generaciones futuras y se logran mantener cuando se gestiona de manera adecuada (Trigo et al., 2021). Los principios de la sustentabilidad son:

- Los recursos renovables no deberán utilizarse a un ritmo superior al de su generación.
- Las sustancias contaminantes deben producirse a un ritmo que no exceda la capacidad del medioambiente para reciclar, neutralizar o absorberlas.
- Los recursos no renovables no deben ser explotados más rápidamente de lo que se puede reemplazar por recursos renovables que se utilicen de forma sostenible.

Es necesario fomentar las tecnologías que mejoren la eficiencia en el uso de los recursos naturales, generando un mayor rendimiento por cada recurso utilizado, y reducir aquellas que demandan más recursos para lograr los mismos resultados. De acuerdo con los anteriores principios, la sostenibilidad dependerá de cómo se equilibre el crecimiento de las actividades humanas que consumen recursos naturales, la resiliencia del ecosistema y las acciones destinadas a renovar esos recursos o mitigar los efectos contaminantes. Esto determinará si el proceso es verdaderamente sustentable o si, por el contrario, contribuye al deterioro ambiental (Trigo et al., 2021).

Desafortunadamente, el cultivo de almendras tiene un impacto ambiental negativo debido a la cadena de producción. El transporte de almendras contribuye alrededor del 6% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Aunque existen fuentes de emisiones más significativas, la gran distancia recorrida para distribuir el producto a nivel mundial genera una considerable huella de carbono. Además, el elevado consumo de agua en su producción ha tenido un impacto perjudicial en la biodiversidad acuática (Kelly, 2023).

7.1. EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

El ciclo del carbono es fundamental para la regulación del clima terrestre y está estrechamente vinculado a las actividades esenciales para la vida. Este ciclo es crucial para la producción de materia orgánica, que sirve como el alimento básico para todos los seres vivos. El carbono es un componente clave para el almendro porque participa en compuestos como la glucosa, que es vital para procesos como la respiración, y también está involucrado en la fotosíntesis en forma de CO₂ (dióxido de carbono), tal como se encuentra en la atmósfera (Wei et al., 2024).

Las principales reservas de carbono en forma de CO₂ que los almendros pueden utilizar se encuentran en la atmósfera y en la hidrosfera. Este gas está presente en la atmósfera en una concentración superior al 0,03%, y aproximadamente el 5% de estas reservas de CO₂ se consume anualmente durante la fotosíntesis. En otras palabras, el dióxido de carbono se renueva en la atmósfera cada 21 años. El CO₂ regresa a la atmósfera cuando los seres vivos, a través de la respiración, oxidan los alimentos produciendo CO₂. En la biosfera, la mayor parte de la respiración es realizada por las raíces de los almendros y los organismos del suelo, más que por los animales visibles. Los productos finales de la combustión son CO₂ y vapor de agua, y el equilibrio entre la producción y el consumo de estos gases mediante la fotosíntesis es lo que permite la vida (Laza et al., 2023).

Los almendros contienen clorofila, que absorben CO₂ del aire y, durante la fotosíntesis, liberan oxígeno mientras producen el material nutritivo esencial. Dado que todas las plantas verdes realizan este proceso continuamente, es difícil siquiera imaginar la cantidad de CO₂ que se utiliza en la fotosíntesis. A medida que el CO₂ es consumido por los almendros, también es reemplazado a través de la respiración de los seres vivos, la descomposición de la materia orgánica y como producto final de la combustión de combustibles fósiles como petróleo, hulla y gasolina (Sperling et al., 2019).

El ciclo del carbono (*Figura 47*) involucra tanto a los seres vivos como a diversos fenómenos naturales, como los incendios. Los organismos acuáticos que realizan fotosíntesis absorben CO_2 del agua, donde la solubilidad de este gas es considerablemente mayor que en el aire (Wei et al., 2024).

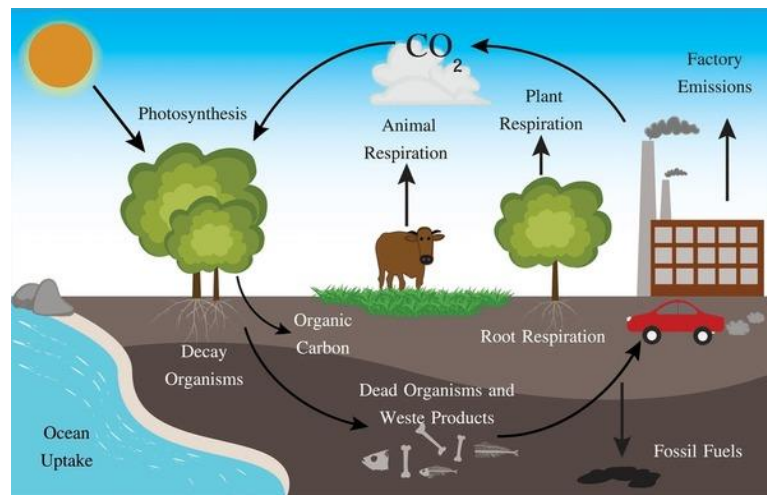


Figura 47. Ciclo del carbono

Fuente: www.google.es

El "efecto invernadero" se refiere al fenómeno mediante el cual ciertos gases en la atmósfera retienen y reflejan parte de la energía térmica emitida por la superficie terrestre, evitando así un enfriamiento excesivo del planeta. Sin la acción de estos gases, la vida tal como la conocemos sería inviable, ya que el calor emitido por la Tierra se disiparía en el espacio, resultando en temperaturas extremadamente bajas. Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nítrico y el metano, que en gran parte son liberados por actividades industriales, la agricultura, la ganadería y la quema de combustibles fósiles (Kanna et al., 2024).

Los almendros tienen la capacidad de absorber CO_2 del aire y, a través de la fotosíntesis, convertirlo en azúcares y otros compuestos esenciales para su crecimiento y desarrollo. En términos generales, los almendros extraen carbono de la atmósfera (en forma de CO_2) y lo transforman en biomasa. Al descomponerse, esta biomasa se convierte en parte del suelo (como humus) o se libera nuevamente como CO_2 , mediante la respiración de microorganismos que descomponen la biomasa (Sperling et al., 2019).

Actualmente, el exceso de CO_2 está alterando el equilibrio del ciclo del carbono, afectando significativamente las condiciones climáticas. Mientras que los almendros capturan CO_2 de la atmósfera a través de la fotosíntesis, actividades como la respiración, la quema de

biomasa y la deforestación para usos agrícolas incrementan la concentración de CO₂ en el aire. Además, la alta tasa de deforestación y las limitadas iniciativas de reforestación afectan negativamente el balance entre emisión y absorción de CO₂, resultando en un aumento de su concentración atmosférica. A esto se suman las emisiones de CO₂ derivadas de la quema de combustibles fósiles en los sectores de transporte y generación de energía (Grieco et al., 2024).

La capacidad del suelo para almacenar carbono es crucial debido a la acumulación de material vegetal en descomposición, conocido como carbono del humus. La poda de los almendros y hojas caducas puede resultar en una pérdida de carbono si estos materiales se retiran o se queman, mientras que, si se descomponen naturalmente en el suelo, contribuyen a la captura de CO₂ a largo plazo. En realidad, un año después de añadir los residuos vegetales al suelo, la mayor parte del carbono se libera nuevamente a la atmósfera en forma de CO₂. No obstante, entre una quinta y una tercera parte del carbono permanece en el suelo, ya sea como biomasa viva o como humus (Fenster et al., 2021).

De este modo, la agricultura en general no sólo debe ser reconocida como contaminadora sino también como parte afectada e incluso como protectora. No obstante, existen distintos modelos de producción de alimentos, pero no todos ellos actúan de igual modo frente al cambio climático (Freitas et al., 2023).

El modelo de agricultura industrializada en el almendro es actualmente el más instaurado y es el que precisamente pone en marcha las prácticas que más favorecen estas emisiones de GEI como pueden ser el uso de fertilización nitrogenada de síntesis química y las emisiones de metano procedentes de ganadería intensiva (Beigi et al., 2022).

El cultivo en callejones con cultivos perennes es una estrategia adecuada para reducir las emisiones de CO₂ del suelo sin efectos negativos sobre el rendimiento de almendras, aumentando la productividad general del agroecosistema. Sin embargo, en suelos con texturas pesadas y bajo contenido de materia orgánica, el cese de la labranza puede conducir a la compactación del suelo (Sánchez-Navarro et al., 2022).

La transición a una estructura de suelo mejorada con mayor materia orgánica y disminución de la compactación inicial del suelo se produciría a medio plazo (>3 años) con algunas especies perennes, como *Thymus hyemalis*, probablemente debido a su alta cobertura del suelo durante todo el año. Además, el crecimiento del tomillo también aumentó significativamente el contenido de humedad del suelo en comparación con el monocultivo. Este aumento del carbono orgánico y la humedad del suelo no se observó con *Capparis spinosa* en

un período de dos años, ya que esta especie pierde sus brotes en invierno y rebrota en primavera, dejando el suelo descubierto la mitad del año (Sánchez-Navarro et al., 2022).

Por tanto, se pueden obtener aumentos a corto plazo del carbono orgánico del suelo en huertos de secano semiáridos mediante la introducción de cultivos perennes con mayor densidad. La mayoría de los picos de emisión de CO₂ se detectaron después de eventos de labranza durante días de alta temperatura (Fenster et al., 2021).

En consecuencia, para evitar altas tasas de emisión de CO₂, se recomienda no arar durante los días cálidos. No se observó ningún efecto del tratamiento con respecto a las emisiones de N₂O, probablemente debido a la falta de fertilización (Almagro et al., 2023).

El cultivo en callejones puede considerarse como una estrategia sostenible para disminuir las emisiones de GEI del suelo y mejorar el secuestro y almacenamiento de carbono en el suelo, si se selecciona y maneja adecuadamente. Estos hallazgos pueden alentar a los agricultores, administradores de tierras y tomadores de decisiones a implementar y fomentar la adopción del cultivo en callejones para mejorar la producción de la tierra y la prestación de servicios ecosistémicos como la biodiversidad, el secuestro y almacenamiento de carbono y la disminución de las emisiones de GEI. Se necesitan estudios a largo plazo para evaluar la evolución de las emisiones de GEI y el aumento de la materia orgánica del suelo con el desarrollo de *Capparis spinosa*, ya que también puede contribuir al secuestro de carbono en el suelo con el tiempo (Sánchez-Navarro et al., 2022).

El almendro posee características que podrían contribuir a mitigar el cambio climático principalmente a través del secuestro de carbono. Sin embargo, en la actualidad la mayor parte de este potencial de mitigación y adaptación está desaprovechado, quizás porque en muchos casos se trata de cultivos deprimidos localizados en suelos muy pobres donde la práctica más habitual de manejo es el mantenimiento del suelo desnudo, total o parcialmente, y donde además no suelen aprovecharse los restos de poda (Aguilera et al., 2019).

El almendro ecológico está asociado a emisiones de GEI generalmente bajas. El secuestro de carbono se promueve notablemente con las cubiertas vegetales, pero éstas a menudo no son implementadas al encontrarse en zonas deprimidas, lo que perjudica su desempeño en términos de huella de carbono. Es importante un manejo adecuado de las cubiertas para que ayuden a promover el rendimiento del cultivo (y no a reducirlo) y optimizar el secuestro de carbono y otros servicios ecosistémicos (Laza et al., 2023).

El secuestro de carbono en ecológico se podría promover más con la aplicación más generalizada de cubiertas vegetales y el uso de enmiendas orgánicas. Además, los restos de poda se podrían incorporar al suelo. Las tres prácticas tienen un alto potencial de secuestro de carbono, más aún si se trata principalmente de recursos de la propia finca. Existe un gran potencial para reducir la huella de carbono del manejo ecológico, pudiendo alcanzar valores negativos, si estas prácticas se expanden. A nivel general, a través de los estudios analizados se puede afirmar que la reducción promedio de la huella de carbono es del 10% en almendro, se podrían alcanzar huellas de carbono negativas en ecológico si las prácticas recomendadas se generalizasen más (Aguilera et al., 2019).

7.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética del almendro se refiere a la comparación entre la energía invertida en su cultivo, incluyendo labores agrícolas, riego y fertilización, y la energía que se obtiene de los productos cosechados. Optimizar esta eficiencia implica reducir el consumo de energía en las operaciones agrícolas mientras se maximiza la producción de almendras, lo cual se puede lograr a través de tecnologías más eficientes y prácticas sostenibles (Salimi et al., 2023).

El cultivo de la almendra es ejemplo de agricultura de bajo impacto y sustentable debido a cuatro aspectos:

- a) Según datos publicados por La Universidad de Murcia (Departamento de Fisiología vegetal, CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas), la fijación de CO₂ /hectárea en el cultivo de almendro se estima en 22,24 Toneladas CO₂/hectárea y año, por lo que una plantación siguiendo el modelo productivo diseñado sería capaz de fijar la enorme cantidad de 22.400 Toneladas de CO₂ al año por cada 1.000 has de plantación (Baron, 2022).
- b) El sector de la almendra se dedica de manera seria al uso responsable y eficiente del agua, especialmente en una región que enfrenta un estrés hídrico significativo como es la Cuenca Mediterránea. Una gran parte de los almendros se cultiva en secano, mientras que las fincas que utilizan riego están implementando tecnología avanzada para reducir su consumo. Esto incluye la creación de planes de riego personalizados que se gestionan de forma remota mediante herramientas tecnológicas (Fernandes de Oliveira et al., 2023).
- c) Un aspecto positivo de la sustentabilidad de la almendra es su rica biodiversidad. En España, se cultivan más de 100 variedades, algunas de ellas con miles de años de

historia. En los países mediterráneos, la mayoría de estas variedades tienen cáscara dura, lo que les confiere una mayor resistencia a plagas, insecticidas y otros factores externos durante el almacenamiento y el tratamiento industrial. Esto, a su vez, disminuye la necesidad de utilizar productos fitosanitarios (Arroyo et al., 2022).

- d) Finalmente, los campos de almendros constituyen un eficaz freno contra la erosión en un terreno muy susceptible a ella, sobre todo en zonas en pendiente. Al plantarse en terrazas, mejoran la estructura del suelo, permiten la retención del agua y contribuyen a la creación de vida microbiana. Además, funcionan como cortafuegos naturales, ya que evitan en buena medida la propagación de las llamas (Durán et al., 2012).

Un equipo de investigadores de la Universidad de California Davis, y del Agriculture and Natural Resources de la misma Universidad descubrió que la huella de carbono de la almendra es sorprendentemente pequeña en comparación con otros cultivos (News Bites, 2021; Jeffries, 2015). La huella de carbono es un recuento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que son liberadas a la atmósfera debido a nuestras actividades cotidianas o a la comercialización de un producto (Atmaca, 2024).

La investigación muestra que 1 kilo de almendras produce tradicionalmente menos de 1 kilogramo de emisiones de CO₂, afirmó Alissa Kendall, profesora asociada en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de California. Kendall señaló que los resultados del estudio incluyen el uso de co-productos de la almendra, como materiales de los huertos (podas, o árboles), cáscaras y conchas, para la generación de energía renovable y alimentación (Marvinney et al., 2020; Kendal et al., 2015).

Además de contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el cultivo del almendro también está siendo influenciado por cambios en el entorno. Al mismo tiempo, este cultivo puede desempeñar un papel positivo al actuar como sumidero de CO₂ mediante la captación de carbono (Aguilera et al., 2019).

Por el contrario, la producción ecológica para el cultivo del almendro es un sistema profesional y el único reglado por una norma europea común para todos los Estados miembros (Reglamento CE nº 889/2008 de la Comisión de 5 de septiembre de 2008 modificado por el Reglamento de Ejecución (UE) 2021/181 de la Comisión de 15 de febrero de 2021). En producción ecológica, el uso de productos químicos sintéticos como fertilizantes y pesticidas está específicamente excluido. Los sistemas de agricultura ecológica dependen de la fijación simbiótica y el manejo de la materia orgánica como fuentes de fertilidad. La agricultura

ecológica incorpora como principio básico el mantenimiento o incremento de la fertilidad y actividad biológica del suelo mediante el manejo de la materia orgánica. El suelo como recurso natural, como medio vivo del ecosistema, se considera la pieza fundamental en la consecución del equilibrio ecológico de la explotación agrícola (Aguilera et al., 2019).

Perseguir este equilibrio, apoyado en técnicas agrícolas respetuosas con el entorno, es la finalidad que identifica a este tipo de producción. Son técnicas que prescinden del uso de productos químicos de síntesis y se apoyan en otras tales como el aumento de la biodiversidad, el uso de asociaciones y rotaciones de cultivo, el establecimiento de cubiertas vegetales, los abonos verdes, el control biológico de plagas, el empleo de variedades locales y el uso de estiércol (Bielsa y Rubio-Cabetas, 2022).

No menos importante, es que los sistemas en producción ecológica de almendro son menos vulnerables a cambios (provocados por el clima o por la aparición de plagas/enfermedades, por ejemplo) y más resilientes, de manera que cuentan con mayor capacidad de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad; pudiendo regresar a un estado de equilibrio. Esta característica hace que a priori la adaptación al cambio climático de sistemas en producción ecológica sea mayor que en otro tipo de sistemas (De Leijster et al., 2020).

En resumen, la agricultura ecológica del almendro se ha relacionado con niveles de biodiversidad generalmente más altos, reducciones en las tasas de erosión, una mayor eficiencia energética, una mayor calidad del suelo, una mayor calidad de los alimentos producidos y un mejor desempeño económico frente a la agricultura convencional (Aguilera et al., 2019).

Otros meta-estudios indican que dicha agricultura ecológica contribuye a incrementar el carbono orgánico del suelo y aporta beneficios medioambientales a pesar de estos rendimientos más bajos. Las prácticas de agricultura ecológica pueden considerarse medidas “preventivas”, en contraposición a medidas “curativas” que abordan las consecuencias de los impactos ambientales (Debuschewitz, 2020).

Por otro lado, las tecnologías y técnicas eficientes para dar a conocer las buenas prácticas agrícolas que contribuyen a mejorar la eficiencia energética del cultivo, son las siguientes:

a) Planes de modernización de la flota de tractores agrícolas.

Para fomentar la eficiencia y el ahorro energético, es esencial promover la compra de tractores que consuman menos gasóleo a lo largo de su vida útil y, en consecuencia, sean más eficientes (Zhu et al., 2022).

b) La instalación de sistemas que promuevan la optimización del riego.

Es crucial promover una serie de iniciativas para implementar sistemas de riego eficiente y reemplazar los que no lo son. El objetivo es transformar la agricultura de regadío hacia sistemas de riego localizado, con el propósito de mejorar la eficiencia hídrica en la finca. Además, se han desarrollado políticas destacadas para fomentar el ahorro de agua (Nazari et al., 2018).

c) Otras medidas importantes de ahorro y eficiencia energética.

La integración de energías renovables en el cultivo del almendro, como la energía solar fotovoltaica, la energía mini-hidráulica y la energía eólica (ver Figuras 48, 49 y 50), junto con el uso eficiente de fertilizantes y técnicas de agricultura de precisión (Lachheb et al., 2024).



Figura 48. Energía solar fotovoltaica
Fuente: Díaz D, ITE (2021)



Figura 49. Energía mini-hidráulica
Fuente: Díaz D, ITE (2021)



Figura 50. Energía eólica
Fuente: Díaz D, ITE (2021)

Todo esto indica, que los beneficios del uso de la tecnología son los siguientes (MAPA, 2021):

- a) Incremento de la producción:** La optimización de todos los procesos agrícolas aumenta las tasas de producción.

- b) **Ahorro de agua:** Las predicciones meteorológicas y los sensores de humedad del suelo permiten regar únicamente cuando es necesario y durante el tiempo exacto.
- c) **Incremento de la calidad:** Evaluar la calidad de la producción en función de las estrategias empleadas permite ajustar estas estrategias para mejorar la calidad en futuras producciones.
- d) **Reducción de los costes:** La automatización de los procesos de siembra, tratamiento y recolección en la agricultura disminuye el consumo de recursos.
- e) **Detección de plagas y cuidado de la salud:** La detección temprana de plagas en los cultivos o enfermedades en los animales ayuda a reducir su impacto en la producción y a mejorar el bienestar animal.
- f) **Aumenta la sostenibilidad:** Reducir el consumo de agua para riego y aprovechar al máximo las tierras disminuye el impacto ambiental.

7.3. BALANCE ECONÓMICO

El almendro ha sido históricamente un cultivo de secano, pero la introducción de nuevos sistemas de riego ha abierto un amplio abanico de posibilidades para este cultivo. Desde hace algún tiempo, el riego ha permitido intensificar la producción de almendra, incrementando no solo el rendimiento por árbol, sino también posibilitando una mayor densidad de plantación, lo que se traduce en más kilos por hectárea. Sin embargo, en España, la mayor parte de la superficie dedicada al cultivo de almendro sigue siendo de secano (Mesa et al., 2024; Rubio-Asensio, 2022).

Las nuevas variedades de almendro, diseñadas específicamente para el cultivo en regadío, han demostrado ser mucho más productivas que las tradicionales. Asimismo, la mejora genética se ha implementado en las variedades tradicionales, incrementando también su productividad (Özcan et al., 2024). A esto se suma la actual situación del mercado, donde el precio de la almendra es considerablemente alto. Por estas razones, el almendro se presenta como una opción viable para los cultivos de regadío, especialmente en los nuevos regadíos, donde el alto costo del riego exige maximizar la rentabilidad de cada metro cúbico de agua (Rubio-Asensio, 2022).

A continuación, analizaremos los costes e ingresos para evaluar la rentabilidad del almendro (De Leijster et al., 2020). Los costes del almendro se pueden dividir en tres etapas:

- **Costes de plantación:** estos son los costes iniciales de la plantación, es decir, es la inversión inicial. Los costes de plantación incluyen: los costes de preparación del

terreno, el abonado orgánico de fondo, el coste de los árboles y el coste de plantarlos. Este es un coste importante al que hacer frente. De todas formas, es seguro que se recuperará la inversión inicial debido a la larga vida de las plantaciones de almendro, de 20 años como mínimo (Montesinos et al., 2023).

- **Costes de formación:** son los gastos requeridos para convertir la plantación en una unidad productiva, y se incurren durante la fase inicial, cuando la plantación aún no produce. Estos costes incluyen el riego, la fertilización, los tratamientos fitosanitarios, la poda de formación, entre otros (Reisman, 2020).
- **Costes de producción:** son los gastos asociados al cultivo durante su etapa productiva. Estos incluyen el riego, la fertilización, los tratamientos fitosanitarios, el manejo del suelo, la poda, la recolección, entre otros (Quintanilla-Albornoz et al., 2024).

El valor de estos costes varía significativamente según las condiciones de cultivo del almendro. En sistemas de secano, los costes son bajos debido a la mínima intervención requerida. En contraste, en cultivos de regadío, los costes aumentan considerablemente, ya que, además del agua, se requieren más tratamientos fitosanitarios. En plantaciones con marcos de plantación intensivos, los costes son aún mayores debido a la alta densidad de árboles, que exige un control más riguroso de la fertilización y las enfermedades (Expósito and Berbel, 2020).

Además, en los cultivos de regadío, el tipo de riego influye en los costes: el precio del agua puede variar. Los sistemas de riego tradicionales, ya sean por gravedad o por presión, suelen tener un coste de agua menor en comparación con los nuevos sistemas de riego a presión (Sperling et al., 2023).

Los ingresos se calcularán en función de los rendimientos de la cosecha y del precio al que se comercializa el producto. Actualmente, el precio es bastante atractivo, oscilando entre 4 y 8 €/kg. En cuanto a los rendimientos, estos son significativamente mayores en regadío en comparación con secano. En secano, la producción varía según el marco de plantación y la pluviometría de la región (Baile, 2020; Montesinos et al., 2023). Con una pluviometría media de 500 mm, la producción general alcanza los 300 kg/ha a partir del séptimo año, cuando se alcanza el máximo rendimiento.

En promedio, se espera que una plantación de almendros en regadío produzca (Baile, 2020; González et al., 2021):

- Durante los primeros tres años tras la plantación, los almendros no producen.

- El cuarto año marca el inicio de la producción, con un riego que satisfaga todas las necesidades hídricas del cultivo, generando entre 800 y 900 kg de grano por hectárea.
- En el quinto año, la producción es similar a la del cuarto, aunque suele experimentar un leve aumento.
- En el sexto año, el rendimiento de los almendros aumenta significativamente, alcanzando más de 2.000 kg/ha.
- A partir del séptimo año y durante el resto de su vida productiva, que puede durar hasta unos 20 años, la producción de almendros en regadío se mantiene entre 2.500 y 3.000 kg/ha. No obstante, es posible que en los últimos dos o tres años de producción los rendimientos experimenten una ligera disminución.

El almendro es un cultivo que puede beneficiarse del riego deficitario. Este método implica proporcionar el 100% de las necesidades hídricas durante las fases I y III del cultivo, mientras que en la fase II (de finales de junio a la cosecha) se suministra solo el 20% de las necesidades. Según los expertos, dado que la mayor parte del rendimiento ya se ha establecido en las fases anteriores, reducir la cantidad de agua en esta etapa no impacta significativamente en la producción final del cultivo (González et al., 2021).

Es importante destacar que el riego deficitario es una opción atractiva para los agricultores de regadío que no cuentan con una dotación completa de agua, así como para aquellos que buscan economizar en situaciones donde el agua es costosa. Aunque este tipo de riego puede provocar una leve disminución en el rendimiento en comparación con lo mencionado previamente, el almendro sigue siendo rentable. La producción máxima, a partir del séptimo año, se mantiene entre 2.000 y 2.500 kg/ha (Baile, 2020; Mirás et al., 2023).

Por lo tanto, en plantaciones de almendro común en regadío, los ingresos pueden alcanzar hasta 13.500 €/ha. En el caso de las variedades marcona o largueta, los ingresos pueden ser aún mayores. Así que, en general, el cultivo del almendro muestra una clara rentabilidad. Sin embargo, posibles fluctuaciones en los precios podrían afectar esta situación. En el mercado actual, con los precios elevados, la rentabilidad del almendro está garantizada. No obstante, si los precios disminuyen, será crucial controlar los costes para mantener la rentabilidad (Méndez et al., 2021; Baile, 2020; De Leijster et al., 2020).

El almendro ecológico, con respecto a los ingresos, puede presentar un balance económico desfavorable porque sus rendimientos son inferiores a los convencionales, por otro

lado, puede presentar un balance económico favorable cuando el precio del almendro ecológico es de un 10% a un 30% por encima al precio del almendro convencional o incluso el precio entre ambos puede coincidir. El peso de la subvención ecológica en los ingresos es poco importante en la mayoría de los casos, no llegando a representar el 3% (Guzmán et al., 2008).

Existen explotaciones ecológicas cuyos costes son menores que las explotaciones convencionales porque presentan costes inferiores de recolección, debido a un menor rendimiento en la producción. El coste en las explotaciones convencionales es mayor porque presentan más mano de obra en recolección y poda (Guzmán et al., 2008).

Es notable subrayar la participación del grupo empresarial ALMENDRUM (dedicado al sector de la almendra) en el Día Mundial de la Mujer Rural, 15 de octubre de 2023 (*Figura 44*). La presidenta nacional de AMFAR (Federación de Mujeres y Familias del Ámbito Rural), Lola Merino, ha elogiado el papel fundamental de las mujeres rurales en el avance de la igualdad y el desarrollo en el campo. Destacó un impresionante aumento del 22% en el número de jefas de explotaciones agrarias en la última década, en contraste con una disminución del 15% en los jefes de explotación (Almendrum 2023).

Durante el evento, en el Teatro Marcelo Grande de Tomelloso y con la asistencia de 600 mujeres, Merino señaló que las mujeres rurales representan el 38% de los beneficiarios de la PAC y una cuarta parte de las cooperativas agroalimentarias. Además, resaltó la creciente presencia de mujeres en la Ley de Titularidad Compartida de las Explotaciones Agrarias, con 1.226 casos en todo el país, incluyendo 254 en Castilla-La Mancha. También subrayó su contribución en el envasado de productos hortícolas, donde las mujeres conforman el 90% de la fuerza laboral (Almendrum 2023).

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una vez finalizado este Trabajo Fin de Máster “**Análisis comparado del cultivo convencional y ecológico del almendro: Situación actual, labores agrícolas diferenciales y sustentabilidad**”, y tras analizar los resultados de la investigación en relación a todos los puntos evaluados, se ha llegado a las siguientes discusiones y conclusiones:

- Debido a la expansión del cultivo de almendro convencional, se ha observado que en Andalucía las provincias con mayor superficie en producción son Granada, en primer lugar, seguida de Almería, Málaga y Sevilla. Además, Granada y Almería son las provincias que han incorporado más hectáreas a la producción ecológica durante la campaña 2022/23.

A nivel nacional, Andalucía se posiciona como la primera Comunidad Autónoma de España en producción de almendra convencional, seguida por la Comunidad Valenciana, Aragón, la Región de Murcia, Castilla-La Mancha y Extremadura. En cuanto a la almendra ecológica, Andalucía también lidera en superficie, seguida por Castilla-La Mancha, la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana.

España representa un tercio de la superficie mundial de almendros, seguida por Estados Unidos, seguida de Marruecos, Túnez, Irán, Portugal, Turquía, Libia, Australia, Italia, Afganistán y Argelia. En términos de producción ecológica, España ocupa el primer lugar a nivel mundial, seguida también por Estados Unidos.

- El plan de fertilización debe centrarse en los nutrientes principales: nitrógeno, fósforo y potasio. Los demás elementos se aplican únicamente si se detectan deficiencias, ya sea a través de síntomas visibles o, preferiblemente, mediante análisis de tejidos.

El uso predominante del riego por goteo en el cultivo de almendros, junto con la posibilidad de incorporar fertilizantes en el agua de riego, ha representado un avance significativo en las técnicas de fertilización. Fertilizantes como la urea al 46%, el nitrato amónico al 33,5% y el sulfato amónico al 21% se disuelven fácilmente en agua. No obstante, la adaptación de los fertilizantes de fósforo y potasio ha sido más complicada.

En la agricultura ecológica, el principio fundamental es garantizar que el suelo esté saludable, equilibrado y rico en materia orgánica. La idea clave es "alimentar el suelo para alimentar la planta", lo que se logra mediante prácticas que mejoran la materia orgánica del suelo, fomentan la actividad biológica y optimizan la disponibilidad de nutrientes, destacando el uso de compost y estiércol.

- Para combatir plagas y enfermedades, se utilizan productos fitosanitarios que pueden dejar residuos en la almendra, así como en el aceite y la leche de almendra. En el cultivo de almendro convencional, para controlar plagas se emplean mayoritariamente deltametrina, lambda-cihalotrina, acetamiprid, tau-fluvalinato y *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*. En el cultivo ecológico, se utilizan aceite de neem (azadiractina), aceite parafínico y piretrinas naturales.

En cuanto a las enfermedades, en el almendro convencional se emplean captan, piraclostrobina, tebuconazol, ziram, folpet y difenoconazol, mientras que en el almendro ecológico se utilizan polisulfuro de calcio y cobre ecológico, respectivamente.

- Las diferencias entre el cultivo convencional y ecológico del almendro son las siguientes:

Aspecto	Cultivo Convencional	Cultivo Ecológico
Uso de insumos	Fertilizantes y pesticidas químicos para el control de plagas, enfermedades y malezas. Fertilizantes sintéticos nitrogenados y fosfatados para mejorar el crecimiento, el rendimiento de los almendros y optimizar la producción.	Fertilizantes o pesticidas naturales o biológicos para el control de plagas y enfermedades. Abonos orgánicos como compost y estiércol que mejoran la estructura y la salud del suelo a largo plazo.
Manejo del suelo	El uso intensivo de fertilizantes y pesticidas químicos, y maquinaria puede compactar y erosionar el suelo, afectando su salud a largo plazo y reducir la actividad biológica del suelo, limitando la presencia de microorganismos beneficiosos.	La rotación de cultivos, la cobertura vegetal y la aplicación de abonos orgánicos contribuye a mejorar la estructura y fertilidad del suelo. Aumenta la biodiversidad del suelo (fomentan la vida microbiana y la salud general del suelo) lo que favorece la sostenibilidad a largo plazo.
Uso del agua	Sistemas de riego intensivos, aumenta la demanda de agua y puede llevar a la sobreexplotación de acuíferos. Riesgo de contaminación de acuíferos cercanos debido a fertilizantes y pesticidas químicos.	Se promueven técnicas de riego más eficientes, como el riego por goteo y la captación de agua de lluvia. Se reduce el riesgo de contaminación al no utilizar productos químicos que puedan filtrarse en el agua.
Impacto ambiental	La producción intensiva puede provocar la degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, contaminación del agua y emisiones de gases de efecto invernadero. Puede aumentar la vulnerabilidad a plagas y enfermedades.	Al no utilizar productos químicos sintéticos se fomenta la biodiversidad y se preservan los ecosistemas naturales, reduciendo la huella ecológica.
Emisiones de gases de efecto invernadero	El uso de maquinaria agrícola para la preparación del suelo, la cosecha y otros procesos contribuye a las emisiones de dióxido de carbono. El uso de fertilizantes nitrogenados libera óxido nitroso. La exportación de almendras a nivel global genera una huella de carbono considerable debido a la logística y el transporte.	Al no utilizar fertilizantes químicos se evitan las emisiones de óxido nitroso y al tener menos dependencia de maquinaria pesada se reduce las emisiones de dióxido de carbono. El cultivo de cobertura (<i>Thymus hyemalis</i> y <i>Capparis spinosa</i>) y la incorporación de materia orgánica (compost y estiércol) puede mejorar la capacidad del suelo para almacenar carbono, lo que contribuye a mitigar el cambio climático.

Salud y seguridad	Los trabajadores agrícolas y los consumidores pueden estar expuestos a residuos de pesticidas y fertilizantes sintéticos, lo que podría tener efectos negativos sobre la salud.	Los almendros ecológicos no contienen residuos de pesticidas sintéticos, lo que los hace más seguros para los consumidores y para los trabajadores que los cultivan.
Aspectos económicos	Al utilizar insumos sintéticos de fácil acceso y prácticas intensivas, el cultivo convencional puede tener menores costos iniciales en cuanto a producción y mano de obra, pero aumenta los costos operativos a largo plazo.	Los costos iniciales pueden ser más elevados debido a la inversión en técnicas más sostenibles pero los productos ecológicos suelen tener un mayor precio en el mercado, lo que aumenta la rentabilidad del agricultor.
Acceso a mercados	Puede enfrentarse a restricciones en algunos mercados que exigen productos libres de residuos tóxicos.	El cultivo debe cumplir con estrictas normativas nacionales e internacionales que prohíben el uso de productos químicos sintéticos y exigen prácticas agrícolas sostenibles. Los productos ecológicos tienen mayor demanda en mercados especializados.
Resiliencia al cambio climático	Son menos resilientes frente a fenómenos climáticos extremos, ya que dependen más de insumos externos y de la estabilidad del entorno. Las emisiones provenientes del uso de fertilizantes nitrogenados y la mecanización intensiva contribuyen al cambio climático.	Los sistemas ecológicos, al mejorar la salud del suelo y fomentar la biodiversidad, son más capaces de adaptarse a las condiciones cambiantes, como la sequía o las temperaturas extremas. El secuestro de carbono en el suelo, ayudan a mitigar el cambio climático.
Sustentabilidad	La agricultura ecológica del almendro está asociada con niveles generalmente más altos de biodiversidad, así como con reducciones en las tasas de erosión, una mayor eficiencia energética, mejor calidad del suelo, alimentos de mayor calidad y un desempeño económico superior en comparación con la agricultura convencional. Además, esta agricultura ecológica ayuda a aumentar el carbono orgánico del suelo y proporciona beneficios medioambientales adicionales.	

En resumen, el cultivo ecológico del almendro es una alternativa más sostenible, sustentable y beneficiosa a largo plazo, aunque puede implicar mayores costos y desafíos iniciales en comparación con el cultivo convencional. El papel de las mujeres rurales en el avance de la igualdad y el desarrollo en el campo es fundamental, se destaca un aumento del 22% en el número de jefas de explotaciones agrarias en la última década, en contraste con una disminución del 15% en los jefes de explotación.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aamir Bhat, Mujtaba., Kumar Mishra, Awdhesh., Nazir Shah, Sheezma., Ahmad Bhat, Mudasir., Jan, Saima., Rahman, Safikur., Baek, Kwang-Hyun and Tasleem Jan, Arif. 2024. Soil and Mineral Nutrients in Plant Health: A Prospective Study of Iron and Phosphorus in the Growth and Development of Plants. MDPI.
<https://www.mdpi.com/1467-3045/46/6/312>
- Abu Alloush, Asem Habes., Attilio Bianco, Piero., Busato, Enrico., Al-Mahasneh, Amre., Alma, Alberto., Tedeschi, Rosemarie and Quaglino, Fabio. 2023. Association of seven ‘Candidatus Phytoplasma’ species to an almond disease complex in Jordan, and preliminary information on their putative insect vectors. Crop Protection. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219422002435>
- Aguilera, E., Díaz Gaona, C., García Laureano, R., Reyes Palomo, C., Guzmán, G.I., Ortolani, L., Sánchez Rodríguez, M and Rodríguez Estévez, V., 2020. Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. Agric. Syst. 181, 102809. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X19310005>
- Aguilera, E., Díaz Gaona, C., Reyes Palomo, C., García Laureano, R., Sánchez Rodríguez, M and Rodríguez Estévez, V. de la Cátedra de Producción Ecológica-Clemente Mata. 2019. Informe Técnico: Producción Ecológica mediterránea y cambio climático.
https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/produccion-eco/informetecnicopemcc_tcm30-520459.pdf
- Agrologica. 2024. Servicios Agrícolas. S.L.
<https://www.agrologica.es/informacion-plaga/pulgón-verde-manzano-aphis-pomi/>
- Akhlaq Akhoun, Bashir., Kumar Gupta, Shishir and Kumar Dhar, Manoj. 2023. Dissecting the genome, secretome, and effectome repertoires of *Monilinia* spp.: The causal agent of brown rot disease: A comparative analysis. Postharvest Biology and Technology. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521422002885>
- Alghamdi, Aisha A and Alsabehi, Rashed M. 2024. Almond (*Prunus dulcis*): Comprehensive overview of cultivars, requirements and field Management. JKAU: Met., Env. & Arid Land Agric. Sci.
<https://journals.kau.edu.sa/index.php/mealas/article/view/1571>
- Al-Mayahi, Ahmed., Menezes-Blackburn, Daniel., Al-Ismaily, Dijo., Al-Busaidi, Hamad., Al-Siyabi, Ayman., Al-Siyabi, Buthaina., Al-Saidi, Salim and Al-Harrasi, Nadhira. 2024. Elemental sulfur effects on salt leaching, plant growth, nutrient uptake, and microbial

diversity in an arid saline soil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X23001145>

- Ali, Shehbaz., Ahmad, Naveed., Dar, Mudasir A., Manan, Sehrish., Rani, Abida., Suliman Alghanem, Suliman Mohammed., Khan, Khalid Ali., Sethupathy, Sivasamy., Elboughdiri, Nouredine., Mostafa, Yasser S., Alamri, Saad A., Hashem, Mohamed., Shahid, Muhammad and Zhu, Daochen. 2023. Nano-Agrochemicals as Substitutes for Pesticides: Prospects and Risks. *Review Plants*. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/2912738361/fulltextPDF/AF31C1B7BD44B23PQ/1?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Almagro, M., Díaz-Pereira, E., Boix-Fayos, C., Zorzana, R., Sánchez-Navarro, V., Re, Paula., Fernández, C and Martínez-Mena, M. 2023. The combination of crop diversification and no tillage enhances key soil quality parameters related to soil functioning without compromising crop yields in a low-input rainfed almond orchard under semiarid Mediterranean conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880922004698>
- ALMENDRUM. Frutos de cáscara. 2023. Almendrum participa en el Día Mundial de la Mujer Rural. Consultado 28 de julio de 2024.
<https://almendrun.es/almendrun-participa-en-el-dia-mundial-de-la-mujer-rural/>
- Arrobas, Margarida., Ribeiro, Antonio., Barreales, David., Pereira, Ermelinda L and Rodrigues, M. Ângelo. 2019. Soil and foliar nitrogen and boron fertilization of almond trees grown under rainfed conditions. *European Journal of Agronomy*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030119300218>
- Arroyo, F T., Herencia, J F and Capote, N. 2022. Phenology, growth, and yield of almond cultivars under organic and conventional management in southwestern Spain. *Spanish Journal Agricultural Research*.
<https://sjar.revistas.csic.es/index.php/sjar/article/view/18828>
- Atmaca, Adem. 2024. Chapter Twenty-Two - Understanding carbon footprint: impact, assessment, and greenhouse gas emissions. *Greenhouse Gases Emissions and Climate Change*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780443192319000156>
- Baile Bravo, David. 2020. Estudio de la productividad económica de las nuevas plantaciones intensivas de almendro. TFM. Universidad Politécnica de Madrid.
https://ceigram.upm.es/wp-content/uploads/2020/10/TFM-David-Baile-Bravo_-_-.pdf

- Baron Quintana, Iker. 2022. Asociación Española de Riegos y Drenajes.
<https://aeryd.es/wp-content/uploads/2022/11/Ponente3-Iker-Baron-Quintana.pdf>
- Barbás, Piotr., Aslan, Hakiye., Skiba, Dominika., Ademola Otegunrin, Olutosin and Sawicka, Barbara. 2023. Prospects for using pesticides in agriculture. *Agronomy Science*.
<https://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-6b97c7d4-451e-44da-93c6-0ee4bf285289>
- Beigi, Mohsen., Torki, Mehdi., Safarina, Hossein., Kaveh, Mohammad., Szymanek, Mariusz., Khalife, Esmail and Dziwulska-Hunek, Agata. 2022. Prediction of Almond Nut Yield and Its Greenhouse Gases Emission Using Different Methodologies. *Applied sciences*. MDPI.
<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/4/2036>
- Beluzán, Francisco., Miarnau, Xavier., Torguet, Laura., Armengol, Josep and Abad-Campos, Paloma. 2022. Survey of Oomycetes Associated with Root and Crown Rot of Almond in Spain and Pathogenicity of *Phytophthora niederhauserii* and *Phytophthora vexans* to ‘Garnem’ Rootstock. *Agriculture*. MDPI.
<https://www.mdpi.com/2077-0472/12/2/294>
- Benseddik, Youssef., Boutaleb Joutei, Abdelmalek., Blenzar, Abdelali., Amiri, Said., Asfers, Adil., Mokrini, Fouad and Lahlali, Rachid. 2022. Biological control potential of Moroccan entomopathogenic nematodes for managing the flatheaded root-borer, *Capnodis tenebrionis* (Linné) (Coleoptera: Buprestidae). *Crop Protection*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219422000874>
- Bernet, Thomas and Weidmann, Gilles. 2021. FiBL. Organic farming. Basic principles and good practices. Consultado 11 de mayo de 2024.
<https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1141-organic-farming-principles.pdf>
- Bhattacharjya, Sudeshna., Ghosh, Avijit., Sahu, Asha., Agnihotri, Richa., Pal, Namrata., Sharma, Poonam., Manna, M.C., Sharma, M.P and Singh, A.B. 2024. Utilizing soil metabolomics to investigate the untapped metabolic potential of soil microbial communities and their role in driving soil ecosystem processes: A review. *Applied Soil Ecology*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139323004365?via%3Dihub>
- Bielsa, B., Rubio-Cabetas, M J. 2022. Bases para el cultivo del almendro en ecológico. CITA-Universidad de Zaragoza.
https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/6020/1/2022_327.pdf

- Bouali, Zakaria., Assouguem, Amine., Joutei, Abdelmalek Boutaleb., Ullah, Riaz., Alqahtani, Ali S and Lahlali, Rachid. 2024. The false tiger of almond, *Monosteira unicastata* (Hemiptera: Tingidae): Biology, ecology, and control methods. Open agriculture.
<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/opag-2022-0310/html>
- Brown, Patrick H., Geisseler, Daniel and S Khalsa, Sat Darshan. 2022. A study of three potassium fertilizers in Californian almond production soils. University of California.
https://escholarship.org/content/qt55z6x3nc/qt55z6x3nc_noSplash_caaeb34c524f5b4f51f92f1ff4f02cfc.pdf
- Camacho-Sánchez, M., Herencia, Juan F., Arroyo, Francisco T and Capote, N. 2023. Soil Microbial Community Responses to Different Management Strategies in Almond Crop. *Journal of fungi*. Basel.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36675916/>
- Carmago, Ricardo. 2023. An Extensive Survey on the Impacts of Fruit Fall Before Harvest in Almond Yields in California. University of California.
<https://escholarship.org/uc/item/04c3w8cg>
- Cárceles Rodríguez, B., Durán Zuazo, V H., Herencia Galán, J F., Lipan, L., Soriano, M., Hernández, F., Sendra, E., Carbonell-Barrachina, A A., Gálvez Ruiz, B. and García-Tejero, I F. 2023. Soil Management Strategies in Organic Almond Orchards: Implications for Soil Rehabilitation and Nut Quality. *Article agronomy MDPI*. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/3/749>
- Certis Belchim. 2024. Plagas en Almendro en España: desafíos y estrategias para su Control.
<https://certisbelchim.es/plagas-en-almendro-en-espana-desafios-y-estrategias-para-su-control/>
- Chaboussou, F. 2017. Les déséquilibres biologiques provoqués par les traitements pesticides de la plante. *Connaissance de la vigne et du vin*.
<https://oeno-one.eu/article/view/1992>
- Cho, Sydney. 2024. Integrating Cover Crops and Almond Hulls and Shells as Organic Matter Amendments for Whole Orchard Regenerative Management. University of California.
<https://www.proquest.com/docview/3089712347/AB3E81EE94A9484BPQ/2?accountid=14550&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>

- Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía (CAPDR). 2016. Caracterización del sector de la Almendra en Andalucía.
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios_informes/16/12/Caracterización%20del%20sector%20de%20la%20almendra_0.pdf
- Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía (CAPDR). 2023. Datos básicos de producto. Almendra.
<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?action=RecordContent&table=11113&element=4538368&subsector=&>
- Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía (CAPDR). 2023. Datos básicos de producto. Almendra ecológica.
<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?action=RecordContent&table=11113&element=4543037&subsector=&>
- Contreras, Andrés. 2023. Characterization of the Preemergence Herbicide Pyroxasulfone for Use in California Orchard Systems. University of California.
<https://www.proquest.com/docview/2866316288?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- Culumber, Mae. 2023. Salinity. Management Guide for almond growers. University of California.
<https://www.almonds.com/sites/default/files/2023-06/Salinity%20Management%20Guide%20for%20Almond%20Growers.pdf>
- Debuschewitz, Emil. 2020. Organic Agriculture and the Provision of Public Goods - Analyzing the Controversial Scientific Debate on Environmental Impacts. Humboldt Universitaet zu Berlin (Germany).
<https://www.proquest.com/docview/2700375571/5453BEA4C12742B4PQ/6?accountid=14550&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- De Leijster, V., Verburg, R.W., Santos, M.J., Wassen, M.J., Martínez-Mena, M., de Vente, J and Verweij, P A. 2020. Almond farm profitability under agroecological management in southeastern Spain: Accounting for externalities and opportunity costs. *Agricultural Systems*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X20300366>
- Durán Zuazo, Víctor Hugo., Francia Martínez, José Ramón., García Tejero, Iván., Arroyo Panadero, Lorenzo and Martínez Raya, Armando. 2012. Mitigation of soil erosion by planting ground cover almonds: Implications for sustainable mountain agricultura. *Comunicata Scientiae*.

https://www.researchgate.net/publication/277996524_Mitigation_of_soil_erosion_by_planting_ground_cover_almonds_Implications_for_sustainable_mountain_agriculture

- Expósito, Alfonso and Berbel, Julio. 2020. The Economics of Irrigation in Almond Orchards. Application to Southern Spain. *Agronomy*. MDPI.
<https://www.mdpi.com/2073-4395/10/6/796>
- Fenster, Tommy L D., Oikawa, Patricia Y and Lundgren, Jonathan G. 2021. Regenerative Almond Production Systems Improve Soil Health, Biodiversity, and Profit. Department of Earth and Environmental Sciences, California State University, East Bay, Hayward, CA, United States.
<https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2021.664359/full>
- EIT Food. Europa Unión. 2021. Almond.
https://www.eitfood.eu/media/documents/FR_Edited_-_Almonds_15_11.pdf
- Fares, A and Abbas, F. 2009. Irrigation Systems and Nutrient Sources for Fertigation. *Collage of Tropical Agriculture and Human Resources*. University of Hawaii at Manoa.
<https://www.haifa-group.com/sites/default/files/2024-03/SCM-25.pdf>
- Fernandes de Oliveira, Ana., Giuseppe Mameli, Massimiliano., De Pau, Luciano and Satta, Daniela. 2023. Almond Tree Adaptation to Water Stress: Differences in Physiological Performance and Yield Responses among Four Cultivar Grown in Mediterranean Environment. *Plants*. MDPI.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10004802/>
- FiBL Statistics. 2024. Institute of Organic Agriculture FiBL.
https://statistics.fibl.org/world/selected-crops-world.html?tx_statisticdata_pi1%5Bcontroller%5D=Element2Item&cHash=7dc7312efa295d7a1673ae0448ead0ad
- Fontaine, Séverine., Caddoux, Laëtitia., Remuson, Florent and Barrès, Benoit. 2022. Thiophanate-methyl and carbendazim resistance in *Fusicoccum amygdali*, the causal agent of constriction canker of peach and almond. *Plant pathology*.
<https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ppa.13525>
- Francaviglia, Rosa., María, Almagro and Vicente-Vicente, José Luis. 2023. Conservation Agriculture and Soil Organic Carbon: Principles, Processes, Practices and Policy Options. *Soil Systems*. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/2791712842/fulltextPDF/433748DBDC2F4309PQ/3?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>

- Fracchiolla, M., Terzi, M., Frabboni, L., Caramia, D., Lasorella, C., De Giorgio, D., Montemurro, P and Cazzato, E. 2016. Influence of different soil management practices on ground-flora vegetation in an almond orchard. *Renewable agriculture and food systems*.
https://c bua- unia.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi_proquest_miscellaneous_1825561607&context=PC&vid=34CBUA_UNIA:VU1&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Primo%20Central&tab=default&query=any,contains,Influence%20of%20different%20soil%20management%20practices%20on%20ground-flora%20vegetation%20in%20an%20almond%20orchard&offset=0
- Freitas, Teresa R., Santos, João A., Silva, Ana P and Fraga, Helder. 2023. Reviewing the Adverse Climate Change Impacts and Adaptation Measures on Almond Trees (*Prunus dulcis*). *Agriculture*. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/2842905229/fulltextPDF/12495AD3E374656PQ/2?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Gathuka, Lincoln W., Kato, Tomohiro., Takai, Atsushi., Flores, Giancarlo., Inui, Toru and Katsumi, Takeshi. 2021. Effect of acidity on attenuation performance of sandy soil amended with granular calcium-magnesium composite. *Soils and Foundations*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038080621000779>
- Ghatrehsamani, Shirin., Jha, Gaurav., Dutta, Writuparna., Molaei, Faezeh., Nazru, Farshina., Fortin, Mathieu., Bansal, Sangeeta., Debangshi, Udit and Neupane, Jasmine. 2023. Artificial Intelligence Tools and Techniques to Combat Herbicide Resistant Weeds—A Review. *Sustainability*. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/2775037837/fulltextPDF/A805088E2F4846EBPQ/1?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- González Gómez, L., Intrigliolo, DS., Rubio Asensio, JS., Buesa, I and Ramírez Cuesta, JM. 2022. Assessing almond response to irrigation and soil management practices using vegetation indexes time-series and plant water status measurements. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880922002730>
- González Zamora, José Enrique., Ruiz Aranda, Cristina., Rebollo Valera, María., Rodríguez Morales, Juan M and Gutiérrez Jiménez, Salvador. 2021. Deficit Water Irrigation in an Almond Orchard Can Reduce Pest Damage. *Agronomy*. MDPI.
<https://www.mdpi.com/2073-4395/11/12/2486>

- Grieco, Elisa., Vangi, Elia., Chiti, Tommaso and Collalti, Alessio. 2024. Impacts of deforestation and land use/land cover change on carbon stock dynamics in Jomoro District, Ghana. *Journal of Environmental Management*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479724019790>
- Guzmán Casado, Gloria., García Martínez, Antón Rafael., Alonso Mielgo, Antonio M y Perea Muñoz, José Manuel. 2008. *Producción ecológica: Influencia en el Desarrollo Rural*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
https://www.researchgate.net/profile/Gloria-Guzman/publication/310796185_Produccion_ecologica_Influencia_en_el_desarrollo_rural/links/59158406a6fdcc963e82ea99/Produccion-ecologica-Influencia-en-el-desarrollo-rural.pdf
- Hamby, Kelly A., Nicola, Nicole L., Niederholzer, Franz J.A and Zalom, Frank G. 2015. Timing Spring Insecticide Applications to Target both *Amyelois transitella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Anarsia lineatella* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Almond Orchards. *Journal of Economic Entomology*.
<https://academic.oup.com/jee/article/108/2/683/782404?login=true>
- Hartman, Leah Wolff., Andrews, Ellie M., Galatis, Erini G., Gaudin, Amélie C M., Brown, Patrick H and Sat Darshan, S Khalsa. 2024. Evaluation of Almond Hull and Shell Amendments across Organic Matter Management of Orchard Soils. *Article soil systems*. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/3072674121/fulltextPDF/418391BB6A914817PQ/2?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals#>
- Heghedűş-Mîndru, Gabriel., Negrea, Petru., Ioan Traşcă, Teodor., Sandu Ştef, Ducu., Cocan, Ileana and Heghedűş-Mîndru, Ramona Cristina. 2023. Food Intake of Macro and Trace Elements from Different Fresh Vegetables Taken from Timisoara Market, Romania. *Foods*. MDPI.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9955908/>
- Hodson, Amanda K., Sayre, Jordan M., Lyra, María C. C. P and Mazza Rodrigues, Jorge L. 2021. Influence of Recycled Waste Compost on Soil Food Webs, Nutrient Cycling and Tree Growth in a Young Almond Orchard. *Article agronomy*. MDPI.
<https://www.mdpi.com/2073-4395/11/9/1745>
- Hou, Dongjie., Guo, Ke and Liu, Changcheng. 2020. Asymmetric effects of grazing intensity on macroelements and microelements in grassland soil and plants in Inner Mongolia Grazing alters nutrient dynamics of grasslands. *Ecology and evolution*. Wiley.

<https://www.proquest.com/docview/2437579105/fulltextPDF/DD4AC587768C4C85PQ/2?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>

- Iglesias, I., Foles, P and Oliveira, C. 2021. El cultivo del almendro en España y Portugal: situación, innovación, tecnológica, costes, rentabilidad y perspectivas. *Revista de Fruticultura*, nº 81.
<https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/21920>
- Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía. 2015. *Guía de cubiertas vegetales en Almendro*.
<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/78cbd014-6939-452d-b996-56478b48210f>
- Jeffries, Ann-Marie. 2015. Carbon Footprint surprisingl y small for almonds. *Western Fruit Grower*.
<https://www.proquest.com/docview/1735890030/fulltextPDF/18C591D48D814AFAPQ/1?accountid=14550&sourcetype=Trade%20Journals>
- Jiaqiang, Wu and Chunchan, Liang. 2018. Soil biological activator and preparation method thereof. *Espacenet*.
https://cbua-unia.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi_epo_espacenet_CN107974423A&context=PC&vid=34CBUA_UNIA:VU1&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Primo%20Central&tab=default&query=any,contains,biological%20activators%20for%20soil&offset=0
- Jiang, Ming., Wang, Ming., Wang, Yixiao., Wang, Shengzhong and Wang, Guodong. 2023. The type of soil amendment during farming affects the restorability of peatlands. *Ecological Engineering*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857423000253>
- Jing, Tao., Li, Jingyang., Él, Yingdui., Shankar, Álka., Saxena, Abhishek., Tiwari, Archana., Chaitanya Maturi, Krishna., Kumar Solanki, Manoj., Singh, Vijai., Eissa, Mamdouh A., Zheli, Ding., Xie, Jianghui and Kumar Awasthi, Mukesh. 2024. Role of calcium nutrition in plant Physiology: Advances in research and insights into acidic soil conditions - A comprehensive review. *Plant Physiology and Biochemistry*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0981942824002705>
- Jing, Xu., Wenliang, Wan., Xiaoling, Zhu., Yanhui, Zhao., Yaqian, Chai., Sihui, Guan and Ming, Diao. 2023. Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Growth, Yield, and

Irrigation Water Productivity of Processing Tomatoes under Drip Irrigation and Mulching. Article Agronomy. MDPI.

<https://www.proquest.com/docview/2904634999/fulltextPDF/CB556E7F52884944PQ/12?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>

- Joseph, David., Bensam Raj, J and Ramar, Karuppasamy. 2022. Thermal Analysis and Kinetic Study of Indian Almond Leaf by Model-Free Methods. Journal of natural fibers. https://cbua-unia.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi_doaj_primary_oai_doaj_org_article_65f8a91ffb824b7ba89694b42f4292a5&context=PC&vid=34CBUA_UNIA:VU1&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Primo%20Central&tab=default&query=any,contains,Almond%20leaf%20analysis&offset=0
- Kanna I, Vinoth., Roseline, S., Balamurugan, K., Jeeva, S and Augustin Santhiyagu, I. 2024. The Effects of Greenhouse Gas Emissions on Global Warming. Encyclopedia of Renewable Energy, Sustainability and the Environment. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323939409002164>
- Kelly, Nat. 2023. Almonds: Health, Cultivation, and Sustainability. Open Science. MDPI. <https://blog.mdpi.com/2023/02/01/almonds-health-sustainability/>
- Kendall, Alissa., Marvinney, Elias., Brodt, Sonja and Zhu, Weiyuan. 2015. Life Cycle-based Assessment of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Almond Production, Part I. Analytical Framework and Baseline Results. Journal of Industrial Ecology. https://www.researchgate.net/publication/280148009_Life_Cycle-based_Assessment_of_Energy_Use_and_Greenhouse_Gas_Emissions_in_Almond_Production_Part_I_Analytical_Framework_and_Baseline_Results
- Kirkland, Lisa S., Babineau, Marielle., Ward, Samantha E., Van Rooyen, Anthony R., Chirgwin, Evatt., Mata, Luis and Umina, Paul A. 2024. Assessing the risk of resistance to flonicamid and afidopyropen in green peach aphid (Hemiptera: Myzus persicae) via in-vivo selection. Crop Protection. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219424002114>
- Kumar, Sachin., Rana, Surinder Singh., Sharma, Neelam., Iqbal, Rana Khalid., Qureshi, Huma., Anwar, Tauseef., Syed, Asad., Elgorban, Abdallah M and Eswaramoorthy, Rajalakshmanan. 2023. Weed phyto-sociology and diversity in relation to conservation agriculture and weed management strategies in Northwestern Himalayas of India. Journal of King Saud University. Science.

<https://cbua->

[unia.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi_doaj_primary_oai_doaj_organ_article_d4a432d6cea343b5a2f1c13a9c6179ae&context=PC&vid=34CBUA_UNIA:VU1&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Primo%20Central&tab=default&query=any,contains,Weeds%20Management%20Strategies%20in%20Conservation%20Agriculture&offset=0](https://cbua-unia.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi_doaj_primary_oai_doaj_organ_article_d4a432d6cea343b5a2f1c13a9c6179ae&context=PC&vid=34CBUA_UNIA:VU1&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Primo%20Central&tab=default&query=any,contains,Weeds%20Management%20Strategies%20in%20Conservation%20Agriculture&offset=0)

- Lachheb, Aymen., Marouani, Rym., Mahamat, Chabakata., Skouri, Safa and Bouadila, Salwa. 2024. Fostering Sustainability through the Integration of Renewable Energy in an Agricultural Hydroponic Greenhouse. *Engineering, Technology & Applied Science Research*.

<https://hal.science/hal-04530160/document>

- Laurent, Céline., Bravin, Matthieu N., Crouzet, Olivier and Lamy, Isabelle. 2024. Does a decade of soil organic fertilization promote copper and zinc phytoavailability? Evidence from a laboratory biotest with field-collected soil samples. *Science of The Total Environment*. Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723063982>

- Laza, Haydee E., Acosta-Martínez, Verónica., Cano, Amanda., Baker, Jeff., Mahan, James., Gitz, Dennis., Emendack, Yves., Slaughter, Lindsey., Lascano, Roberto., Tejido, David and Payton, Paxton. 2023. Elevated [CO₂] enhances soil respiration and AMF abundance in a semiarid peanut agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880923002517>

- Li, Yifan., Hu, Tuanliu., Xiang, Aihua., Liu, Kun and Zhang, Guofan. 2024. Molybdenum tailings calcination for phase composition of Si-Ca-K-Mg fertilizers: Modification of phase transformation and its effects on plant growth. Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138589472404213X>

- Lipan, Leontina., Cárceles Rodríguez, Belén., Durán Zuazo, Víctor Hugo., Soriano Rodríguez, Miguel., Sendra, Esther., Carbonell-Barrachina, Ángel Antonio., Hernández, Francisca., Herencia Galán, Juan Francisco., Rubio-Casal, Alfredo Emilio and García-Tejero, Iván Francisco. 2023. Linking Conventional and Organic Rainfed Almond Cultivation to Nut Quality in a Marginal Growing Area (SE Spain). *Article Agronomy*. MDPI.

<https://www.mdpi.com/2073-4395/13/11/2834>

- López Fuster, Prudencio. 2019. *Almendro: guía práctica de cultivo*. Mundi-Prensa.

- López López, Manuel., Calderón, Rocío., Gonzalez-Dugo, Victoria., Zarco Tejada, Pablo J and Fereres, Elías. 2016. Early Detection and Quantification of Almond Red Leaf Blotch Using High-Resolution Hyperspectral and Thermal Imagery. Remote sensing. MDPI. <https://www.proquest.com/docview/1780812592/8A48F35C91F24279PQ/6?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Long, Wan., Yang, Jiaqi., Zheng, Chenghao., Guo, Jianbin., Zhou, Jinxing., Han, Yuguo and Rebi, Ansa. 2023. Effect of Agroforestry Systems on Soil NPK and C Improvements in Karst Graben Basin of Southwest China. Article agronomy. MDPI. <https://www.proquest.com/docview/3072250192/fulltextPDF/4B861DBC21994A24PQ/20?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Manrique Anticona, Cintya Elizabeth., Yagüe Blanco, José Luis and Pascual Castaño, Isabel Cristina. 2023. Characterization of potential Spanish territories for creating a national network associated with the Globally Important Agricultural Heritage System. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837723001333>
- Marcelo Coniglio, Rubén. 2008. Frutos secos: El cultivo del Almendro. “Una actividad alternativa”. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. <https://fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/25/4AM25.htm#:~:text=Con%20respecto%20a%20los%20subproductos,seca%20se%20utiliza%20para%20ebanister%C3%ADa.>
- Marvinney, Elias., Ro, Jin Wook and Kendall, Alissa. 2020. Trade-Offs in Net Life Cycle Energy Balance and Water Consumption in California Almond Orchards. Energies. MDPI. <https://www.proquest.com/docview/2416064142/fulltextPDF/D5B05BD8611F4E82PQ/2?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Mehmet Musa, Özcan. 2023. A review on some properties of almond: impact of processing, fatty acids, polyphenols, nutrients, bioactive properties, and health aspects. Association of Food Scientists & Technologists. <https://www.proquest.com/docview/2795897273/9AF2940E9C13404BPQ/20?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Méndez García, José., Varó Vicedo, Plácido., Gálvez Martín, Ricardo and Navarro Sánchez, Joaquín. 2021. Comportamiento de nuevas variedades de almendro en el campo de Cartagena. Centro Integrado de Formación y Experiencias Agrarias de Torre-Pacheco. Región de Murcia.

[https://www.carm.es/web/descarga?IDCONTENIDO=20865&ALIAS=PUBT&RASTRO=c2889\\$m58245,58256,58865&IDADIC=15713&ARCHIVO=Texto+Completo+1+Comportamiento+de+nuevas++variedades+de+almendro+en+el++campo+de+Cartagena.pdf](https://www.carm.es/web/descarga?IDCONTENIDO=20865&ALIAS=PUBT&RASTRO=c2889$m58245,58256,58865&IDADIC=15713&ARCHIVO=Texto+Completo+1+Comportamiento+de+nuevas++variedades+de+almendro+en+el++campo+de+Cartagena.pdf)

- Mesa, Jaime A., Sierra-Fontalvo, Lesly., Ortegon, Katherine and Gonzalez-Quiroga, Arturo. 2024. Advancing circular bioeconomy: A critical review and assessment of indicators. Sustainable Production and Consumption. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550924000678>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2015. Guía de gestión integral de plagas. Almond.
<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/guias-gestion-plagas/frutales/default.aspx>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2021. Estrategia de digitalización del sector agroalimentario y del medio rural.
https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-digitalizacion-sector-agroalimentario/ii-plan-accion-estrategia-digitalizacion-2021-2023_tcm30-583049.pdf
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2022. Superficies de cultivo y aprovechamiento. Producción Ecológica.
https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/produccion-eco/estadisticas_pe_2022_tcm30-680004.pdf
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2023. Superficies y producciones de cultivo.
<https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2023/default.aspx?parte=3&capitulo=07&grupo=10&seccion=1>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2024. Lista comunitaria de sustancias activas aprobadas, excluidas y en evaluación comunitaria, sustancias de bajo riesgo, sustancias candidatas a la sustitución y lista de sustancias básicas.
https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/listasustanciasactivasaceptadasexcluidas_tcm30-618972.pdf
- Ministerio de Derechos Sociales, Consumo y Agenda 2030. 2021. Objetivos de Desarrollo Sostenible.
<https://www.mdsocialesa2030.gob.es/agenda2030/index.htm>
- Mirás Avalos, José M., González Dugo, Victoria., García Tejero, Iván F., López Urrea, Ramón., Intrigliolo, Diego S and Egea, Gregorio. 2023. Quantitative analysis of almond

yield response to irrigation regimes in Mediterranean Spain. *Agricultural Water Management*. Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377423000732?via%3Dihub>

- Mohamadi, Soosan., Karimi, Soheil and Tavallali, Vahid. 2024. Differential responses of green-synthesized iron nano-complexes in mitigating bicarbonate stress in almond trees. *Heliyon*. ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024013537>
- Montesinos, Álvaro., Maldera, Francesco., Thorp, Grant T and Rubio-Cabetas, María José. 2023. Scion–Rootstock Combination Determines Pruning Responses in Young Almond Trees. *HortScience*.
<https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/59/1/article-p1.xml>
- Morais, Maria C., Aires, Alfredo., Barreales, David., Rodrigues, M. Ângelo., Ribeiro, António C., Gonçalves, Berta and Silva, Ana P. 2020. Combined Soil and Foliar Nitrogen Fertilization Effects on Rainfed Almond Tree Performance. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-020-00321-y>
- Moreira, Bruna., Gonçalves, Alexandre., Pinto, Luís., Prieto, Miguel A., Carochio, Márcio., Caleja, Cristina and Barros, Lillian. 2024. Intercropping Systems: An Opportunity for Environment Conservation within Nut Production. *Review agriculture*. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/3084712007/fulltextPDF/B8A5450C2E824042PQ/4?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Morey, Antonia y Fornés, Jaume. 2021. El cultivo tradicional del almendro en el Mediterráneo: Baleares en el contexto español (ca. 1770-2017). *Historia Agraria*, pp. 103-140. <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/194512>
- Muhammad, Saiful. 2013. Development of Nutrient Budgets for Nutrient Management in Almond (*Prunus dulcis*). University of California.
<https://www.proquest.com/docview/1449841557/3FCFAD7396FF41AFPQ/12?accountid=14550&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- Muhammad, Saiful., Saa, Sebastian., Schellenberg, Daniel., Weinbaum, Steve and Brown, Patrick. 2017. Almond Tree Nutrition. University of California.
https://www.researchgate.net/publication/343686350_Chapter_14_-1_-_14_Almond_Tree_Nutrition_CABI_Press
- Muncharaz Pou, Manuel. 2017. El almendro: manual técnico. Editorial Mundi-Prensa.

- Nalin, Daniel., Munhoz-Garcia, Gustavo Vinícios., Werkhausen Witter, Ana Paula., Takeshita, Vanessa., de Oliveira, Claudia., Storniolo Adegas, Fernando., Luiz Tornisielo, Valdemar., de Oliveira Junior, Rubem Silvério and Constantin, Jamil. 2023. Absorption, Translocation, and Metabolism of Glyphosate and Imazethapyr in Smooth Pigweed with Multiple Resistance. *Article agronomy*. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/2842907059/fulltextPDF/3902FF7F09F9443DPQ/4?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Nasraoui, Rawya., Trifi, Mariem., Romdhan, Dalila Fkih., Charef, Abdelkrim., Fitouhi, Imen., Attia, Rafla and Ayari, Jamel. 2024. Interest of the appropriate sampling strategy and analysis procedure for a representative assessment of the agricultural soil pollution level of the Pb-Zn mining site of Jbel Ressay (NE Tunisia). *Arabian journal of geosciences*.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-023-11810-6>
- Nazari, Bijan., Liaghat, Abdolmajid., Reza Akbari, Mohammad and Keshavarz, Marzieh. 2018. Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. *Agricultural Water Management*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418307194>
- News Bites - Private Companies. 2021. University of California Davis: Agriculture-Natural Resources Student Group Wins UC President's Award for Leadership. Melbourne.
<https://www.proquest.com/docview/2570342042?pq-origsite=primo&sourcetype=Wire%20Feeds>
- Nichols, Patrick K., Dabach, Sharon., Abu Najm, Majdi., Brown, Patrick., Camarillo, Rebeca., Smart, David and Steenwerth, Kerri L. 2024. Alternative fertilization practices lead to improvements in yield-scaled global warming potential in almond orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880923005169>
- Niederholzer, Franz. 2024. Almond Irrigation Strategies. *Water Issues Drought*.
<https://www.proquest.com/docview/1551734284/fulltextPDF/BA425AD872814915PQ/1?accountid=14550&sourcetype=Trade%20Journals>
- Ollero-Lara, Andrés., Agustí-Brisach, Carlos., Lovera, María., Roca, Luis F., Arquero, Octavio and Trapero, Antonio. 2019. Field susceptibility of almond cultivars to the four most common aerial fungal diseases in southern Spain. *Crop Protection*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219419300791>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2024. FAOSTAT. Cultivos y productos de ganadería. Consultado 2 de mayo de 2024.

<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

- Orozco, J., Lauterman, O., Sperling, O., Paz-Kagan, T and Zwieniecki, M. 2024. Losing ground: projections of climate-driven bloom shifts and their implications for the future of California´s almond orchards. Scientific reports.
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85181452817&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=8f5a2b90b72ffa19330cc7a4ced03566&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Losing+ground%3A+projections+of+climate%E2%80%91driven+bloom+shifts+and+their+implications+for+the+future+of+California%E2%80%99s+almond+orchards%29&sl=142&sessionSearchId=8f5a2b90b72ffa19330cc7a4ced03566&relpos=0>
- Özcan, Hatice., Güney, Müjgan., Karıcı, Harun., Tevfik, Habibullah., Kafkas, Salih., Acar, İzzet and Kafkas, Ebru. 2024. Exploring nut quality traits in almond varieties: a comparative study of local and foreign cultivars and their F1 hybrid offsprings. Euphytica.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-024-03357-8>
- Patrick K, Nichols. 2023. Orchard Floor Management: Improved Practices for Nitrogen Retention. University of California.
<https://www.proquest.com/docview/2867043840/CB97D75A3C734E90PQ/1?accountid=14550&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- Pekrun, Carola., Messelhäuser, Miriam H., Finck, Margarete., Hartung, Karin., Möller, Kurt and Gerhards, Roland. 2023. Yield, soil Nitrogen content and weed control in six years of conservation agriculture on-farm field trials in Southwest Germany. Soil and Tillage Research. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198722003014>
- Pérez Burillo, Pedro. 2017. Interpretación de análisis foliar y diagnóstico en almendro. TFG – Universidad Miguel Hernández.
<https://dspace.umh.es/bitstream/11000/4184/1/TFG%20%20P%C3%A9rez%20Burillo,%20Pedro.pdf>
- Pérez-Murcia, M D., Bustamante, M A., Orden, L., Rubio, R., Agulló, E., Carbonell-Barrachina, A A and Moral, R. 2021. Use of Agri-Food Composts in Almond Organic Production: Effects on Soil and Fruit Quality. Article agronomy MDPI.
<https://www.mdpi.com/2073-4395/11/3/536#:~:text=The%20contribution%20of%20compost%20amendment,improvement%20of%20the%20crop%20quality>

- Pica, Aniello Luca., Silvestri, Cristian and Cristofori, Valerio. 2022. Cultivar-Specific Assessments of Almond Nutritional Status through Foliar Analysis. *Article Horticulturae*. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/2716540152/fulltextPDF/DB073DF35DAC4CC8PQ/20?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Pirsan, Paul., Imbrea, Florin and Botos, Lucian. 2015. Cultivating sunflowers in the “Permanent Vegetal Cover” system. *Journal of Biotechnology*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168165615003971>
- Qader Al-Zubaidy, Noha Waleed. 2023. Effect of Organic Fertilizer and Seaweed Extract in Growth and Yield Broad bean *Vicia faba* L. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*. Bristol.
<https://www.proquest.com/docview/2902006674/72732B9BAE004D1DPQ/1?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Quintanilla-Albornoz, Manuel., Bellvert, Joaquim., Pelechá, Ana and Miarnau, Xavier. 2024. Agronomic response, transpiration and water productivity of four almond production systems under different irrigation regimes. *Scientia Horticulturae*. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423824004928>
- Rahmat, Zainab., Sohail, Muhammad N., Perrine-Walker, Francine and Kaiser, Brent N. 2023. Balancing nitrate acquisition strategies in symbiotic legumes. *An International Journal of Plant Biology*; Heidelberg.
<https://www.proquest.com/docview/2825542360/C9C0284B2BC84DECPQ/1?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Ramzan, Iqra., Bashir, Mahwish., Saeed, Adnan., Babar Shahzad, Khan., Shaik, Mohammed Rafi., Khan, Merajuddin., Shaik, Baji and Khan, Mujeeb. 2023. Evaluation of Photocatalytic, Antioxidant, and Antibacterial Efficacy of Almond Oil Capped Zinc Oxide Nanoparticles. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/2843080900/fulltextPDF/B59C0E3398A34DFDPQ/1?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Reisman, Emily D. 2020. *Orchard Entanglements: Political Ecologies of Almond Production in California and Spain*. University of California.
<https://www.proquest.com/docview/2434801215?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- Repullo-Ruibérriz de Torres, Miguel A., Moreno-García, Manuel., Ordóñez-Fernández, Rafaela., Rodríguez-Lizana, Antonio., Cárceles Rodríguez, Belén., García-Tejero, Iván

Francisco., Durán Zuazo, Víctor Hugo and Carbonell-Bojollo, Rosa M. 2021. Cover Crop Contributions to Improve the Soil Nitrogen and Carbon Sequestration in Almond Orchards (SW Spain). Article agronomy. MDPI.

<https://www.proquest.com/docview/2493874658/fulltextPDF/64009174A7B348BEPQ/40?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>

- Ribeiro Campos, C., Sousa, B., Silva, J., Braga, M., de Sousa Araújo, S., Sales, H., Pontes, R and Nunes, J. 2023. Positioning Portugal in the Context of World Almond Production and Research. Review agriculture MDPI.

[https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85172168665&origin=resultslist&sort=plf-)

[85172168665&origin=resultslist&sort=plf-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85172168665&origin=resultslist&sort=plf-)

[f&src=s&sid=8f5a2b90b72ffa19330cc7a4ced03566&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85172168665&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=8f5a2b90b72ffa19330cc7a4ced03566&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-)

[KEY%28Positioning+Portugal+in+the+Context+of+World+Almond+Production+and+R](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85172168665&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=8f5a2b90b72ffa19330cc7a4ced03566&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Positioning+Portugal+in+the+Context+of+World+Almond+Production+and+R)

- Richard, David., Leimbrock-Rosch, Laura., Keßler, Sabine., Stoll, Evelyne and Zimmer, Stéphanie. 2023. Soybean yield response to different mechanical weed control methods in organic agriculture in Luxembourg. European Journal of Agronomy. Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030123001107>

- Riquelme Serra, Alejandro and Larraín Prieto, Rafael. 2023. Manual de Especies Indicadoras de Condición de Suelo. Pontificia Universidad Católica de Chile. CAPES – Centro de Ecología Aplicada y Sustentabilidad.

[https://b8c408.a2cdn1.secureserver.net/wp-](https://b8c408.a2cdn1.secureserver.net/wp-content/uploads/2024/03/Manual_Especies_Indicadoras_Suelo.pdf)

[content/uploads/2024/03/Manual_Especies_Indicadoras_Suelo.pdf](https://b8c408.a2cdn1.secureserver.net/wp-content/uploads/2024/03/Manual_Especies_Indicadoras_Suelo.pdf)

- Rozalia Holzle, Eva. 2023. The Collaborative, Multi-layered and Temporal Dynamics of Agricultural Knowledge among War-Khasi Farmers. Internationales Asien Forum. International Quarterly for Asian Studies.

[https://www.proquest.com/docview/2852778999/fulltext/4B861DBC21994A24PQ/13?ac](https://www.proquest.com/docview/2852778999/fulltext/4B861DBC21994A24PQ/13?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals)

- Rubio-Asensio, José Salvador., Abbatantuono, Francesco., Ramírez-Cuesta, Juan Miguel., Hortelano, David., Ruíz, José Luis., Parra, Margarita., Martínez-Meroño, Rosa María., Intrigliolo, Diego S and Buesa, Ignacio. 2022. Effects of Cover Crops and Drip Fertigation Regime in a Young Almond Agroecosystem. Article agronomy. MDPI.

https://digital.csic.es/bitstream/10261/303394/1/Effects%20of%20cover%20crops_Rubio_PV_Art2022.pdf

- Sairam, Masina., Gopala Krishna, Tadiboina., Sahoo1, Upasana., Pattanayak, Sarthak.,

- Sagar, Lalichetti and Maitra, Sagar. 2023. Weeds Management Strategies in Conservation Agriculture. Orissa University of Agriculture and Technology.
https://www.researchgate.net/publication/374163797_Weeds_Management_Strategies_in_Conservation_Agriculture
- Salvato, Luke. 2023. Agricultural Land Use Change and Sustainability Challenges in the Sacramento Valley, California. University of California.
<https://www.proquest.com/docview/2867025044/DD47C3721FB841D9PQ/2?accountid=14550&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
 - Salimi Beni, Mehrdad., Gholami Parashkoochi, Mohammad., Beheshti, Babak., Ghahderijani, Mohammad and Bakhoda, Hossein. 2023. Application of machine learning to predict of energy use efficiency and damage assessment of almond and walnut production. Environmental and Sustainability Indicators. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665972723000752>
 - Sánchez Hernández, Eva., Balduque Gil, Joaquín., González García, Vicente., Barriuso Vargas, Juan J., Casanova Gascón, José., Martín Gil, Jesús and Martín Ramos, Pablo. 2023. Phytochemical Profiling of Sambucus nigra L. Flower and Leaf Extracts and Their Antimicrobial Potential against Almond Tree Pathogens. International Journal of Molecular Sciences. Basel.
<https://www.proquest.com/docview/2767232376/49C8B8973530490BPQ/5?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals#>
 - Sánchez-Navarro, V., Shahrokh, V., Martínez-Martínez, S., Acosta, J A., Almagro, M., Martínez-Mena, M., Boix-Fayos, C., Díaz-Pereira, E and Zornoza, R. 2022. El cultivo perenne en callejones contribuye a disminuir las emisiones de CO₂ y N₂O del suelo y a aumentar el secuestro de carbono en el suelo en un huerto de almendros del Mediterráneo.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722043236>
 - Saravana Kumari, P., Ramkumar, S., Seethalaxmi, M., Rekha, T., Abiyoga, M., Baskar, V and Sureshkumar, S. 2024. Biofortification of crops with nutrients by the application of nanofertilizers for effective agriculture. Plant Physiology and Biochemistry. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942824004406>
 - Schaeffer, James. 2023. Biology, Germination Ecology, and Shade Tolerance of Alkaliweed (*Cressa truxillensis*) and Its Response to Common Postemergence Herbicides. California State University.
<https://www.proquest.com/docview/2900630173/previewPDF/B4F84A5EF2C24C20PQ/2?accountid=14550&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>

- Soares, Dylan. 2016. Irrigation system design for an almond orchard. BioResource and Agricultural Engineering Department. California Polytechnic State University.
<https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1169&context=braesp>
- Solangi, Farheen., Zhu, Xingye., Cao, Weidong., Dai, Xiu., Ali Solangi, Kashif., Zhou, Guopeng and Alwasel, Yasmeeen A. 2024. Nutrient Uptake Potential of Nonleguminous Species and Its Interaction with Soil Characteristics and Enzyme Activities in the Agroecosystem. ACS Publications.
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.3c08794>
- Sperling, Or., Gardi, Ido., Ben-Gal, Alon and Kamai, Tamir. 2023. Deficit irrigation limits almond trees' photosynthetic productivity and compromises yields. Agricultural water management.
https://cboa-unia.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=cdi_doaj_primary_oai_doaj_org_article_75dee52fe71541aa8ced52bff915035f&context=PC&vid=34CBUA_UNIA:VU1&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Primo%20Central&tab=default&query=any,contains,almond%20irrigation&offset=0
- Sperling, Or., Karunakaran, Ranjith., Erel, Ran., Yasuor, Hagai., Klipcan, Liron and Yermiyahu, Uri. 2019. Excessive nitrogen impairs hydraulics, limits photosynthesis, and alters the metabolic composition of almond trees. Plant Physiology and Biochemistry. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942819303365>
- Srinivasarao, Ch., Kundu, Sumanta., Rao, K.V., Shukla, A.K., Subba Rao, A., Imas, Patricia., Bolan, Nanthi S., Lal, Rattan., Prasad, J.V.N.S., Abhilash, P.C., Ranjith Kumar, G., Meena, R.S., Pratibha, G., Narayanaswami, G., Bansal, S.K., Nataraj, K.C., Jagadesh, M., Mrunalini, K., Jayaraman, S., Jat, M.L and Venkateswarlu, B. 2023. Chapter Two - Soil potassium fertility and management strategies in South Asian agriculture. Advances in Agronomy. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211322001080>
- Srivastava, Rajesh K., Shetti, Nagaraj P., Raghava Reddy, Kakarla., Nadagouda, Mallikarjuna N., Badawi, Michael., Bonilla-Petriciolet, Adrián and Aminabhavi, Tejrj M. 2023. Valorization of biowastes for clean energy production, environmental depollution and soil fertility. Journal of Environmental Management. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723001986>

- Synergy Nuts. Universidad Politécnica de Cartagena. 2024. Las principales plagas del almendro.
<https://synergynuts.upct.es/plagas-almendro/plagas-almendros/>
- Synergy Nuts. Universidad Politécnica de Cartagena. 2024. Las principales enfermedades del almendro.
<https://synergynuts.upct.es/manejo-fitosanitario/enfermedades-fungicas-almendro/>
- Szczepanek, Małgorzata., Piekarczyk, Mariusz and Błaszczuk, Karolina. 2024. Spatial Distribution of Soil Macroelements, Their Uptake by Plants, and Green Pea Yield under Strip-Till Technology. Article agronomy. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/3046572054/fulltextPDF/AE272247AC8B42F5PQ/2?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Szostek, Malgorzata., Szpunar-Krok, Ewa., Pawlak, Renata., Stanek-Tarkowska, Jadwiga and Ilek, Anna. 2022. Effect of Different Tillage Systems on Soil Organic Carbon and Enzymatic Activity. Article Agronomy. MDPI.
<https://www.mdpi.com/2073-4395/12/1/208>
- Tarantino, Annalisa., Frabboni, Laura and Disciglio, Grazi. 2024. Vegetative and Reproductive Responses Induced by Organo-Mineral Fertilizers on Young Trees of Almond cv. Tuono Grown in a Medium-High Density Plantation. Article agricultura. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/2930480414/fulltextPDF/B5DB0B5412EB455APQ/3?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Teagasc. 2017. Technical report: Mechanical weed control in vegetable production. Agriculture and Food Debelopment Authrity.
<https://www.teagasc.ie/media/website/crops/crops/Mechanical-weed-control-in-vegetable-production.pdf>
- Tolon Becerra, A., Botta, G.F., Lastra Bravo, X., Tourn, M., Bellora Melcon, F., Vazquez, J., Rivero, D., Linares, P and Nardon, G. 2010. Soil compaction distribution under tractor traffic in almond (*Prunus amigdalus* L.) orchard in Almería España. Soil and Tillage Research. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719871000022X>
- Torra, Joel., Montull, José M., Calha, Isabel M., Osuna, María D., Portugal, Joao and de Prado, Rafael. 2022. Current Status of Herbicide Resistance in the Iberian Peninsula: Future Trends and Challenges. Article Agronomy. MDPI.
<https://www.proquest.com/docview/2652948523/BB702525D7D14E96PQ/1?accountid=>

14550&sourcetype=Scholarly%20Journals

- Trigo, Ana., Costa, Ana Marta and Fragoso, Rui. 2021. Principles of Sustainable Agriculture: Defining Standardized Reference Points. Sustainability. MDPI.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4086>
- Trouillas, Florent., Hernandez, Alejandro and Adaskaveg, Jim. 2024. Wet years can lead to aerial Phytophthora outbreaks in almond orchards. University of California. Agriculture and Natural Resources.
<https://www.sacvalleyorchards.com/almonds/trunk-soil-diseases/aerial-phytophthora-outbreaks-in-wet-years/>
- University of Georgia Extension. 2024. Shallow Subsurface Drip Irrigation: A Tool for Organic Vegetable Growers. Status and Revision History.
<https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1564&title=shallow-subsurface-drip-irrigation-a-tool-for-organic-vegetable-growers>
- Vidal, G. S., Hahn, M. H., Pereira, W. V., Pinho, D. B., May-De-Mio, L. L and Duarte, H. S. S. 2021. A Molecular Approach Reveals *Tranzschelia discolor* as the Causal Agent of Rust on Plum and Peach in Brazil. APS Publications.
<https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-11-20-2379-PDN>
- Wang, Yue., Liu, Xingbin., Wang, Luxin., Li, Haotian., Zhang, Shiyu., Yang, Jinfeng., Liu, Ning and Han, Xiaori. 2023. Effects of Long-Term Application of Cl-Containing Fertilizers on Chloride Content and Acidification in Brown Soil. Article Sustainability.
<https://www.proquest.com/docview/2824048917/44545D0A9EC6433CPQ/1?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Wei, Heng., Wu, Luhua., Chen, Dan., Yang, Dongni., Dua, Jinjun., Xu, Yingjuan and Jia, Jianlan. 2024. Rapid climate changes responsible for increased net global cropland carbon sink during the last 40 years. Ecological Indicators. Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X24009221>
- Westphal, Andreas., Maung, Zin T. Z., Doll, David A., Yaghmour, Mohammad A., Chitambar, John J and Subbotin, Sergei A. 2019. First Report of the Peach Root-Knot Nematode, *Meloidogyne floridensis* Infecting Almond on Root-Knot Nematode Resistant ‘Hansen 536’ and ‘Bright's Hybrid 5’ Rootstocks in California, USA. Journal of Nematology.
<https://openurl.ebsco.com/srh%3ASRH.03A73F5A.20FA3992/detailv2?sid=Primo&volume=51&date=20190101&spage=1&issn=0022->

300X&issue=1&genre=article&title=Journal%20of%20nematology.&epage=3&doi=10.21307%2Fjofnem-2019-002

- Yara. 2024. Crop Nutrition.
<https://www.yara.us/crop-nutrition/almond/nutrient-deficiencies/magnesium-deficiency-almond/>
- Yoo, J G., Heath, K., Wisniewska, M H and Heisel, F. 2023. Quantification and specification of agricultural by-products as local resources for mycelium-bound composites. Journal of Physics: Conference Series. Bristol.
<https://www.proquest.com/docview/2896119865/2A4B1DDC84094B17PQ/3?accountid=14550&sourcetype=Scholarly%20Journals>
- Yu, Chieh. 2022. A Study of Three Potassium Fertilizers in Californian Almond Production Soils. University of California.
<https://www.proquest.com/docview/2665634402/892564435784C21PQ/8?accountid=14550&sourcetype=Dissertations%20&%20Theses>
- Zapata Ecoagro. 2024. Plagas y enfermedades.
<https://www.preciosalmendra.es/plagas>
- Zhang, Wenkai., Sanaeifar, Alireza., Ji, Xusheng., Luo, Xuelun., Guo, Hongen., He, Qinghai., Luo, Ying., Huang, Fuyin., Yan, Peng., Li, Xiaoli and He, Yong. 2024. Data-driven optimization of nitrogen fertilization and quality sensing across tea bud varieties using near-infrared spectroscopy and deep learning. Elsevier. ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169924004629?via%3Dihub>
- Zhao, Yihan and Naeth, M. Anne. 2024. Synergistic effects of coal waste derived humic substances and inorganic fertilizer as soil amendments for barley in sandy soil. Heliyon. ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024056512>
- Zhu, Zhen., Yang, Yanpeng, Dongqing., El rey and Cai, Yingfeng. 2022. Energy Saving Performance of Agricultural Tractor Equipped with Mechanic-Electronic-Hydraulic Powertrain System. Agriculture. MDPI.
<https://www.mdpi.com/2077-0472/12/3/436>
- Zeiri, Asma., Ahmed, Muhammad Z., Cuthbertson, Andrew G S and Braham, Mohamed. 2018. Monitoring the Attack Incidences and Damage Caused by the Almond Bark Beetle, *Scolytus amygdali*, in Almond Orchards. Insects. MDPI.
<https://www.mdpi.com/2075-4450/9/1/1>