UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRARIA

Análisis de riesgos en la implementación de la PAC 2023 sobre la viabilidad económica en cultivos herbáceos extensivos

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Autor: **Sergio Morais Díaz**

Tutor: **Carlos Gregorio Hernández Diaz-Ambrona**
Cotutora: **Isabel Bardaji De Azcarate**

Julio de 2023

Este Trabajo Fin de Máster ha sido financiado por el Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM) a través de su convocatoria de ayudas a jóvenes investigadores de 2022 para la realización de Trabajos Fin de Máster (TFM) y Trabajos Fin de Grado (TFG) sobre "gestión de riesgos y seguros agrarios, ganaderos o medioambientales".

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados, S.A. (AGROSEGURO) por proporcionarme los datos necesarios para llevar a cabo este estudio. Su colaboración ha sido fundamental para el desarrollo de la investigación.

RESUMEN

La necesidad de avanzar hacia una mayor sostenibilidad en la agricultura ha llevado a la implementación de nuevas políticas que reconocen la importancia de adoptar un enfoque integral y sostenible en la producción de alimentos. Estas políticas tienen como objetivo proteger el medio ambiente, conservar los recursos naturales, garantizar la salud y el bienestar de las personas, promover la resiliencia de los sistemas agrícolas y fortalecer la seguridad alimentaria.

La reformada Política Agrícola Común (PAC) de la Unión Europea para el período 2023-2027 ha enfatizado aún más la sostenibilidad y la protección ambiental. Se espera que esta política impulse prácticas agrícolas más sostenibles, incluyendo el manejo eficiente de los recursos naturales, la conservación del suelo, la promoción de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

Como consecuencia de los cambios que deben realizar los agricultores para adaptarse a la nueva normativa, los perfiles de riesgo de los cultivos herbáceos extensivos pueden sufrir modificaciones. El presente trabajo tiene como objetivo analizar y evaluar los principales riesgos asociados a las nuevas prácticas agrícolas introducidas en los eco-regímenes de la nueva PAC en cultivos herbáceos extensivos, así como su impacto en la viabilidad económica de los agricultores. Además, se enmarca en iniciativas y estrategias clave como el Pacto Verde Europeo y la Estrategia de la Granja a la Mesa.

Los temas de investigación abordados se centran en la agricultura de conservación, específicamente en tres áreas principales: aplicación de métodos de siembra directa y no laboreo, investigación de alternativas al uso del glifosato y análisis de los riesgos asociados a la rotación de cultivos que emplea especies mejorantes dentro de los eco-regímenes de la nueva PAC.

Palabras clave: Política Agrícola Común (PAC); Agricultura de conservación; Gestión de riesgos; Sostenibilidad.

TITLE IN ENGLISH

Risk analysis in the implementation of the Common Agricultural Policy (CAP) 2023 on the economic viability of extensive arable crops.

ABSTRACT

The need to move towards greater sustainability in agriculture has led to the implementation of new policies that recognize the importance of adopting a comprehensive and sustainable approach to food production. These policies aim to protect the environment, preserve natural resources, ensure the health and well-being of people, promote resilience in agricultural systems, and strengthen food security.

The reformed Common Agricultural Policy (CAP) of the European Union for the 2023-2027 period has further emphasized on sustainability and environmental protection. It is expected that this policy will promote more sustainable agricultural practices, including efficient management of natural resources, soil conservation, promotion of biodiversity, and mitigation of climate change.

As a result of the changes that farmers must make to comply with the new regulations, the risk profiles of extensive arable crops may undergo modifications. This work focuses on analyzing and evaluating the main risks associated with the new agricultural practices introduced in the eco-schemes of the new CAP for extensive arable crops, as well as their impact on the economic viability for farmers. It is also framed within key initiatives and strategies such as the European Green Deal and the Farm to Fork Strategy.

The research topics addressed focus on conservation agriculture, specifically in three main areas: the application of direct seeding and no-till methods, the investigation of alternatives to glyphosate use, and the analysis of risks associated with crop rotation using improvement species within the eco-schemes of the new CAP.

Key words: Common Agricultural Policy (CAP); Conservation agriculture; Risk management; Sustainability.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. OBJETIVOS 3

3. METODOLOGÍA 3

4. APOYO A LA SOSTENIBILIDAD EN CULTIVOS HERBÁCEOS EXTENSIVOS EN LA PAC 2023/2027 4

5. AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN 7

4.1. SIEMBRA DIRECTA 9

4.2. CONTROL DE MALAS HIERBAS 14

4.3. ALTERNATIVAS AL GLIFOSATO 16

6. ROTACIÓN DE CULTIVOS CON ESPECIES MEJORANTES 18

6.1. CASO CONCRETO DE LAS LEGUMINOSAS 23

7. RESULTADOS 24

7.1. COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS 24

7.2. ANÁLISIS DE COSTES 27

7.3. ANÁLISIS CLIMÁTICO 31

7.4. ANÁLISIS DE RIESGOS 38

7.4.1. Superficie asegurada 39

7.4.2. Comparativa de rendimientos y siniestralidad 41

8. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 51

8.1. AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN 51

8.1.1. Costes de producción 51

8.1.2. Uso del glifosato 52

8.2. ESPECIES MEJORANTES 53

8.2.1. Superficie asegurada 53

8.2.2. Adaptación climática 54

8.2.3. Rendimientos y siniestralidad 57

9. CONCLUSIONES.....58

BIBLIOGRAFÍA 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de los eco-regímenes implantados en la nueva PAC 2023-2027. Fuente: MAPA (2023). 6

Tabla 2: Código de la intervención, opciones de prácticas permitidas para acogerse al eco-régimen e importe unitario planificado. Fuente: MAPA (2023).....7

Tabla 3: Distribución de la siembra directa por cultivos en España (2021). Fuente: ESYRCE (2023) 11

Tabla 4: Descripción de los herbicidas. Fuente: Portal TecnoAgrícola.....17

Tabla 5: Comparación de rendimientos de cereales de invierno en siembra convencional (SC) y siembra directa (SD) en parcelas situadas en el en el mismo segmento (2017-2021). Datos en kg/ha. Fuente: ESYRCE (2023).....26

Tabla 6: Comparativa de tres itinerarios técnicos para la producción agrícola. 27

Tabla 7: Comparación de dosis, precios y costes de los diferentes herbicidas. Fuente: Portal TecnoAgrícola y páginas web de casa comerciales 28

Tabla 8: Costes derivados de la agricultura tradicional.....29

Tabla 9: Costes derivados de la agricultura de conservación (con glifosato).....29

Tabla 10: Costes derivados de la agricultura de conservación (sin glifosato).....30

Tabla 11: Datos de la estación meteorológica “Pozuelo de Tábara”. Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR 32

Tabla 12: Datos mensuales de temperatura de la estación de observación meteorológica “Pozuelo de Tábara” (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR 32

Tabla 13: Definición de las variables de temperatura utilizados. 33

Tabla 14: Cuadro resumen de precipitaciones de la estación de observación meteorológica “Pozuelo de Tábara” (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR 34

Tabla 15: Registro de la precipitación total (mm) de la estación de observación meteorológica “Pozuelo de Tábara” (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR 35

Tabla 16: Precipitaciones totales de la estación de observación meteorológica “Pozuelo de Tábara” (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR 36

Tabla 17: Frecuencia de precipitaciones de la estación de observación meteorológica “Pozuelo de Tábara” (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR.....37
Tabla 18: Datos de aseguramiento agrícola en Campos de Pan (Zamora) entre los años 2001 y 2022. Fuente: AGROSEGURO 42
Tabla 19: Datos de aseguramiento agrícola en Duero Bajo (Zamora) entre los años 2001 y 2022. Fuente: AGROSEGURO 43
Tabla 20: Datos de aseguramiento agrícola en Benavente y los Valles (Zamora) entre los años 2001 y 2022. Fuente: AGROSEGURO 44
Tabla 21: Distribución percentil de zonas agrícolas en Zamora, España (1999-2021). 45
Tabla 22: Niveles de siniestralidad por zonas agrícolas en Zamora, España (1999-2021). Fuente: AGROSEGURO 45
Tabla 23: Frecuencia de niveles de siniestralidad por zonas agrícolas en Zamora, España. Fuente: AGROSEGURO 46
Tabla 24: Rendimiento secano (kg/ha) por año en Zamora, España (1999-2021). Fuente: Datos de estadísticas agrarias, ganaderas y pesqueras del Anuario de Estadística, así como los resultados de la Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE). 47
Tabla 25: Distribución percentil de los principales cultivos en Zamora, España (1999-2021)...48
Tabla 26: Niveles de rendimiento de los principales cultivos en Zamora, España (1999-2021).49
Tabla 27: Niveles de precipitación total (mm) por año en Zamora, España (1999-2021).....50
Tabla 28: Distribución percentil de la precipitación total (mm) en Zamora, España (1999-2021) 50

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Costes derivados de los diferentes sistemas de producción agrícola.....30
Gráfica 2: Variación de la temperatura a lo largo del año de la estación de observación meteorológica “Pozuelo de Tábara” (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR.....33
Gráfica 3: Representación gráfica de precipitaciones de la estación de observación meteorológica “Pozuelo de Tábara” (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR.....34
Gráfica 4: Histograma de frecuencias de precipitaciones de la estación de observación meteorológica “Pozuelo de Tábara” (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR.....37

Gráfica 5: Diagrama ombrotérmico de la estación de observación meteorológica “Pozuelo de Tábara” (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR 38
Gráfica 6: Análisis de la siniestralidad (€) y la superficie asegurada (ha) en Campos de Pan (Zamora) 40
Gráfica 7: Análisis de la siniestralidad (€) y la superficie asegurada (ha) en Duero Bajo (Zamora) 40
Gráfica 8: Análisis de la siniestralidad (€) y la superficie asegurada (ha) en Benavente y los Valles (Zamora) 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Superficie de siembra directa en España (2021). Fuente: ESYRCE (2023) 12

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de avanzar hacia una mayor sostenibilidad en la agricultura se ha convertido en una necesidad imperante en el contexto actual en el que vivimos. La creciente preocupación por el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y los impactos negativos de las prácticas agrícolas convencionales en el medio ambiente y la salud humana ha llevado a la implementación de iniciativas globales para abordar estos desafíos.

En este sentido, el Pacto Verde Europeo, presentado el 11 de diciembre de 2019 por la Comisión Europea, se ha establecido como una ambiciosa estrategia de la Unión Europea para lograr la neutralidad climática y fomentar el desarrollo sostenible en Europa. Dentro de esta iniciativa, se reconoce la importancia del sector agrícola en la transición hacia un sistema alimentario más sostenible. Por tanto, se plantean metas y medidas concretas para promover prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente, fomentar la producción de alimentos saludables y garantizar la seguridad alimentaria.

La Estrategia de la Granja a la Mesa, presentada en mayo de 2020 como parte integral del Pacto Verde, se ha convertido en una de las principales acciones para promover la sostenibilidad en el sector agrícola. Esta estrategia tiene como objetivo transformar el sistema alimentario europeo hacia la sostenibilidad. Para lograrlo, se proponen diversas acciones que abarcan desde la reducción del uso de pesticidas y fertilizantes químicos, la promoción de la agricultura ecológica y agroecológica, hasta la mejora del bienestar animal y la implementación de medidas para minimizar el desperdicio de alimentos y garantizar una cadena de suministro alimentario más equitativa y transparente.

En cuanto a la Política Agrícola Común (PAC), se trata de la política agrícola de la Unión Europea y se ha sometido a una reforma para el período 2023-2027. Esta nueva PAC ha puesto un mayor énfasis en la sostenibilidad y la protección del medio ambiente. Se espera que esta política fomente prácticas agrícolas más sostenibles, como el manejo eficiente de los recursos naturales, la conservación del suelo, la promoción de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. Además, se apoya el desarrollo rural sostenible, la diversificación de cultivos y la transición hacia la agricultura ecológica.

Estas iniciativas reflejan el reconocimiento de la necesidad de adoptar un enfoque integral y sostenible en la producción de alimentos. La agricultura sostenible no solo implica proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales, sino también garantizar la salud y el bienestar de las personas, promover la resiliencia de los sistemas agrícolas y fortalecer la seguridad alimentaria.

La importancia del presente trabajo radica en su contribución al análisis y evaluación de los principales riesgos asociados a las nuevas prácticas agrícolas introducidas en los eco-regímenes de la nueva PAC en cultivos herbáceos extensivos, y su impacto en la viabilidad económica. Además, la investigación se sitúa en el contexto de iniciativas y estrategias clave como el Pacto Verde Europeo y la Estrategia de la Granja a la Mesa anteriormente mencionadas.

El enfoque es relevante debido a que se examinarán en detalle las implicaciones prácticas de estas políticas en el sector agrícola. Al analizar su impacto y los desafíos asociados, se podrá proporcionar una comprensión más profunda de los cambios requeridos y las oportunidades que surgen en el ámbito agrícola. Esto permitirá identificar soluciones concretas para promover prácticas agrícolas más sostenibles, teniendo en cuenta tanto la viabilidad económica de los agricultores como las demandas de los consumidores y la necesidad de preservar el medio ambiente. Esta investigación también abordará las barreras existentes que podrían obstaculizar la adopción de las nuevas prácticas agrícolas y propondrá posibles soluciones para superarlas. Este enfoque práctico y orientado a la implementación permitirá impulsar una transición exitosa hacia una agricultura más sostenible y resiliente, al proporcionar recomendaciones concretas y basadas en evidencia para los responsables de la toma de decisiones en el ámbito agrícola.

En este contexto, los temas de investigación son la aplicación de métodos de siembra directa y no laboreo, alternativas al uso del glifosato para el control de malas hierbas y el análisis de la rotación de cultivos que emplea especies mejorantes dentro de los eco-regímenes de la nueva PAC. En este trabajo, se presentan los objetivos, metodologías y resultados de estas líneas de investigación con el fin de contribuir al conocimiento y la aplicación de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal es la identificación y análisis de los principales riesgos asociados a las nuevas prácticas agrícolas introducidas en los eco-regímenes de la nueva PAC en cultivos herbáceos extensivos.

Entre los principales objetivos específicos se encuentran los siguientes:

- Análisis de los condicionantes normativos para las prácticas agrarias asociadas a los cultivos herbáceos extensivos en la nueva PAC y su implementación en el territorio nacional.
- Análisis de los riesgos y amenazas derivados de la implementación de las prácticas agrarias asociadas a los cultivos herbáceos extensivos en la nueva PAC que pueden afectar la producción y la viabilidad económica de los cultivos.

3. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este trabajo se basa en la recopilación y análisis de datos procedentes de diversas fuentes confiables, así como de estudios y publicaciones científicas relacionadas con la producción de cultivos herbáceos y la normativa de la nueva PAC.

En primer lugar, se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la normativa vigente de la PAC, centrándose en aquellas disposiciones que afectan directamente a los cultivos herbáceos extensivos y su sostenibilidad ambiental. Esto proporcionará una base sólida para comprender los requisitos y objetivos establecidos en la normativa, así como los aspectos clave que deben tenerse en cuenta para evaluar los riesgos asociados a las nuevas prácticas agrícolas. Es importante destacar que se aplicarán criterios de confiabilidad y validez en la selección de las fuentes de datos utilizadas, asegurando que sean fuentes oficiales y reconocidas en el ámbito agrícola.

Se utilizarán diversos conjuntos de datos para llevar a cabo un análisis completo de los riesgos asociados. Estos conjuntos de datos incluirán información sobre rendimiento de cultivos, datos climáticos y datos de siniestrabilidad. Los datos relativos a siniestrabilidad de cultivos fueron proporcionados por AGROSEGURO, una entidad reconocida y especializada en el seguro agrario en España, que recopila y analiza información relevante sobre la producción agrícola y los riesgos asociados. La colaboración con AGROSEGURO en este estudio garantiza la calidad y la fiabilidad de los datos utilizados ya que cuenta con una amplia experiencia en la recopilación y análisis de datos agrícolas, y sus registros y estadísticas son considerados referentes en el sector. Estos datos son recopilados de manera rigurosa y actualizados periódicamente, lo que permite obtener una visión precisa de la siniestrabilidad y los riesgos asociados a los cultivos herbáceos.

4. APOYO A LA SOSTENIBILIDAD EN CULTIVOS HERBÁCEOS EXTENSIVOS EN LA PAC 2023/2027

La Política Agraria Común es la principal política pública de la Unión Europea tanto en términos económicos como en el alcance de su aplicación. Creada en 1962, establece los mecanismos y reglas para el apoyo del sector agrario y el medio rural en Europa. A pesar de que originalmente su finalidad era principalmente aumentar la productividad agrícola y garantizar una renta equitativa a los agricultores, la PAC ha ido evolucionando con el objetivo de abordar tanto problemas ambientales como socioeconómicos.

Como consecuencia de los actuales retos globales por el clima, la Unión Europea ha dirigido sus políticas a contribuir en la consecución de una sociedad más sostenible. La gran novedad de la PAC es su cambio de enfoque, el cual se centra en una política de producción sostenible y protección del medioambiente, al mismo tiempo que se asegura la obtención de alimentos asequibles y de alta calidad.

El 2 de diciembre de 2021 se adoptó oficialmente el acuerdo sobre la reforma de la PAC, la cual se aplicará en el periodo de 2023 a 2027. Conserva los elementos esenciales de la PAC anterior pero pasa a ser una política orientada a la consecución de resultados concretos relacionados con el fomento de un sector agrícola inteligente, el apoyo de la protección del medioambiente y el fortalecimiento del tejido socioeconómico en las zonas

rurales. Durante dicho período, la PAC se articulará en torno a diez objetivos orientados a fines sociales, medioambientales y económicos. Los objetivos son los siguientes:

- Garantizar una renta justa a los agricultores
- Aumentar la competitividad
- Mejorar la posición de los agricultores en la cadena alimentaria
- Actuar contra el cambio climático
- Proteger el medio ambiente
- Preservar los paisajes y la biodiversidad
- Apoyar el relevo generacional
- Mantener zonas rurales dinámicas
- Proteger la calidad alimentaria y sanitaria
- Impulsar el conocimiento y la innovación

Todos los Estados miembros de la Unión Europea deben contar con un Plan Estratégico en el que se indiquen las intervenciones con las que se pretenden alcanzar estos objetivos y conseguir un sector agrícola sostenible y competitivo. El 31 de agosto de 2022 la Comisión Europea aprobó el Plan Estratégico de la PAC de España (PEPAC), desarrollado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en colaboración con autoridades regionales y locales, y autoridades competentes en materia de medio ambiente y clima. Este incluye las intervenciones o medidas que se llevarán a cabo en España entre los años 2023 y 2027 con el objetivo de dar respuesta a las necesidades de la agricultura española y así alcanzar los objetivos de la PAC. Se espera que su implementación ayude al sector agrario a responder a los retos económicos, sociales y medioambientales a los que se enfrenta.

La nueva PAC presenta un enfoque renovado hacia la sostenibilidad en los cultivos herbáceos extensivos, reconociendo la importancia de promover prácticas agrícolas que sean respetuosas con el medio ambiente, socialmente responsables y económicamente viables. Los eco-regímenes (EERR), son la gran novedad. Estos remuneran a las explotaciones que lleven a cabo prácticas agrícolas y/o ganaderas beneficiosas para el clima y el medioambiente mediante compromisos anuales voluntarios (Tabla 1). La acogida a estos eco-regímenes es voluntaria, es decir, el productor decidirá para qué parcelas de su explotación los solicita o no, y bajo qué prácticas justifica su realización. Toda la superficie elegible de la explotación podrá acogerse a un eco-régimen y las

explotaciones deben estar inscritas en el Registro de Explotaciones Agrarias (REA) o en el Registro General de Explotaciones Ganaderas (REGA).

Para los agricultores que ya están utilizando prácticas sostenibles, los eco-regímenes pueden ser una oportunidad para obtener financiamiento adicional y reconocimiento por sus esfuerzos en la protección del medio ambiente. Sin embargo, para los agricultores que no han implementado prácticas sostenibles anteriormente, su implementación puede requerir una inversión significativa en tiempo y recursos.

Tabla 1: Resumen de los eco-regímenes implantados en la nueva PAC 2023-2027. Fuente: MAPA (2023).

Eco-régimen	**Resumen**	**Prácticas**	**Tipos de superficie**
Agricultura de Carbono	Prácticas que incorporan carbono en el suelo y reducen las emisiones.	Pastoreo intensivo (P1)	Pastos permanentes y pastizales
		Agricultura de conservación (P4)	Cultivos herbáceos
		Cubierta vegetal espontanea (P6)	Cultivos permanentes
		Cubierta inerte (P7)	Cultivos permanentes
Agroecología	Favorece la biodiversidad, los paisajes y la conservación de los recursos naturales	Islas de Biodiversidad o siega sostenible (P2)	Pastos permanentes y pastizales
		Rotaciones de cultivo con especies mejorantes (P3)	Cultivos herbáceos
		Espacios de biodiversidad o gestión de lámina de agua (P5)	Cultivos herbáceos y permanentes. Condiciones específicas para cultivo bajo agua.

Tabla 2: Código de la intervención, opciones de prácticas permitidas para acogerse al eco-régimen e importe unitario planificado. Fuente: MAPA (2023).

Código de Intervención	**Nombre del eco-régimen**	**Prácticas**	**Importe unitario 2023 - 2024**
1PD31001804V1	Agricultura de Carbono y Agroecología | Rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo	Rotación de cultivos con especies mejorantes (P3); Siembra Directa (P4)	85,72 €/ha

Nota: esta tabla recoge los importes correspondientes a la península.

El apoyo a la sostenibilidad en los cultivos herbáceos extensivos en el marco de la nueva PAC es esencial para avanzar hacia una agricultura más sostenible y resiliente. A través de medidas y eco-regímenes específicos, se busca promover prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente, impulsar la eficiencia y la productividad, y garantizar la viabilidad económica de los agricultores. Esta orientación hacia la sostenibilidad es fundamental para abordar los desafíos actuales y construir un futuro agrícola más sostenible para las generaciones venideras.

5. AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

La agricultura de conservación es un sistema de cultivo que busca mantener o mejorar la productividad del suelo a largo plazo, al mismo tiempo que se minimiza el impacto ambiental. Este enfoque ayuda a aprovechar mejor el agua y los nutrientes, lo que a su vez mejora la sostenibilidad y productividad de los cultivos. Se basa en tres principios fundamentales:

- Mínima perturbación del suelo: se trata de reducir al mínimo las prácticas que dañan el suelo, como el laboreo intensivo, y en su lugar utilizar técnicas que no perturben el suelo como la siembra directa o el mínimo laboreo.

- Mantenimiento de una cobertura vegetal permanente: se trata de mantener siempre una cubierta vegetal en la superficie del suelo, ya sea mediante la siembra de cultivos de cobertura o la utilización de residuos de cultivos. Esto ayuda a reducir la erosión del suelo, a mantener la humedad y a aumentar la biodiversidad.

- Rotación de cultivos: se trata de alternar diferentes tipos de cultivos en la misma parcela a lo largo del tiempo. Esto ayuda a prevenir la aparición de plagas y enfermedades específicas de un cultivo y a mejorar la fertilidad del suelo.

"El objetivo de la Agricultura de Conservación (AC) es lograr una agricultura sostenible y rentable, y en consecuencia, dirigida al mejoramiento del sustento de los agricultores mediante la aplicación de los tres principios de la AC: una perturbación mínima del suelo; cobertura permanente del suelo; y la rotación de cultivos" (FAO, 2023).

En contraposición de la agricultura de conservación, la agricultura tradicional ha sido durante mucho tiempo el sistema de manejo agrícola predominante practicado por agricultores en todo el mundo. En este enfoque, se realiza una preparación intensiva del suelo mediante el laboreo, que implica el volteo y la mezcla de las capas del suelo. Esta práctica tiene como objetivos principales eliminar las malas hierbas, preparar el terreno y facilitar la siembra de cultivos.

La agricultura de conservación ha sido ampliamente reconocida como un enfoque sostenible para el manejo agrícola que promueve la conservación del suelo y los recursos naturales. Según Derpsch et al. (2010), la agricultura de conservación se basa en principios como la mínima perturbación del suelo, la cobertura permanente del suelo y la rotación de cultivos. Esta forma de agricultura busca minimizar la erosión del suelo, mejorar la calidad del suelo y reducir el uso de agroquímicos.

El laboreo intensivo en la agricultura tradicional ha sido considerado una herramienta eficaz para controlar las malas hierbas, reducir la competencia por los nutrientes y asegurar un entorno adecuado para el crecimiento de los cultivos. Sin embargo, este proceso puede tener consecuencias negativas en el medio ambiente. Este laboreo expone el suelo a la erosión, ya que la capa superior de suelo fértil queda expuesta a la acción del viento y el agua, lo que puede resultar en la pérdida de nutrientes y la degradación de la estructura del suelo (Govaerts et al., 2009).

Además del laboreo intensivo, la agricultura tradicional emplea un enfoque intensivo de agroquímicos, como fertilizantes y pesticidas, con el objetivo de maximizar la producción agrícola. Estos agroquímicos se utilizan para proporcionar nutrientes a las plantas y proteger los cultivos de plagas y enfermedades. Sin embargo, su uso excesivo puede tener consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud humana. La aplicación en

exceso de fertilizantes puede provocar la contaminación del agua y el uso indiscriminado de pesticidas puede tener efectos perjudiciales en la biodiversidad (Pretty et al., 2003).

La agricultura de conservación es una práctica agrícola que se caracteriza por su enfoque sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Esta forma de agricultura podría ser considerada elegible para formar parte de los eco-regímenes de la nueva PAC, específicamente en la *Práctica 4: Agricultura de conservación*. Dentro de este modelo agrícola, se presta especial atención a dos prácticas fundamentales: la siembra directa y la rotación de cultivos. La práctica de la cobertura vegetal permanente no se aborda específicamente en el análisis. Sin embargo es importante reconocer que es una práctica esencial en la agricultura de conservación y puede ser considerada en conjunto con la siembra directa y la rotación de cultivos para promover sistemas agrícolas sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

4.1. SIEMBRA DIRECTA

La siembra directa se define como "*el establecimiento de un cultivo anual en un terreno que no recibe labor alguna desde la recolección del cultivo hasta la siembra del siguiente; en el que se ha procurado mantener el suelo cubierto mediante la distribución homogénea de los restos del cultivo anterior; con lo que se evita la compactación excesiva por el paso de la maquinaria y el ganado; y habiendo controlado las hierbas previamente a la siembra, mediante la aplicación de dosis reducidas de herbicidas de baja peligrosidad. Las sembradoras han de ir acompañadas de discos cortadores separadores de rastrojos.*" (MAPA, 2021).

Uno de los principales beneficios de la siembra directa es la conservación del suelo. Al evitar el laboreo intensivo, se mantiene la estructura del suelo y se reduce la erosión. La cobertura vegetal constante que se mantiene en el suelo con esta técnica protege contra la erosión hídrica y eólica, mejorando la salud y fertilidad del suelo a largo plazo. La conservación del suelo mediante la siembra directa ha sido ampliamente estudiada y documentada. Según Derpsch et al. (2014), la siembra directa es una práctica que permite reducir la erosión del suelo en comparación con el laboreo intensivo. Además, Navarrete et al. (2012) encontraron que la siembra directa mejora la estructura del suelo y promueve la formación de agregados estables, lo que contribuye a su conservación.

Además, la siembra directa permite ahorrar tiempo y energía. Al no requerir labores previas de preparación del suelo, se reduce el tiempo necesario para la siembra y disminuye el consumo de combustible en maquinaria agrícola. Esto puede ser beneficioso para los agricultores al reducir los costos de producción y aumentar la eficiencia en la siembra de cultivos. Varios estudios respaldan estos beneficios de ahorro de tiempo y energía asociados a la siembra directa. Por ejemplo, Blanco-Canqui y Lal (2009) encontraron que la siembra directa reduce el tiempo requerido para la siembra y el consumo de combustible en comparación con el laboreo convencional.

Otro beneficio importante de la siembra directa es la conservación de la humedad del suelo. La cobertura vegetal dejada en el suelo actúa como una barrera que reduce la evaporación del agua y ayuda a mantener una mayor humedad en el suelo. Esto es especialmente relevante en regiones con condiciones de sequía, ya que contribuye a optimizar el uso del agua y mejorar la disponibilidad hídrica para los cultivos. Kassam et al. (2019) encontraron que la siembra directa ayuda a mantener una mayor humedad en el suelo en comparación con el laboreo intensivo, lo que puede ser beneficioso en áreas con limitaciones de agua.

Además de estos beneficios, la siembra directa también puede favorecer la biodiversidad y el establecimiento de hábitats para organismos. Al promover la conservación del suelo y la cobertura vegetal, se generan condiciones propicias para el desarrollo de lombrices, microorganismos y fauna auxiliar. Esto favorece el equilibrio ecológico y reduce la necesidad de utilizar productos químicos para el control de plagas.

Sin embargo, es importante tener en cuenta también las desventajas de la siembra directa. Uno de los desafíos asociados a esta técnica es el manejo de las malas hierbas. Al no realizar labores de preparación del suelo, puede haber un mayor crecimiento de malas hierbas, especialmente de especies resistentes o difíciles de controlar. Esto puede requerir un manejo más intensivo de las malas hierbas mediante el uso de herbicidas selectivos, técnicas de control integrado y rotaciones de cultivos adecuadas.

Otro aspecto a considerar es la acumulación de residuos de cultivos anteriores en la superficie del suelo. Si no se manejan adecuadamente, estos residuos pueden dificultar la siembra y la emergencia de nuevas plantas. Es importante implementar prácticas adecuadas de manejo de los residuos, como su trituración o incorporación al suelo, para

evitar problemas de interferencia en la siembra y el desarrollo de los cultivos. Blanco-Canqui et al. (2012) encontraron que la trituración de los residuos de cultivos anteriores puede facilitar la siembra y promover un mejor desarrollo de los cultivos en sistemas de siembra directa.

En relación con la nueva PAC, la siembra directa puede ser elegible para recibir incentivos económicos bajo el eco-régimen número 4, que se centra en prácticas agroecológicas y sostenibles. Los agricultores que practican la siembra directa pueden ser elegibles para recibir estos incentivos si cumplen con los requisitos y objetivos específicos establecidos por el programa. Además, la siembra directa puede ayudar a los agricultores a cumplir con otros objetivos de la nueva PAC, como la reducción del uso de productos químicos y el fomento de la biodiversidad.

La siembra directa ha experimentado un crecimiento significativo en España en los últimos años. Según los datos del año 2021, la superficie dedicada a la siembra directa fue de 845.018 hectáreas, lo que representa un aumento del 10% en comparación con el año anterior. Se utiliza principalmente en cultivos herbáceos, y destaca su aplicación en el sector del cereal, con casi 750.000 hectáreas dedicadas a esta técnica. Esto equivale al 12% de la superficie total destinada al cultivo de cereales en España y representa el 89% del uso de la siembra directa en general (Tabla 3).

La distribución geográfica de la siembra directa en España muestra que se ha implantado de manera destacada en la región de Castilla y León (Figura 1). Esta comunidad autónoma es reconocida por su extensa superficie agrícola y su producción cerealista, lo que la convierte en un lugar propicio para la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y eficientes, como la siembra directa.

Tabla 3: Distribución de la siembra directa por cultivos en España (2021). Fuente: ESYRCE (2023)

Cultivos	**Siembra directa**		**Total cultivo**	**SD/Total**
	ha	**%**	**ha**	**%**
Cereales	748.877	88,6	6.082.819	12,3
Girasol	37.497	4,4	644.308	5,8
Maíz forrajero	2.181	0,3	94.615	2,3
Otros forrajes	56.463	6,7	343.282	16,4
TOTAL	**845.018**	**100**	**7.165.023**	**11,8**

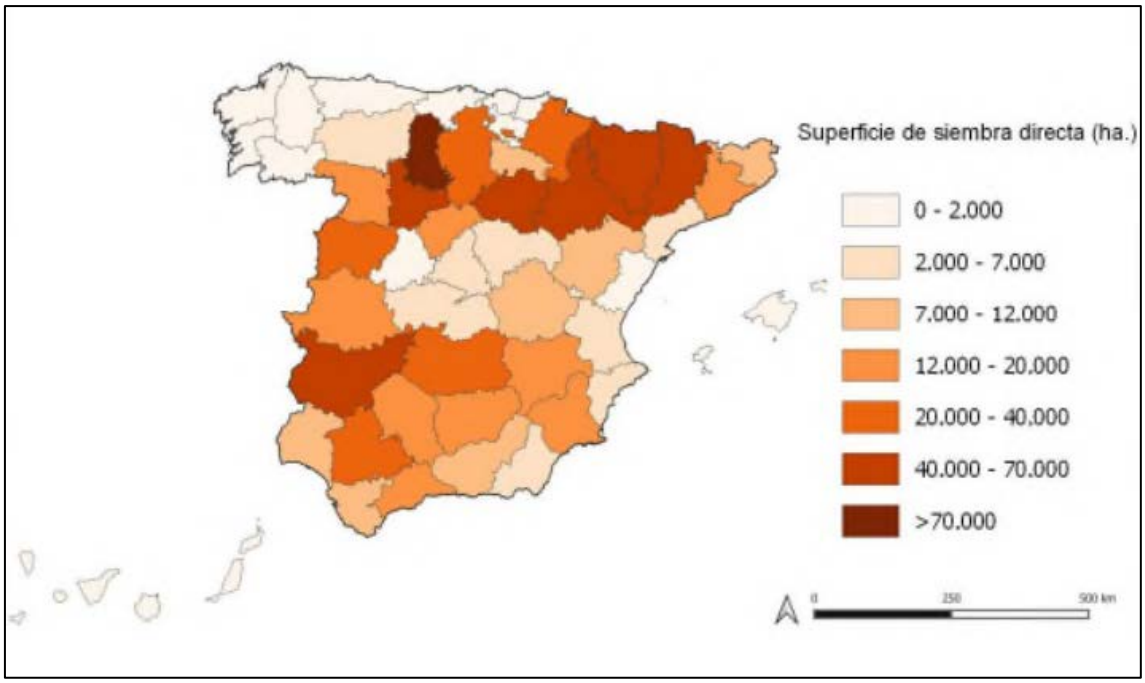


Figura 1: Superficie de siembra directa en España (2021). Fuente: ESYRCE (2023)

Descripción de la práctica de siembra directa (Real Decreto 1048/2022)

Artículo 37. Descripción de la práctica de siembra directa (Real Decreto 1048/2022)

1. Para dar cumplimiento a la práctica de siembra directa, el agricultor deberá cumplir los siguientes requisitos, en al menos un 40 % de la superficie de tierra de cultivo correspondiente a cada tipología de superficie, por la que se solicita dicha práctica:

a) No realizar labores de arado sobre el suelo.

b) Sembrar directamente sobre los rastrojos y mantener éstos sobre el terreno, de manera que el suelo esté cubierto durante todo el año.

c) Llevar a cabo una rotación de cultivos en la superficie en la que se realiza la práctica de siembra directa, exceptuando a la superficie con especies plurianuales, salvo en su año de implantación. Se entiende por rotación el que la parcela, presente cada año un cultivo diferente al cultivo previo, salvo en cultivos plurianuales exceptuado el año de implantación, y todo ello conforme a lo establecido en la BCAM 7, en el anexo II del Real Decreto 1049/2022, de 27 de diciembre. Cuando exista un cultivo secundario en el mismo año que el cultivo

principal, éste se considerará a efectos de la rotación. Las tierras sembradas de leguminosa no podrán ir seguidas en la rotación de cultivos por tierras en barbecho.

2. Excepcionalmente, por causas debidamente justificadas, la autoridad competente, podrá permitir algún tipo de labor vertical según se define en la BCAM 6, en el anexo II del Real Decreto 1049/2022, de 27 de diciembre, siempre y cuando se cumpla con la obligación de mantener el rastrojo sobre el suelo, de manera que éste esté cubierto durante todo el año.

Las comunidades autónomas remitirán al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación dicha información sobre las labores verticales permitidas excepcionalmente con base en el anexo II, relativo a las comunicaciones, del Real Decreto 1047/2022, de 27 de diciembre.

3. Se establece un complemento adicional por llevar a cabo esta práctica en años consecutivos sobre la misma superficie, con el objetivo de favorecer la retención del carbono en el suelo y evitar la emisión de parte de ese carbono a la atmósfera.

4. El complemento tendrá una cuantía fija de 25 euros por hectárea que se sumará al importe de la ayuda calculado.

5. Para la campaña 2023 y en el caso de agricultores que soliciten la ayuda por primera vez en las campañas siguientes, el pago de este complemento quedará condicionado al compromiso de los beneficiarios de realizar la práctica en la misma superficie en la campaña siguiente. En el caso de no cumplir con los compromisos adquiridos en el año siguiente de aplicación, se les detraerá la cuantía de dicho complemento. Para el resto de los casos, el pago del complemento para cada hectárea quedará condicionado a la comprobación de haber realizado la misma práctica en la misma hectárea en la campaña anterior.

6. El pago de este ecorrégimen se realizará en cada una de las tipologías de superficie, sobre la totalidad de la superficie declarada que se acoja a esta práctica y que cumpla las condiciones de elegibilidad.

4.2. CONTROL DE MALAS HIERBAS

El problema de las malas hierbas en la siembra directa es una preocupación común para los agricultores que adoptan esta práctica agrícola. Las malas hierbas son plantas no deseadas que compiten directamente con los cultivos por recursos vitales, como luz solar, agua y nutrientes. Al no realizarse laboreo del suelo, las semillas presentes en la superficie del terreno no son enterradas, lo que les permite germinar y desarrollarse con mayor facilidad.

Uno de los principales problemas que ocasionan las malas hierbas es la reducción del rendimiento de los cultivos. Al competir por los recursos, las malas hierbas pueden afectar negativamente el desarrollo de los cultivos, limitando su crecimiento, el tamaño de las hojas y la formación de frutos. Esto se traduce en una disminución en la cantidad y calidad de la cosecha, lo que representa una pérdida económica para los agricultores.

La competencia entre las malas hierbas y los cultivos ha sido ampliamente estudiada. Por ejemplo, Zimdahl (2013) señala que las malas hierbas pueden reducir significativamente el rendimiento de los cultivos al competir por la luz, los nutrientes y el agua. Además, Oerke (2006) menciona que las malas hierbas pueden afectar negativamente la fotosíntesis y el desarrollo de los órganos reproductivos de los cultivos.

Las malas hierbas también pueden actuar como hospederos de plagas y enfermedades, aumentando el riesgo de problemas fitosanitarios en los cultivos. Esto puede requerir mayor dependencia de herbicidas químicos, lo que conlleva riesgos para el medio ambiente y la salud humana.

La relación entre las malas hierbas y los problemas fitosanitarios ha sido estudiada en diferentes investigaciones. Por ejemplo, Khan et al. (2017) encontraron que las malas hierbas pueden albergar y favorecer la propagación de enfermedades en los cultivos. Además, Zimdahl (2013) menciona que las malas hierbas pueden servir como refugio y fuente de infestación de plagas.

Otro aspecto problemático de las malas hierbas en la siembra directa es su capacidad para desarrollar resistencia a los herbicidas anteriormente mencionados. Esto puede llevar a la necesidad de utilizar herbicidas más fuertes o de recurrir a métodos alternativos de control, lo que implica mayores costos y esfuerzos para los agricultores. Powles and Yu

(2010) resaltan la creciente preocupación por la resistencia de las malas hierbas a los herbicidas y la necesidad de implementar estrategias de manejo integrado para combatir este problema. Además, Heap (2021) mantiene una base de datos mundial de casos de resistencia de malas hierbas a herbicidas, evidenciando la magnitud del problema a nivel global.

Respecto al control de malas hierbas, la agricultura de conservación necesita del uso de herbicidas. Uno de los factores clave para el desarrollo de estas prácticas es la disponibilidad de herbicidas totales no residuales para realizar tratamientos en presiembra del cultivo. Estos tratamientos permiten eliminar los rebrotes del cultivo previo y las malas hierbas presentes en el momento de la siembra. Aunque existen diferentes técnicas de control de malas hierbas, el uso de herbicidas químicos, especialmente el glifosato, se impone por diversas consideraciones técnicas, económicas y comerciales.

El glifosato, sustancia química ampliamente utilizada en los productos fitosanitarios, fue comercializado por primera vez en la década de 1970 bajo el nombre de Roundup, cuya patente estuvo en manos de Monsanto hasta el año 2000. Los productos fitosanitarios a base de glifosato, es decir, las formulaciones que contienen glifosato, coformulantes como los antiespumantes y posiblemente otras sustancias químicas, se utilizan en la agricultura y la horticultura, principalmente para combatir las malas hierbas que compiten con los cultivos (EFSA, 2022).

Gracias a su eficacia, el fácil control de las malas hierbas y su bajo precio se convirtió en uno de los herbicidas más populares en la agricultura, siendo el herbicida más utilizado en todo el mundo para el control de malas hierbas. Según datos de la "*Encuesta de utilización de productos fitosanitarios - Campaña 2019"* (MAPA), el glifosato es el herbicida más utilizado en el cultivo de cebada, frutos secos, girasol, olivar y trigo. Sin embargo, es importante destacar que el uso de herbicidas químicos debe ser responsable y se deben seguir estrictamente las pautas de seguridad recomendadas por las autoridades reguladoras pertinentes para minimizar el impacto ambiental y proteger la salud humana y animal.

En la Unión Europea, el uso del glifosato ha sido objeto de controversia debido a preocupaciones sobre su impacto en la salud humana y el medio ambiente. En marzo de 2015, la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC), organismo

dependiente de la Organización Mundial de la Salud (OMS), clasificó el glifosato como "probablemente cancerígeno para los seres humanos". Esto llevó a la Comisión Europea a renovar la licencia del glifosato por un período limitado de cinco años en 2017, en lugar de los 15 años solicitados por los fabricantes.

En 2019, la UE adoptó una medida para prohibir gradualmente el uso del glifosato en los Estados miembros de la UE, con el objetivo final de prohibir su uso en 2023. Esta medida fue adoptada después de un intenso debate y una votación en el Parlamento Europeo, donde se argumentó que el glifosato tiene un impacto negativo en la biodiversidad y en la salud humana y animal.

El día 2 de diciembre de 2022, la Comisión Europea modifica el Reglamento de Ejecución (UE) n.o 540/2011 por lo que respecta a la ampliación del período de aprobación de la sustancia activa glifosato hasta el 15 de diciembre de 2023. Así lo recoge el Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE) en el Reglamento de Ejecución (UE) 2022/2364.

La prohibición del glifosato no es total, ya que se permite su uso en casos específicos (eliminación de vegetación en carreteras y ferrocarriles, y en la producción de alimentos en invernaderos), pero se espera que tenga un impacto significativo en el uso de herbicidas químicos en la agricultura.

4.3. ALTERNATIVAS AL GLIFOSATO

Como hemos visto anteriormente, el uso del glifosato como herbicida ha sido objeto de controversia debido a sus posibles efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana, por lo que es importante considerar alternativas a su uso para el control de las malas hierbas.

Una de las alternativas al uso del glifosato es adoptar técnicas de control mecánico. El control mecánico de las malas hierbas en cultivos herbáceos es una práctica agronómica que implica el uso de maquinaria y herramientas manuales para eliminar o reducir la presencia de malas hierbas. El objetivo es enterrar, arrancar, fragmentar o cortar las semillas u otros órganos reproductivos así como plantas de malas hierbas presentes en toda la superficie del suelo. Esta opción queda totalmente descartada debido a que no cumple con los requerimientos descritos en el Real Decreto 1048/2022 relativo al eco-

régimen número cuatro asociado a la práctica de siembra directa. Dado que el arado implica una alteración significativa del suelo, podría estar en conflicto con los objetivos del eco-régimen y las políticas de siembra directa establecidas. Por lo tanto, el control mecánico de malas hierbas a través del arado no sería una opción viable en este contexto y quedaría descartado.

La otra alternativa al uso del glifosato es la utilización de herbicidas químicos sustitutivos que utilicen otra sustancia activa diferente al glifosato, aunque puede resultar complicado debido a la eficacia y versatilidad del glifosato como herbicida. Se propone el uso de Diflufenican 40% p/p + Florasulam 2% p/p + Iodosulfuron metil sodio 5% p/p. Se trata de un herbicida específico para el control de malas hierbas gramíneas y dicotiledóneas en aplicaciones de post-emergencia temprana de cereal de invierno y primavera. La combinación de las tres materias activas con modos de acción diferentes produce un incremento del espectro de actividad en comparación con las sustancias activas por separado. La Tabla 4 muestra la comparación entre el glifosato y la alternativa propuesta.

El uso de dichas sustancias activas está autorizado de acuerdo con la *"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"* publicada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación el pasado 30 de marzo de 2023.

Tabla 4: Descripción de los herbicidas. Fuente: Portal TecnoAgrícola

Descripción	**Herbicida de referencia**	**Herbicida alternativo**
Materia activa	Glifosato	Diflufenican 40% p/p + Florasulam 2% p/p + Iodosulfuron metil sodio 5%
Porcentaje	36% (36 g/L)	-
Dosis	1,5 – 6 L/ha	150 – 200 g/ha
Plazo de seguridad	15 – 30 días	2 días
Actuación	Sistémico	Sistémico
Periodo	Post-emergencia	Post-emergencia
Malas hierbas (*)	G y D anuales y perennes	G y D anuales y perennes

* G: Gramíneas y D: Dicotiledóneas

Otra alternativa sería el uso de herbicidas químicos con menor concentración de glifosato. En este escenario, la empresa especializada en la producción y distribución de productos fitosanitarios y nutricionales, Proplan Ciech Group, presentó Halvetic. un herbicida que permite a los agricultores conseguir una significativa reducción de la dosis de materia activa por hectárea. El producto contiene la mitad de sustancia activa (glifosato) que sus homólogos presentes en el mercado pero ofrece los mismos resultados a nivel de eficacia. Esta alternativa únicamente sería factible en el caso de que no se produjera la prohibición definitiva del glifosato como sustancia activa de herbicidas químicos en agricultura, sino que se regulara su uso con el objetivo de reducir su impacto en el medio.

6. ROTACIÓN DE CULTIVOS CON ESPECIES MEJORANTES

Una de las prácticas incentivadas dentro de los eco-regímenes de la nueva PAC 2023-2027 es la rotación de cultivos con especies mejorantes. Esta práctica consiste en alternar diferentes cultivos en una misma parcela, incluyendo entre ellos especies mejorantes que ayudan a mejorar la calidad del suelo y reducir el uso de fertilizantes y otros productos químicos. Las especies mejorantes son plantas que se utilizan para mejorar las características del suelo, aumentar la biodiversidad y la fertilidad, y reducir el uso de productos químicos. Estas plantas se caracterizan por tener un sistema radicular profundo, lo que les permite acceder a nutrientes y agua en las capas más profundas del suelo. También pueden fijar nitrógeno atmosférico en el suelo, lo que mejora la fertilidad del mismo.

Según las previsiones de la PAC, al menos el 10% de la superficie de tierra de cultivo acogida al eco-régimen, estará ocupada por especies mejorantes, de las cuales, las leguminosas deben representar al menos una superficie equivalente al 5% de la superficie acogida al eco-régimen.

La implementación de las rotaciones de cultivo con especies mejorantes en el marco de los eco-regímenes de la nueva PAC presenta tanto beneficios como desafíos significativos. Uno de los beneficios clave de las rotaciones de cultivo con especies mejorantes es la mejora de la calidad del suelo. Cada tipo de cultivo tiene diferentes requerimientos nutricionales y sistemas de raíces, lo que ayuda a evitar la degradación

del suelo y a mantener su fertilidad a largo plazo. Al alternar los cultivos, se pueden aprovechar diferentes nutrientes del suelo, evitando el agotamiento de nutrientes específicos y mejorando la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo. Además, algunos cultivos, como las leguminosas, tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en asociación con bacterias simbióticas, lo que reduce la necesidad de fertilizantes nitrogenados y promueve un ciclo de nutrientes más equilibrado.

La mejora de la calidad del suelo mediante las rotaciones de cultivo ha sido ampliamente estudiada. Lal (2015) destaca que las rotaciones de cultivo pueden mejorar la fertilidad del suelo, su estructura y su capacidad de retención de agua. Por otra parte, Giller et al. (2009) mencionan que las leguminosas en las rotaciones de cultivo contribuyen a la fijación biológica de nitrógeno y aportan beneficios significativos en términos de mejora de la calidad del suelo.

Otro beneficio importante es el control natural de plagas y enfermedades. Al alternar diferentes cultivos, se interrumpe el ciclo de vida de las plagas y enfermedades específicas de cada cultivo, reduciendo su incidencia y minimizando la necesidad de utilizar pesticidas químicos. Además, algunos cultivos pueden actuar como repelentes naturales para ciertas plagas, mientras que otros atraen insectos beneficiosos que controlan a las plagas de manera biológica. Esto contribuye a un manejo más sostenible de los insectos y enfermedades en los sistemas agrícolas. Según Letourneau et al. (2011) las rotaciones de cultivo pueden reducir la incidencia de plagas y enfermedades al interrumpir su ciclo de vida y promover la presencia de enemigos naturales. Además, Bàrberi (2002) menciona que los cultivos intercalados en las rotaciones pueden actuar como repelentes o como trampas para las plagas, contribuyendo al control natural.

La promoción de la biodiversidad es otro beneficio clave. Al cultivar diferentes tipos de cultivos en una secuencia planificada, se crean hábitats más diversos que atraen a una variedad de organismos beneficiosos, como polinizadores y enemigos naturales de las plagas. Esto ayuda a mantener un equilibrio ecológico en el agroecosistema y reduce la dependencia de productos químicos sintéticos. Además, la diversificación de cultivos también puede proporcionar alimento y refugio para aves, mamíferos y otros animales, contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad a nivel de paisaje. Bianchi et al. (2006) y Tscharntke et al. (2012) encontraron que las rotaciones de cultivo aumentan la diversidad y la abundancia de insectos beneficiosos, como depredadores y parasitoides.

A pesar de los beneficios mencionados, la implementación de las rotaciones de cultivo con especies mejorantes también presenta desafíos significativos. Uno de los principales desafíos es la complejidad y la planificación necesaria para establecer secuencias adecuadas de cultivos. Los agricultores deben considerar las características de cada cultivo, como sus necesidades nutricionales, su adaptación al clima local y su compatibilidad con otros cultivos en la secuencia. Esto requiere un conocimiento profundo de los cultivos y de las interacciones entre ellos, así como una planificación cuidadosa para maximizar los beneficios agronómicos y ambientales. Stoddard et al. (2004) proponen un enfoque basado en la matriz de compatibilidad de cultivos para ayudar en la selección de secuencias de cultivos adecuadas.

Descripción de la práctica de rotación de cultivos con especies mejorantes (Real Decreto 1048/2022)

Artículo 36. Descripción de la práctica de rotación de cultivos con especies mejorantes

1. Para dar cumplimiento a la práctica de rotación de cultivos con especies mejorantes, el agricultor deberá cumplir los siguientes requisitos:

a) Que, al menos, el 50 % de la superficie de tierra de cultivo correspondiente presente cada año un cultivo diferente al cultivo previo, conforme a lo establecido en la BCAM 7, en el anexo II del Real Decreto 1049/2022, de 27 de diciembre. Cuando exista un cultivo secundario en el mismo año que el cultivo principal, éste se considerará a efectos de la rotación. Las tierras sembradas de leguminosa no podrán ir seguidas en la rotación de cultivos por tierras en barbecho.

No obstante lo anterior, se permitirá rebajar dicho porcentaje de rotación hasta el 25 % en los siguientes casos:

1.º en las explotaciones con más del 25 % de la tierra de cultivo correspondiente con especies plurianuales.

2.º en aquellas circunstancias justificadas por la autoridad competente, con base en condiciones agroclimáticas adversas que serán comunicadas al Ministerio de Agricultura,

Pesca y Alimentación conforme a lo previsto en el anexo II, relativo a las comunicaciones, del Real Decreto 1047/2022, de 27 de diciembre.

b) Que, como mínimo, el 10 % de la superficie de tierra de cultivo correspondiente, esté ocupada por especies mejorantes de las especificadas en el anexo XV, de las cuales las leguminosas deben representar, al menos, una superficie equivalente al 5 % de la superficie acogida a esa práctica. Se permitirá que la leguminosa no llegue a producción para su utilización como abonado en verde, teniendo que permanecer en el terreno hasta al menos el inicio de floración.

c) Así mismo, el barbecho no podrá representar más del 20 % de la superficie de la tierra de cultivo declarada para el cumplimiento de la práctica del eco-régimen correspondiente, salvo en las comarcas de pluviometría media, conforme a la serie decenal 2011-2020, inferior o igual a 400 milímetros, que figuran en la tabla del anexo XVI. En este caso, y en situaciones de fuerza mayor acreditadas por la autoridad competente de la comunidad autónoma, podrá llegar a representar hasta un máximo del 40 %.

En el caso de contar con barbecho semillado en un 10 % de la tierra de cultivo correspondiente, los límites del barbecho podrán incrementarse en 10 puntos porcentuales.

2. En el caso de que la superficie de la tierra de cultivo declarada para el cumplimiento de la práctica del eco-régimen correspondiente sea menor de 10 hectáreas, la práctica podrá consistir, en la rotación establecida en este eco-régimen sin necesidad de contar con especies mejorantes, o, alternativamente, cumplir con el requisito de diversificación consistente en cultivar, al menos, dos cultivos diferentes sin que el principal suponga más del 75 por ciento de dicha tierra de cultivo, y de conformidad a lo establecido en la BCAM 7, en el anexo II del Real Decreto 1049/2022, de 27 de diciembre. No se exigirá, en este caso, contar con especies mejorantes.

3. La superficie de especies plurianuales será subvencionable a efectos de percepción de la ayuda, pero no se tendrá en cuenta para el cómputo del porcentaje de superficie que rota, excepto la que se implante en el año en cuestión.

Especies mejorantes

Leguminosas: guisante (*Pisum sativum* L.), habas (*Vicia faba* L.), altramuz blanco (*Lupinus albus L.)*, altramuz amarillo (*Lupinus luteus L.*), altramuz azul (*Lupinus angustifolius L.)*, veza o alverja (*Vicia sativa* L.), yeros (*Vicia ervilia* (L.) Willd.), algarrobas (*Vicia monanthos* Desf.), titarros (*Lathyrus cicera* L.), almortas (*Lathyrus sativus* L.), alholva (*Trigonella foenum-graecum* L.), alberjón (*Vicia narbonensis* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), esparceta (*Onobrychis viciifolia Scop.*), zulla (*Hedysarum coronarium* L.), alubia o judía seca *(Phaseolus vulgaris L.)*, judía de lima *(Phaseolus lunatus L.)*, judía escarlata (*Phaseolus coccineus L.)*, caupí o frijol de carilla *(Vigna unguiculata [L.] Walp.)*, garbanzo *(Cicer arietinum L.)*, lenteja *(Lens sculenta Moench, Lens culinaris Moench)*, crotalaria *(Crotalaria juncea L.)*, cacahuete *(Arachis hypogaea L.)*, soja *(Glycine max (L.)*, veza vellosa *(Vicia villosa Roth)*, alverja húngara *(Vicia pannonica L.)*.

Cuando sea una práctica habitual de cultivo, se admitirán mezclas de las especies de leguminosas recogidas en esta lista con otros cultivos herbáceos, siempre que las leguminosas sean el cultivo predominante en la mezcla.

Trébol blanco enano *(Trifolium repens)*, trébol violeta *(Trifolium pratense)*, trébol encarnado *(Trifolium incarnatum L.)*, meliloto amarillo *(Melilotus officinalis)*, serradella *(Ornithopus sativus)*.

Crucíferas o Brasicáceas: rábano (*Raphanus sativus*), rúcula (*Eruca sativa*), colza (*Brassica napus)*, nabo forrajero *(Brassica rapa)*, rábano silvestre *(Raphanus raphanistrum)*, mostaza blanca *(Sinapis alba)*, mostaza negra *(Brassica nigra)*, mostaza castaña *(Brassica juncea)*, mostaza etíope *(Brassica carinata)*, camelina *(Camelina sativa (L.) Crantz)*.

Compuestas o Asteráceas: girasol *(Helianthus annuus L.)*, cártamo *(Carthamus tinctorius L.)*.

Liliáceas*:* ajo *(Allium sativum L.)*

6.1. CASO CONCRETO DE LAS LEGUMINOSAS

En el caso concreto de las leguminosas, este tipo de cultivos tienen requerimientos particulares en términos de temperatura, humedad y composición del suelo. Su éxito y rendimiento pueden variar según la región geográfica y las características locales. Si las condiciones ambientales no son favorables para su crecimiento óptimo, los agricultores podrían enfrentar dificultades para lograr buenos resultados en términos de rendimiento y calidad de los cultivos. Kyei-Boahen et al. (2017) encontraron que las leguminosas, como el frijol, son más sensibles a las bajas temperaturas y pueden experimentar una disminución en el rendimiento cuando se cultivan en condiciones frías. Además, Udawatta et al. (2014) mencionan que la humedad y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo son factores clave que afectan el crecimiento y el rendimiento de las leguminosas.

Además, su implementación requiere que los agricultores adquieran conocimientos especializados y capacitación en esta práctica. Deben estar familiarizados con los aspectos técnicos de cada cultivo y conocer las mejores prácticas de manejo para optimizar los resultados. Es posible que se requiera inversión adicional en maquinaria y equipos específicos, lo que puede representar una barrera económica para algunos agricultores. Jensen et al. (2010) y Lee et al. (2013) mencionan que el éxito de la integración de leguminosas en sistemas agrícolas depende de la capacitación de los agricultores en prácticas de manejo adecuadas.

Por otra parte, la introducción de leguminosas en una rotación de cultivos implica una diversificación en comparación con los sistemas de monocultivo. Esta diversificación puede implicar cambios en los ingresos y la demanda del mercado, lo que puede aumentar la incertidumbre y el riesgo económico para los agricultores. Nemecek et al. (2011) encontraron que la diversificación de cultivos puede reducir el riesgo económico al disminuir la dependencia de un solo cultivo y diversificar los ingresos agrícolas.

La introducción de leguminosas en la rotación de cultivos tanto beneficios como riesgos para los agricultores. Si bien las leguminosas pueden mejorar la calidad del suelo, controlar las plagas de forma natural y promover la biodiversidad, es crucial evaluar el grado de riesgo asociado a esta práctica agrícola en esta región específica. Para evaluar el riesgo de introducir leguminosas en la rotación de cultivos es necesario llevar a cabo un análisis estadístico permitiendo identificar las variables relevantes que podrían influir en el éxito de la introducción de leguminosas en la rotación de cultivos.

7. RESULTADOS

7.1. COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS

Se ha llevado a cabo una comparación de los rendimientos obtenidos en parcelas cultivadas mediante siembra directa (SD) y siembra convencional (SC). La fuente de datos empleada es la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos de España (ESYRCE) del año 2023, que realiza anualmente desde 1990 el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) en colaboración con los Servicios estadísticos de las Comunidades Autónomas. Para ello, se ha utilizado una submuestra de segmentos en la que se recogen datos de rendimiento de cultivos por parcela. Cada parcela ha sido georreferenciada y caracterizada según su tipo de siembra, cultivo y modo de cultivo (secano o regadío). Los rendimientos han sido estimados *in situ* por técnicos experimentados en la medición de cultivos en la zona.

Con el fin de obtener resultados más precisos, sólo se han comparado los rendimientos entre siembra directa y siembra convencional en aquellas parcelas que se encuentran en el mismo segmento, tienen el mismo cultivo y modo de cultivo (secano o regadío). Esto significa que las parcelas comparadas se encuentran muy cercanas unas de otras y presentan mínimas diferencias en términos de suelo, orientación, pluviometría, etc.

La Tabla 5 contiene datos desglosados por cultivos y modos de cultivo (secano y regadío) para los años 2017 a 2021. Se muestra el número de segmentos en los que se midieron parcelas tanto de siembra directa como de siembra convencional, junto con el promedio de las diferencias entre los rendimientos de las parcelas en siembra convencional y los rendimientos de las parcelas de siembra directa.

En cuanto al promedio de las diferencias de rendimiento, se observa cómo no existe una preponderancia clara de ninguno de los sistemas de siembra. Solo la cebada de regadío tuvo un mejor rendimiento en siembra directa que en siembra convencional en cada uno de los cinco años. A pesar de la ausencia de una tendencia clara, los valores totales de los cereales de invierno reflejan que en secano se obtuvieron mejores rendimientos en siembra convencional en cuatro de los cinco años, mientras que en regadío ocurrió lo contrario, con mayores rendimientos en siembra directa en todos los años. Es importante tener en cuenta que la pluviometría de cada campaña tiene una mayor influencia en los rendimientos en secano, lo que provoca una mayor variabilidad en los resultados.

Se proporciona los resultados medios de las diferencias de rendimiento entre siembra convencional y siembra directa en el período 2017-2021. En secano, todos los cereales, excepto el trigo duro, presentan un rendimiento superior en siembra convencional que en siembra directa. En cambio, en regadío, el rendimiento fue mayor en siembra directa en todos los cultivos, excepto en trigo blando y maíz. Es importante destacar que, en comparación con los rendimientos medios de cereales de invierno en secano y regadío, las diferencias de rendimiento detectadas entre siembra convencional y siembra directa son pequeñas (0,6% en secano y -1,4% en regadío). Si bien estos resultados son a escala nacional y es probable que existan diferencias regionales significativas, estas pequeñas diferencias en la productividad respaldan en parte la creciente adopción de la siembra directa.

Con la siembra directa se obtienen casi los mismos ingresos que con la siembra convencional a menor coste. La disminución de costes derivada de la siembra directa puede ser una de las maneras de aumentar el margen de beneficio de la explotación, siempre y cuando se tenga en cuenta el coste de compra de la maquinaria, que hace necesario un elevado número de horas de trabajo al año rentabilizar la inversión, las características de la zona, de la parcela, del tipo de la explotación y de la gestión que se quiera hacer de ésta.

Tabla 5: Comparación de rendimientos de cereales de invierno en siembra convencional (SC) y siembra directa (SD) en parcelas situadas en el en el mismo segmento (2017-2021). Datos en kg/ha. Fuente: ESYRCE (2023).

Tipo de cultivo	**Número segmentos aforados con parcelas en SD y SC**					**Promedio de Diferencias SC-SD (kg/ha)**					**Diferen. medias SC-SD (kg/ha)**	**Rend. Medio SC (kg/ha)**	**Rend. Medio SD (kg/ha)**
	2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021	2017-21	2017-21	2017-21
Secano													
Trigo duro	29	26	23	20	22	66	-135	-23	40	10	-8	2.277	2.285
Trigo blando y semiduro	155	153	168	150	223	-20	8	-8	93	-22	10	3.349	3.339
Cebada de 2 carreras	232	186	206	201	235	19	52	-29	10	63	23	2.957	2.934
Cebada de 6 carreras	11	5	12	13	13	5	187	-25	76	52	59	1.860	1.801
Avena	38	27	28	23	36	-29	73	24	62	27	32	2.066	2.035
Centeno, Triticale	9	12	15	10	16	50	-61	-87	291	-11	36	2.348	2.312
TOTAL CEREAL INVIERNO	474	409	452	417	545	5	24	-19	53	21	17	2.972	2.955
Regadío													
Trigo duro	7	1	7	5	3	-107	0	60	-546	444	-30	4.925	4.955
Trigo blando y semiduro	15	20	39	41	47	9	259	71	-167	97	54	5.144	5.090
Cebada de 2 carreras	26	30	52	59	69	-219	-298	-90	-17	-132	-151	4.990	5.141
Otros	1	5	1	5	0	-125	-400	-267	-198	3.758	3.956	1	5
TOTAL CEREAL INVIERNO	48	52	103	106	124	-131	-72	-20	-104	-37	-73	5.012	5.085
Regadío													
Maíz	12	21	43	50	59	-104	64	-29	307	107	69	12.166	12.097

7.2. ANÁLISIS DE COSTES

En este estudio, se realiza una comparativa de tres itinerarios técnicos para la producción agrícola: la agricultura tradicional, la agricultura de conservación con glifosato y la agricultura de conservación sin glifosato (Tabla 6). Se llevará a cabo un análisis económico que incluirá el coste de los insumos, maquinaria y otros factores asociados a cada una de las alternativas estudiadas.

El objetivo es evaluar los costes asociados a cada una de estas alternativas y determinar cuál es la más viable desde el punto de vista económico. Además, se podrá ofrecer información valiosa a los agricultores que buscan alternativas sostenibles y rentables para su actividad, lo que puede contribuir a la toma de decisiones informadas y a la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Se ha utilizado la base de cálculo proporcionada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) para el cálculo de los costes de operación de cultivos. Esta base de cálculo incluye todas las operaciones agrícolas necesarias para el cultivo, así como sus respectivos costes. De esta manera, se ha podido obtener una estimación precisa de los costes asociados a cada una de las alternativas evaluadas en este estudio.

Además de los costes de operación de cultivos, también se han tenido en cuenta otros costes asociados a la producción agrícola, como el consumo de energía, el uso de fertilizantes, el coste de las semillas y otros insumos. De esta manera, se ha podido obtener una imagen completa y precisa de los costes totales de producción, lo que ha permitido una comparación objetiva de las alternativas evaluadas.

Tabla 6: Comparativa de tres itinerarios técnicos para la producción agrícola.

Itinerario 1	**Itinerario 2**	**Itinerario 3**
Agricultura tradicional	**Agricultura de conservación Con glifosato**	**Agricultura de conservación Sin glifosato**
Arado vertedera	Tratamiento fitosanitario	Tratamiento fitosanitario
Cultivador	Siembra directa	Siembra directa
Abonado de fondo	Abonado de cobertera	Abonado de cobertera
Siembra	Tratamiento fitosanitario	Tratamiento fitosanitario
Tratamiento fitosanitario	Abonado de cobertera	Abonado de cobertera
Abonado de cobertera	-	-

En la Tabla 7 se presentan los costes de utilización de los distintos herbicidas. Es importante destacar que los costes varían según el producto fitosanitario utilizado, por lo que es fundamental hacer un análisis comparativo antes de tomar una decisión de compra.

Tabla 7: Comparación de dosis, precios y costes de los diferentes herbicidas. Fuente: Portal TecnoAgrícola y páginas web de casa comerciales

Características	**Glifosato 36%**	**Diflufenican 40% p/p + Florasulam 2% p/p + Iodosulfuron metil sodio 5%**
Dosis	2,5 L/ha	0,18 kg/ha
Precio	6,5 €/L	178,2 €/kg
Coste (€/ha)	16,25	32,07

En primer lugar, la Tabla 8 muestra el coste de producción de la agricultura tradicional, que asciende a 560 €/ha. Este coste es el más elevado de los tres itinerarios técnicos evaluados, y se debe principalmente al mayor número de labores agrícolas y al mayor desgaste de la maquinaria utilizada.

En segundo lugar, la Tabla 9 indica el coste de producción de la agricultura de conservación con glifosato, que es de 410,4 €/ha. Este coste es significativamente menor que el de la agricultura tradicional, debido a la reducción en el número de labores agrícolas y al menor desgaste de la maquinaria gracias al uso del glifosato.

Por último, la Tabla 10 presenta el coste de producción de la agricultura de conservación sin glifosato, que es de 462,2 €/ha. Este coste es superior al de la agricultura de conservación con glifosato, debido al mayor coste del herbicida alternativo utilizado en este itinerario técnico.

Tabla 8: Costes derivados de la agricultura tradicional.

Costes agricultura tradicional	€/ha	% sobre el total
Total costes directos	**332,6**	**59,3**
Agua	0,0	0,0
Electricidad	0,0	0,0
Fertilizantes	260,3	46,4
Otros suministros	15,8	2,8
Productos fitosanitarios	14,8	2,6
Semillas	41,7	7,4
Total maquinaria	**175,4**	**31,3**
Carburantes y lubricantes	66,8	11,9
Arado vertedera	58,6	10,4
Cultivador	9,9	1,8
Abonado de fondo	4,8	0,8
Siembra	24,6	4,4
Tratamiento fitosanitario	6,0	1,1
Abonado de cobertera	4,8	0,8
Amortizaciones	52,6	9,4
Coste de producción completo	**560,6**	**100,0**

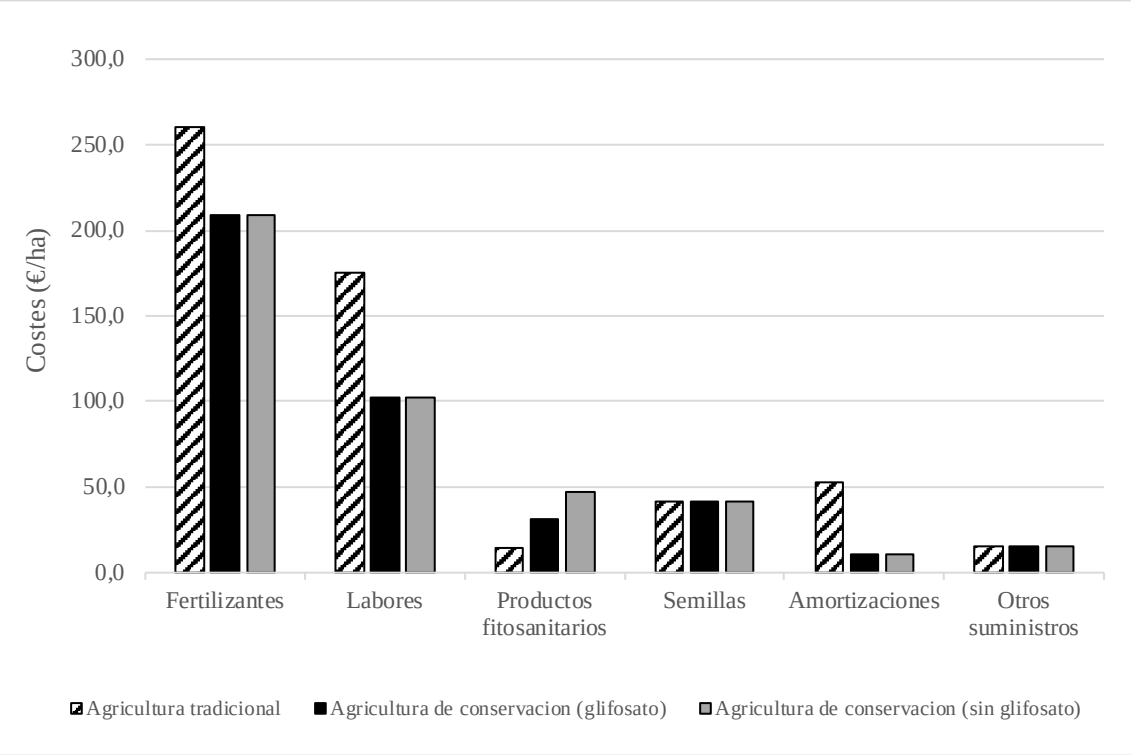
Tabla 9: Costes derivados de la agricultura de conservación (con glifosato).

Costes agricultura de conservación (con glifosato)	€/ha	% sobre el total
Total costes directos	**297,9**	**48,3**
Agua	0,0	0,0
Electricidad	0,0	0,0
Fertilizantes	209,3	51,0
Otros suministros	15,8	3,9
Productos fitosanitarios	31,1	7,6
Semillas	41,7	10,2
Total maquinaria	**102,3**	**24,9**
Carburantes y lubricantes	27,9	6,8
Tratamiento fitosanitario	6,0	1,5
Siembra directa	57,6	14,0
Abonado de cobertera	4,8	1,2
Tratamiento fitosanitario	6,0	1,5
Amortizaciones	**10,2**	**2,5**
Coste de producción completo	**410,4**	**100,0**

Tabla 10: Costes derivados de la agricultura de conservación (sin glifosato).

Costes agricultura de conservación (sin glifosato)	€/ha	% sobre el total
Total costes directos	**313,7**	**73,6**
Agua	0,0	0,0
Electricidad	0,0	0,0
Fertilizantes	209,3	49,1
Otros suministros	15,8	3,7
Productos fitosanitarios	46,9	11,0
Semillas	41,7	9,8
Total maquinaria	**102,3**	**24,0**
Carburantes y lubricantes	27,9	6,6
Tratamiento fitosanitario	6,0	1,4
Siembra directa	57,6	13,5
Abonado de cobertera	4,8	1,1
Tratamiento fitosanitario	6,0	1,4
Amortizaciones	**10,2**	**2,4**
Coste de producción completo	**426,2**	**100,0**

Gráfica 1: Costes derivados de los diferentes sistemas de producción agrícola.



7.3. ANÁLISIS CLIMÁTICO

La adaptación de nuevos cultivos al cambio climático es una preocupación importante en la actualidad debido a los efectos del calentamiento global en la producción de alimentos. Las fluctuaciones climáticas extremas, como las olas de calor, las sequías y las inundaciones, pueden afectar negativamente el rendimiento de los cultivos y la seguridad alimentaria. Para abordar este problema, la PAC promueve la diversificación y la rotación de cultivos para mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a los riesgos climáticos.

La elección de la provincia de Zamora como ubicación para el estudio se basa en varias consideraciones. En primer lugar, Zamora se encuentra en la región de Castilla y León, que es una de las principales zonas agrícolas de España. Esta región tiene una larga tradición agrícola y alberga una variedad de cultivos herbáceos extensivos. Asimismo, Zamora cuenta con una amplia superficie destinada a la agricultura y una diversidad de explotaciones agrícolas. Esto proporciona un contexto adecuado para analizar la viabilidad y el riesgo de establecer un cultivo dentro de los eco-regímenes de la nueva PAC. Otro factor relevante es la importancia económica del sector agrícola en la provincia de Zamora. La agricultura desempeña un papel fundamental en la economía local, generando empleo y contribuyendo al desarrollo rural. Por lo tanto, es crucial contar con información precisa y actualizada que sirva como base para la toma de decisiones en el sector agrícola de la provincia.

Para el estudio climático, se ha elegido la estación de observación meteorológica de Pozuelo de Tábara (Zamora). A partir de los datos climatológicos recogidos durante los últimos veintitrés años, del 2000 al 2023, se realiza el estudio climático. La información para llevarlo a cabo se obtiene del "Sistema de Información Agroclimática para el Regadío" (SiAR). La Tabla 11 muestra los detalles de dicha estación:

Tabla 11: Datos de la estación meteorológica "Pozuelo de Tábara". Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR

Nombre de la estación	**ZA05 Pozuelo de Tábara**	
Provincia	Zamora	
Municipio	Pozuelo de Tábara	
Tipo de observatorio	Completo	
Instrumentos instalados	Termohigrómetro Anemoveleta Piranómetro	Pluviómetro Sensor temperatura suelo Datalogger
Latitud	41° 47′ 8″ N	
Longitud	5° 54′ 32″ O	
Altitud	711 msnm	
Fecha de instalación	01/07/2000	
Estado	Activo	

Temperatura

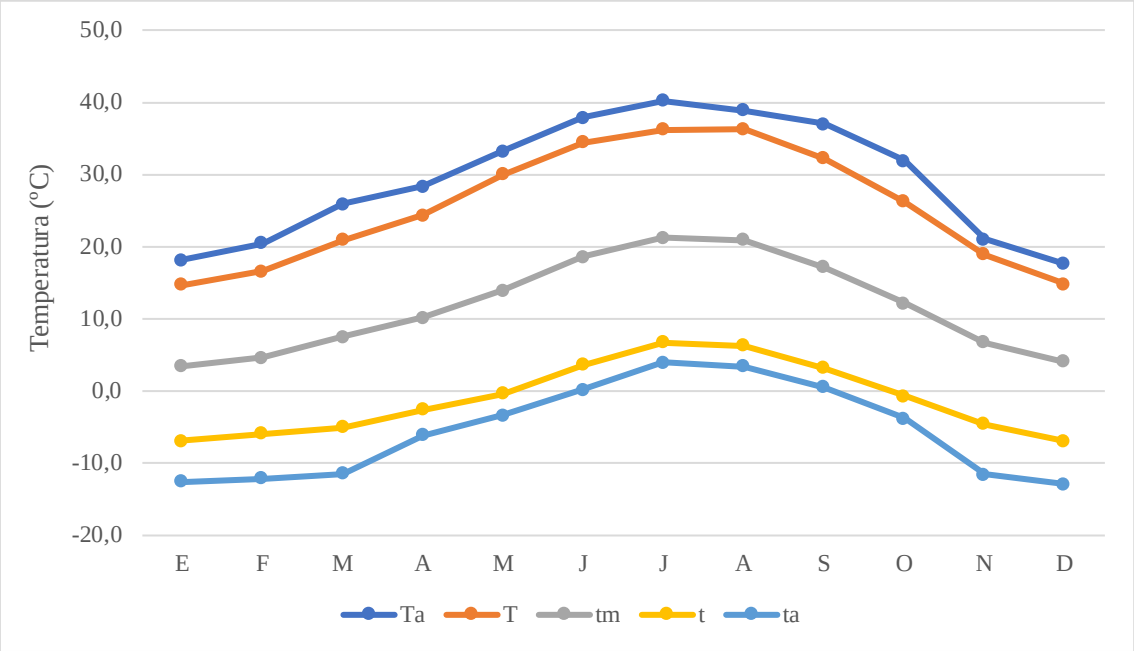
La Tabla 12 resume los valores mensuales de las temperaturas de la zona correspondientes a los últimos años (01/07/2000 - 01/04/2023).

Tabla 12: Datos mensuales de temperatura de la estación de observación meteorológica "Pozuelo de Tábara" (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR

Var (ºC)	**E**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**Año**
Ta	18,2	20,5	25,9	28,4	33,2	37,9	40,2	38,8	37,0	31,9	21,0	17,6	29,2
T	14,7	16,6	20,9	24,3	30,0	34,5	36,2	36,3	32,2	26,2	18,9	14,8	25,5
tm	3,40	4,70	7,50	10,1	13,9	18,6	21,3	20,9	17,2	12,2	6,80	4,10	11,7
t	-6,8	-5,9	-5,0	-2,6	-0,3	3,70	6,70	6,20	3,20	-0,7	-4,5	-6,9	-1,1
ta	-12,6	-12,1	-11,4	-6,1	-3,3	0,20	4,0	3,40	0,6	-3,8	-11,6	-12,9	-5,5

Tabla 13: Definición de las variables de temperatura utilizados.

Término	Significado
T a	Temperatura máxima absoluta
T' a	Media de las temperaturas máximas absolutas
T	Temperatura media de las máximas
t m	Temperatura media mensual
t	Temperatura media de las mínimas
t' a	Media de las temperaturas mínimas absolutas
t a	Temperatura mínima absoluta



Gráfica 2: Variación de la temperatura a lo largo del año de la estación de observación meteorológica "Pozuelo de Tábara" (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR

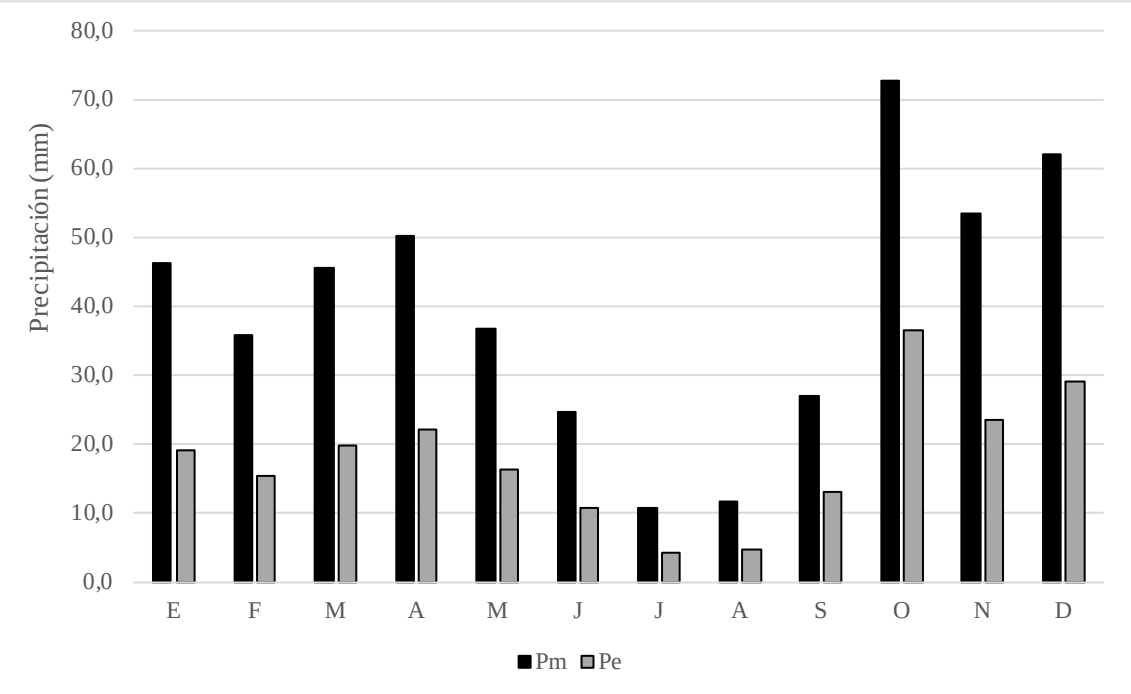
Precipitaciones

La Tabla 14 y la Gráfica 3 muestran las precipitaciones medias mensuales y precipitaciones efectivas en el período desde el año 2001 hasta el año 2023. Pm y Pe corresponde a la precipitación media mensual y efectiva, respectivamente.

Tabla 14: Cuadro resumen de precipitaciones de la estación de observación meteorológica "Pozuelo de Tábara" (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR

Variable	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Pm (mm)	46,3	35,9	45,6	50,2	36,7	24,8	10,9	11,7	26,9	72,8	53,6	62,1	477,7
Pe (mm)	19,1	15,5	19,8	22,1	16,4	10,8	4,4	4,7	13,2	36,7	23,5	29,2	215,3

Gráfica 3: Representación gráfica de precipitaciones de la estación de observación meteorológica "Pozuelo de Tábara" (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR



Los regímenes pluviométricos principales que encontramos son dos, uno con máximas en los meses de otoño y otro mínimo estival. Se obtienen unas precipitaciones medias anuales en torno a los 480 mm. Encontramos un periodo seco en época estival con las menores precipitaciones, en torno a 10 mm de media en los meses de julio y agosto, y dos picos máximos en primavera y otoño.

Tabla 15: Registro de la precipitación total (mm) de la estación de observación meteorológica "Pozuelo de Tábara" (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
2000	-	-	-	-	-	-	23,8	14,6	41,6	49,2	116,4	178,6
2001	82,2	1,4	26,4	1,4	26,4	162,2	9,6	39,4	0,0	18,8	20,4	5,2
2002	82,8	18,4	47,6	25,6	28,0	21,2	2,2	6,2	87,8	59,8	91,4	172,4
2003	83,8	58,6	36,6	52,6	10,0	15,2	12,6	30,4	28,4	181,8	74,0	35,0
2004	24,8	17,4	49,8	27,6	34,2	0,6	6,8	45,8	4,6	75,8	19,6	37,4
2005	7,2	13,8	32,2	43,4	32,8	3,6	2,4	0,2	1,4	155,0	49,2	28,6
2006	34,0	45,0	53,0	63,8	21,2	30,6	22,0	12,2	42,8	139,4	124,6	23,8
2007	19,0	64,8	8,2	64,0	108,6	58,4	2,2	23,0	66,2	26,4	43,8	25,2
2008	48,2	53,8	10,4	100,8	80,2	27,0	23,6	2,0	13,0	47,6	38,0	52,6
2009	54,6	36,8	2,4	40,4	13,0	16,2	2,4	4,4	4,2	74,8	77,2	148,8
2010	89,2	107,2	93,8	56,6	40,8	38,6	0,0	0,4	21,4	56,6	32,2	144,0
2011	58,6	38,8	59,8	35,0	35,0	28,6	3,3	20,7	3,5	29,8	58,5	12,6
2012	12,8	1,4	3,5	45,1	44,7	4,1	22,7	3,7	25,6	104,0	64,0	30,0
2013	54,1	33,9	105,5	45,5	30,2	21,4	30,0	0,2	45,9	101,7	10,8	96,2
2014	74,7	99,4	33,1	26,9	40,7	8,1	13,2	7,7	59,9	59,7	83,0	24,2
2015	24,2	7,4	16,5	31,2	17,9	78,0	2,2	1,8	32,7	117,8	46,3	32,9
2016	155,1	45,3	37,4	164,0	82,4	4,4	0,4	5,1	9,7	48,1	26,5	29,5
2017	24,8	112,9	15,4	8,5	29,6	19,9	6,1	8,5	0,0	8,1	38,0	49,8
2018	31,5	17,9	152,1	41,6	61,2	69,0	10,6	0,2	7,3	25,5	80,0	24,5
2019	20,8	21,4	22,9	64,5	5,7	37,3	32,0	11,7	7,9	49,2	55,2	102,0
2020	18,8	4,1	30,3	91,3	31,9	8,6	10,7	26,4	26,6	98,3	33,6	21,9
2021	32,0	72,0	11,8	71,1	9,4	40,0	2,8	8,3	68,6	36,0	23,5	31,0
2022	2,8	0,8	47,8	42,4	11,2	15,8	0,4	15,7	15,4	75,0	36,5	121,5
2023	29,3	7,0	17,8	2,6	-	-	-	-	-	-	-	-

Histograma de precipitaciones

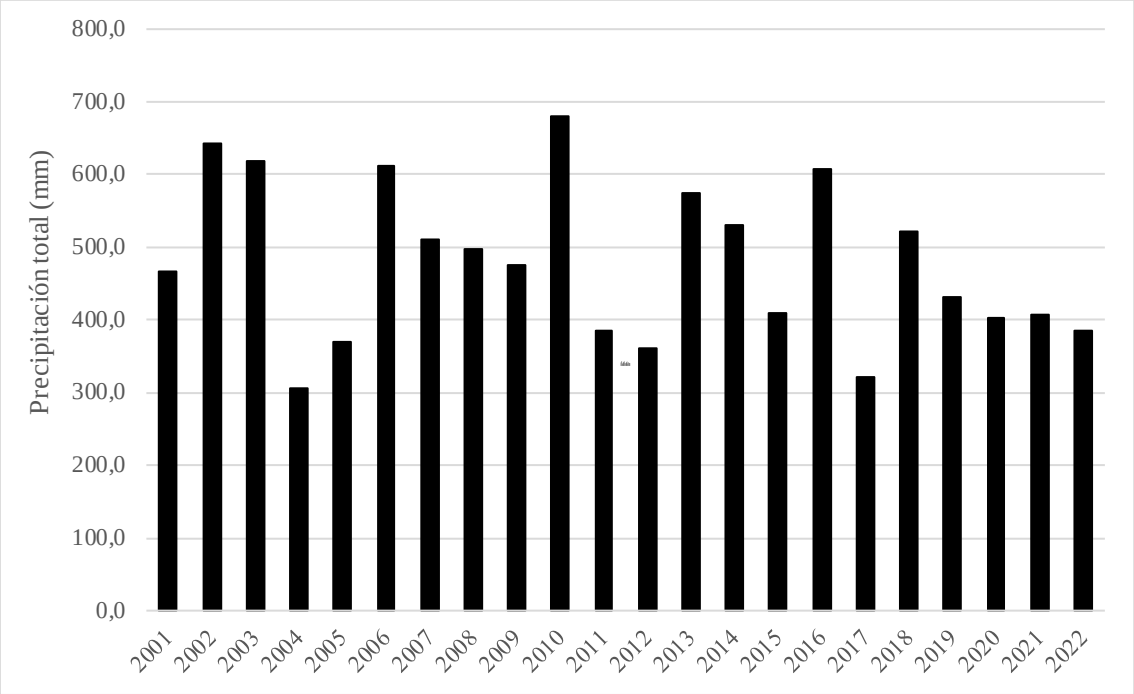
El histograma de precipitaciones consiste en una representación gráfica de las frecuencias de distintos rangos de precipitaciones anuales. Para ello se utilizarán los datos de las precipitaciones medias obtenidas y la suma de estas para cada uno de los años desde el año 2001 hasta el año 2023 (Tabla 16). Se observa que la totalidad de los años estudiados sobrepasan los 300 mm de precipitación. Además, existen años en los que la precipitación se sitúa en valores superiores a los 600 mm.

Tabla 16: Precipitaciones totales de la estación de observación meteorológica "Pozuelo de Tábara" (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR

Año	Precipitación total (mm)
2000	-
2001	465,60
2002	643,40
2003	619,00
2004	307,00
2005	369,80
2006	612,40
2007	509,80
2008	497,20
2009	475,20
2010	680,80
2011	384,13
2012	361,41
2013	575,28
2014	530,52
2015	408,96
2016	607,80
2017	321,57
2018	521,20
2019	430,63
2020	402,31
2021	406,54
2022	385,34
2023	-

Tabla 17: Frecuencia de precipitaciones de la estación de observación meteorológica "Pozuelo de Tábara" (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR

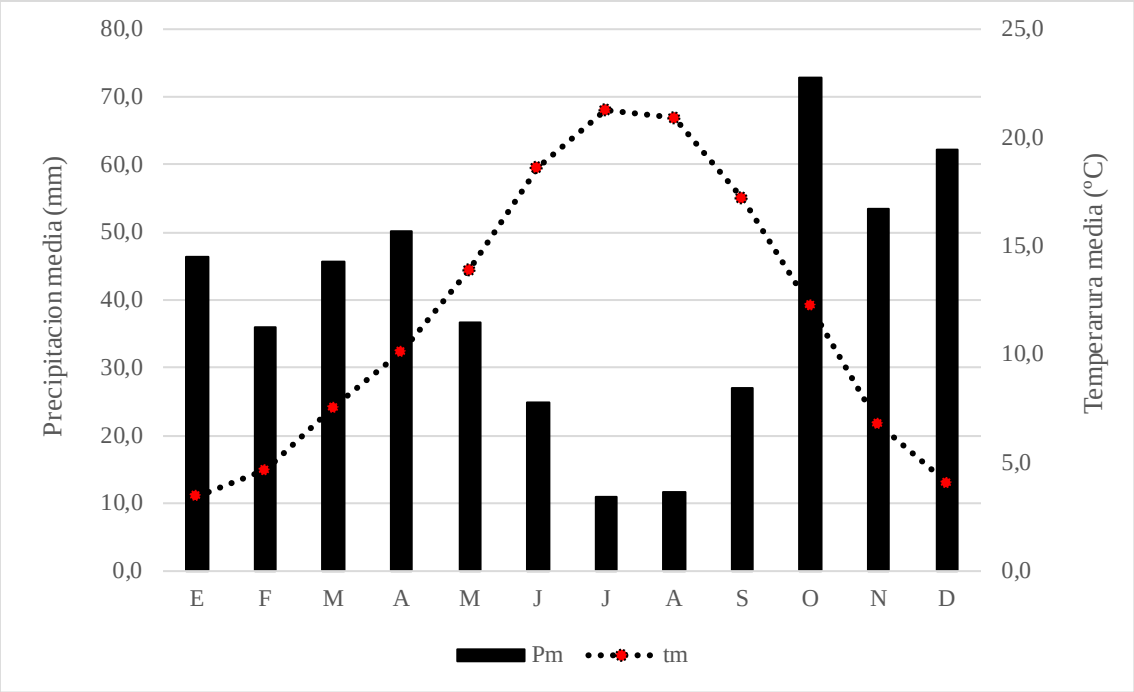
Intervalo precipitaciones (mm)	Número de años
0-100	0
100-200	0
200-300	0
300-400	6
400-500	7
500-600	4
600-700	5



Gráfica 4: Histograma de frecuencias de precipitaciones de la estación de observación meteorológica "Pozuelo de Tábara" (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR

Diagrama ombrotérmico de gaussen

El diagrama ombrotérmico de Gaussen (Gráfica 5) es una herramienta gráfica utilizada en climatología para representar la distribución de la precipitación a lo largo del año y la variación de la temperatura media mensual.



Gráfica 5: Diagrama ombrotérmico de la estación de observación meteorológica "Pozuelo de Tábara" (2001 – 2023). Fuente: Red de estaciones meteorológicas del SiAR

7.4. ANÁLISIS DE RIESGOS

A la hora de establecer un cultivo, es imprescindible realizar un análisis estadístico de los riesgos asociados. El presente estudio se enfoca en analizar la viabilidad y el riesgo de establecer un cultivo específico clasificado como "especie mejorante" dentro de los eco-regímenes de la nueva Política Agrícola Común (PAC).

El análisis estadístico de la siniestralidad causada por la sequía en la provincia de Zamora se lleva a cabo en tres zonas diferentes: Duero Bajo, Benavente y los Valles, y Campos de Pan. El análisis estadístico se basa en los datos proporcionados por AGROSEGURO, que incluyen información sobre la superficie asegurada, el valor de producción, la producción real, la prima de riesgo y la siniestralidad registrada en cada año para cada zona específica. El objetivo es utilizar estos datos para obtener una visión detallada de la siniestralidad causada por la sequía y su impacto en el cultivo clasificado como "especie mejorante" en las tres zonas mencionadas.

Los resultados de este análisis estadístico serán fundamentales para la toma de decisiones en el sector agrícola de la provincia de Zamora. Los agricultores podrán utilizar esta información para evaluar los riesgos y beneficios de establecer el cultivo clasificado como

"especie mejorante". Asimismo, los organismos reguladores y otros actores involucrados en la política agrícola podrán utilizar estos resultados para diseñar estrategias de mitigación y apoyo a los agricultores en la gestión de la sequía y los riesgos asociados.

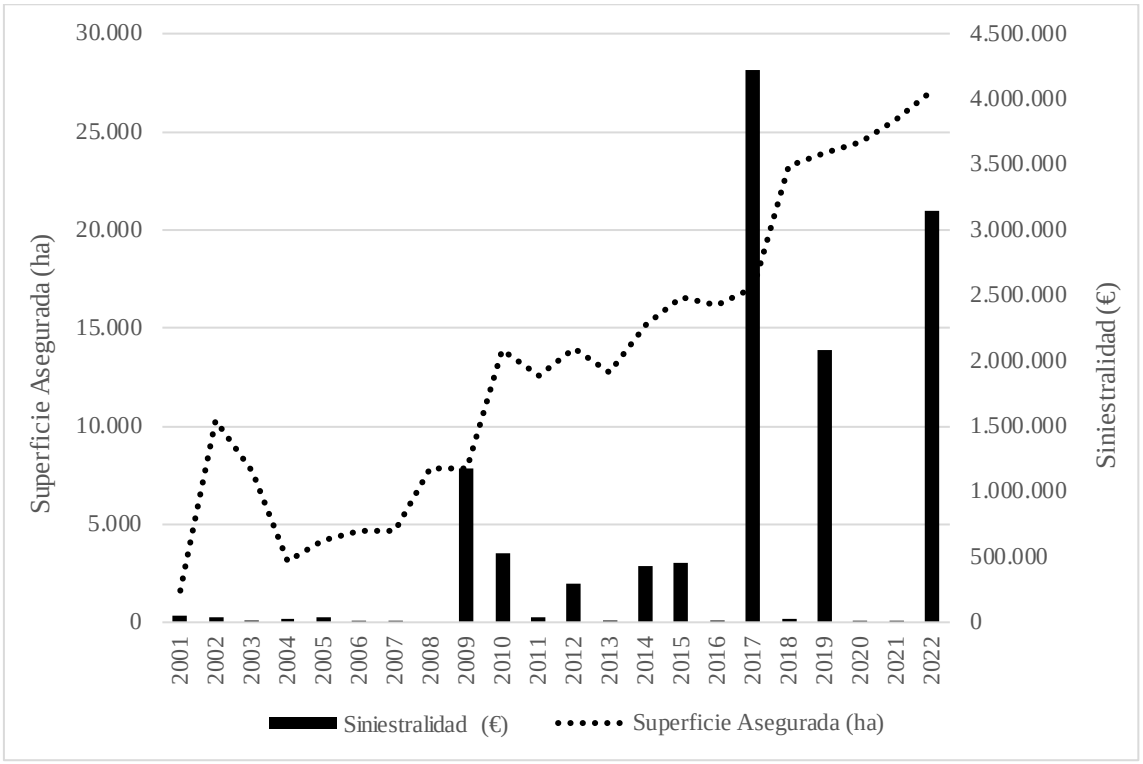
7.4.1. Superficie asegurada

El presente informe tiene como objetivo analizar las tendencias de superficie asegurada por hectárea y siniestrabilidad en la provincia de Zamora. Estos datos son de relevancia para comprender la evolución y los riesgos asociados a la actividad agrícola en la región. El análisis se basa en la información de siniestralidad provocada por la sequía entre los años 2001 y 2022, en tres zonas de estudio clave: Campos de Pan, Duero Bajo y Benavente y los Valles.

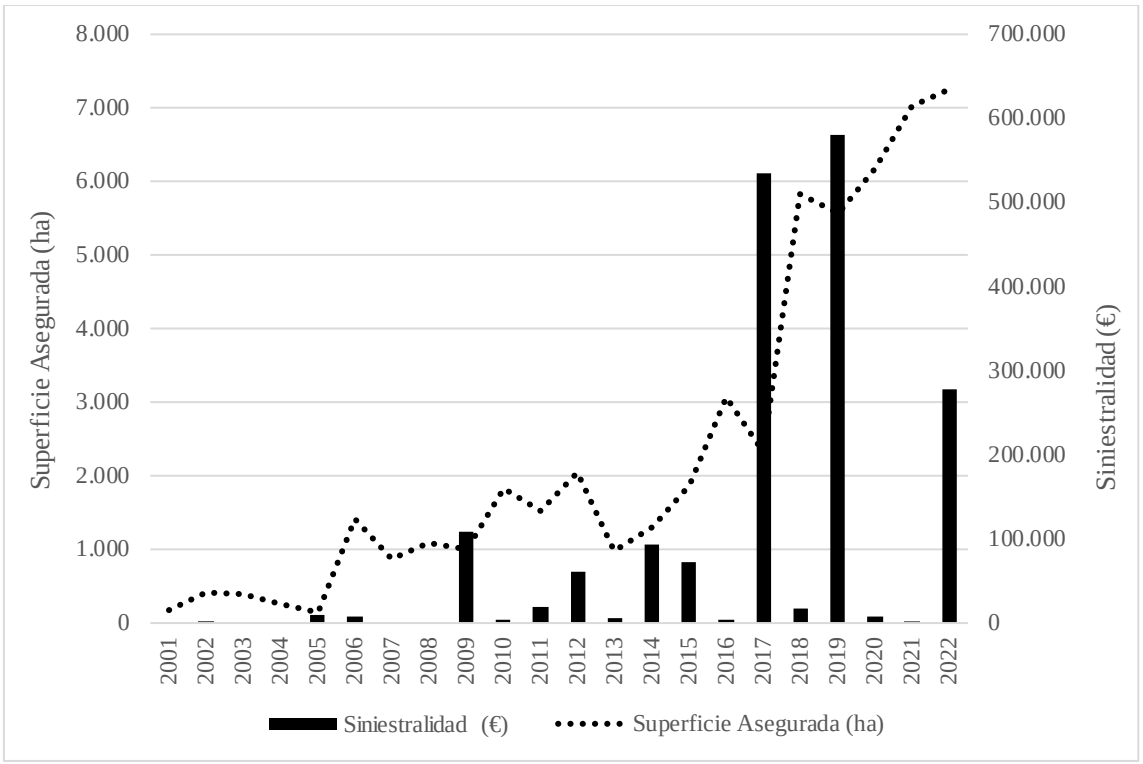
La zona de Campos de Pan se caracteriza por su rica tradición agrícola y su paisaje dominado por extensas llanuras. Esta región ha sido históricamente conocida por su producción de cereales, especialmente trigo y cebada. Por otro lado, la zona de Duero Bajo abarca una amplia extensión a lo largo del curso del río Duero. Esta región se caracteriza por su terreno ondulado y su clima continental con influencias atlánticas. La agricultura desempeña un papel importante en esta zona, con cultivos como la vid, el olivo y los cereales. Por último, la zona de Benavente y los Valles se encuentra ubicada en el noroeste de la provincia de Zamora. Esta región se caracteriza por su relieve montañoso y sus fértiles valles fluviales. La agricultura desempeña un papel importante en la economía local, con cultivos como maíz, remolacha y patata.

La sequía es un fenómeno climático crítico que puede tener un impacto devastador en los cultivos herbáceos en secano, ya que estos dependen principalmente de las condiciones de humedad del suelo y de las precipitaciones naturales. Durante el período comprendido entre los años 2001 y 2022, se han recopilado datos detallados de siniestralidad relacionada con la sequía en estas tres zonas de estudio. Estos datos son fundamentales para analizar las tendencias y patrones observados, identificar los años con una mayor incidencia de sequía y comprender cómo esta afecta la superficie asegurada por hectárea en cada una de las zonas.

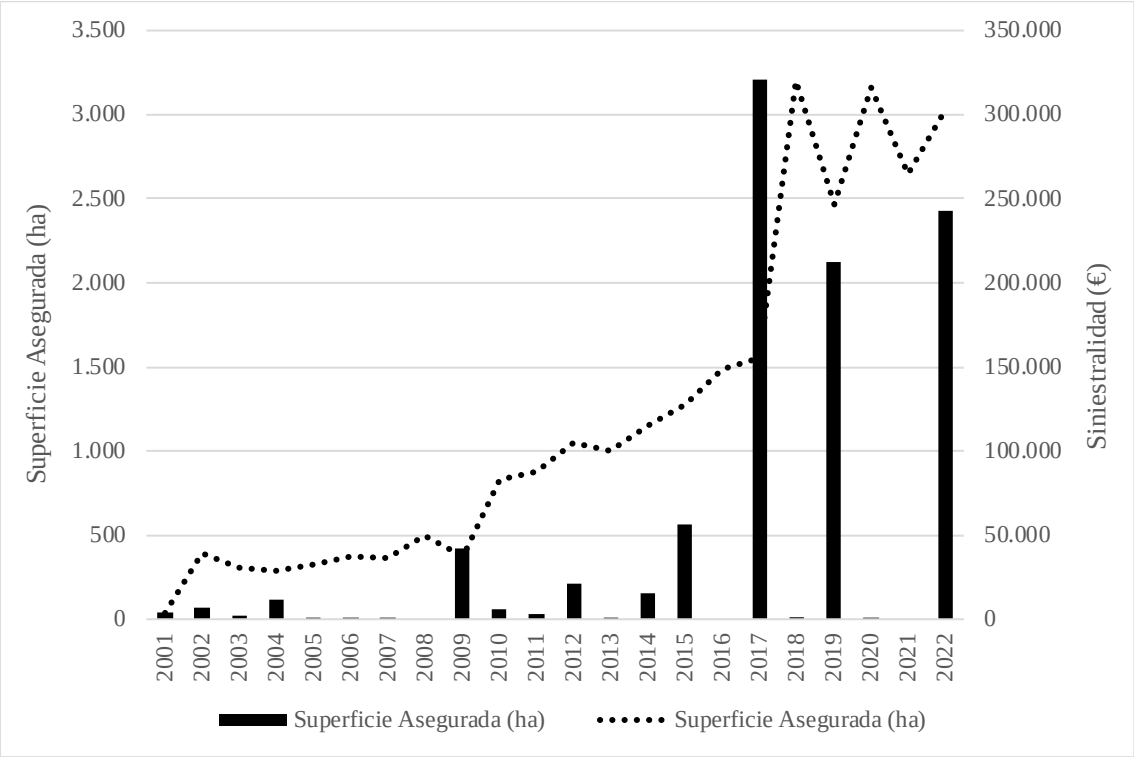
Gráfica 6: Análisis de la siniestralidad (€) y la superficie asegurada (ha) en Campos de Pan (Zamora)



Gráfica 7: Análisis de la siniestralidad (€) y la superficie asegurada (ha) en Duero Bajo (Zamora)



Gráfica 8: Análisis de la siniestralidad (€) y la superficie asegurada (ha) en Benavente y los Valles (Zamora)



7.4.2. Comparativa de rendimientos y siniestralidad

La comparativa de rendimientos y siniestralidad de los cultivos es un análisis fundamental en el ámbito agrícola que busca evaluar y comprender las variaciones en la producción agrícola y los factores que pueden afectarla. En este contexto, la comparativa de rendimientos y siniestralidad de los cultivos se convierte en una herramienta valiosa para evaluar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas frente a los riesgos y las condiciones climáticas cambiantes. Al analizar y comparar los rendimientos de diferentes cultivos en distintas campañas agrícolas, es posible identificar patrones y tendencias que permitan comprender mejor los factores que influyen en la productividad y la resiliencia de los cultivos.

Además, al considerar la siniestralidad agrícola en conjunto con los rendimientos, se pueden obtener conclusiones más sólidas sobre la relación entre eventos adversos y la productividad agrícola. Esto puede ayudar a los agricultores, investigadores y responsables de políticas a tomar decisiones más informadas para la gestión de riesgos, la planificación de cultivos y el desarrollo de estrategias de adaptación.

Tabla 18: Datos de aseguramiento agrícola en Campos de Pan (Zamora) entre los años 2001 y 2022. Fuente: AGROSEGURO

Año	Superficie Asegurada (ha)	Valor Producción (€)	Producción (kg)	Prima Riesgo (€)	Siniestralidad (€)	Siniestralidad / Prima Riesgo (%)	Siniestralidad / Valor Producción (%)
2001	1.614	526.196	5.148.712	12.937	51.585	398,74%	9,80%
2002	10.289	3.236.465	31.714.601	85.482	33.164	38,80%	1,02%
2003	7.716	2.858.095	23.811.062	81.193	15.324	18,87%	0,54%
2004	3.151	1.051.373	9.141.633	32.459	31.286	96,39%	2,98%
2005	4.206	1.462.495	12.178.320	46.748	41.009	87,72%	2,80%
2006	4.624	1.611.014	13.427.752	48.197	4.864	10,09%	0,30%
2007	4.664	1.668.197	13.902.834	44.631	5.356	12,00%	0,32%
2008	7.835	4.618.773	23.090.422	122.494	0	0,00%	0,00%
2009	7.864	4.673.612	23.624.623	120.623	1.179.409	977,76%	25,24%
2010	13.897	7.739.839	40.745.797	234.095	533.818	228,03%	6,90%
2011	12.533	7.189.303	37.867.826	298.130	37.950	12,73%	0,53%
2012	13.919	7.898.992	41.523.173	311.476	300.427	96,45%	3,80%
2013	12.722	7.280.288	38.464.551	277.620	16.996	6,12%	0,23%
2014	15.209	8.487.449	45.025.392	267.385	434.439	162,48%	5,12%
2015	16.536	9.171.325	48.747.237	284.472	458.861	161,30%	5,00%
2016	16.185	9.774.174	51.719.065	320.048	14.880	4,65%	0,15%
2017	17.040	10.271.338	54.112.414	339.477	4.221.230	1.243,45%	41,10%
2018	23.213	13.320.689	73.440.940	441.428	30.584	6,93%	0,23%
2019	23.936	13.876.553	76.057.759	454.770	2.083.672	458,18%	15,02%
2020	24.468	13.247.981	72.809.938	411.220	2.511	0,61%	0,02%
2021	25.616	13.928.064	76.790.878	428.263	2.823	0,66%	0,02%
2022	27.079	16.423.143	85.796.654	609.999	3.147.284	515,95%	19,16%

Tabla 19: Datos de aseguramiento agrícola en Duero Bajo (Zamora) entre los años 2001 y 2022. Fuente: AGROSEGURO

Año	Superficie Asegurada (ha)	Valor Producción (€)	Producción (kg)	Prima Riesgo (€)	Siniestralidad (€)	Siniestralidad / Prima Riesgo (%)	Siniestralidad / Valor Producción (%)
2001	175	47.134	461.193	967	0	0,00%	0,00%
2002	424	110.754	1.083.707	2.433	2.191	90,06%	1,98%
2003	395	107.347	894.557	2.614	0	0,00%	0,00%
2004	269	70.985	617.259	1.781	0	0,00%	0,00%
2005	143	42.165	351.376	1.124	9.259	823,69%	21,96%
2006	1.405	382.510	3.175.533	9.847	7.182	72,94%	1,88%
2007	865	235.230	1.952.550	4.655	0	0,00%	0,00%
2008	1.093	522.185	2.611.742	11.730	0	0,00%	0,00%
2009	996	479.766	2.397.940	11.471	108.945	949,78%	22,71%
2010	1.819	826.591	4.356.984	21.509	4.841	22,51%	0,59%
2011	1.519	716.679	3.819.936	27.025	20.058	74,22%	2,80%
2012	2.046	960.876	5.057.240	34.107	60.731	178,06%	6,32%
2013	975	449.420	2.374.027	16.444	5.825	35,42%	1,30%
2014	1.307	583.418	3.077.232	17.796	92.802	521,46%	15,91%
2015	1.861	833.898	4.456.190	24.781	71.484	288,46%	8,57%
2016	3.077	1.529.727	8.069.050	47.308	4.744	10,03%	0,31%
2017	2.334	1.194.234	6.152.950	35.553	534.637	1.503,77%	44,77%
2018	5.832	2.864.595	15.813.283	83.097	16.838	20,26%	0,59%
2019	5.569	2.715.915	15.087.844	78.122	579.779	742,15%	21,35%
2020	6.185	2.875.921	16.019.755	73.303	8.357	11,40%	0,29%
2021	7.028	3.272.321	18.229.505	83.408	118	0,14%	0,00%
2022	7.253	3.602.889	18.971.026	104.835	277.291	264,50%	7,70%

Tabla 20: Datos de aseguramiento agrícola en Benavente y los Valles (Zamora) entre los años 2001 y 2022. Fuente: AGROSEGURO

Año	Superficie Asegurada (ha)	Valor Producción (€)	Producción (kg)	Prima Riesgo (€)	Siniestralidad (€)	Siniestralidad / Prima Riesgo (%)	Siniestralidad / Valor Producción (%)
2001	36	12.960	126.809	394	4.028	1.021,55%	31,08%
2002	391	121.989	1.193.642	3.965	6.776	170,88%	5,55%
2003	311	97.937	816.145	3.288	2.241	68,15%	2,29%
2004	285	90.417	786.562	3.543	11.390	321,52%	12,60%
2005	322	97.923	816.022	3.978	614	15,43%	0,63%
2006	374	104.131	866.893	4.216	895	21,23%	0,86%
2007	363	108.790	907.010	3.712	299	8,07%	0,28%
2008	495	238.589	1.192.944	8.164	0	0,00%	0,00%
2009	372	189.745	949.984	5.946	41.631	700,12%	21,94%
2010	832	386.190	2.033.275	12.344	6.163	49,93%	1,60%
2011	879	447.045	2.360.155	18.032	3.482	19,31%	0,78%
2012	1.048	515.099	2.744.986	18.896	21.561	114,11%	4,19%
2013	998	447.107	2.488.820	16.870	236	1,40%	0,05%
2014	1.152	483.394	2.731.897	12.535	15.516	123,78%	3,21%
2015	1.276	558.834	3.051.321	14.298	56.276	393,59%	10,07%
2016	1.482	719.093	3.859.905	17.318	0	0,00%	0,00%
2017	1.557	792.849	4.199.022	20.576	320.739	1.558,77%	40,45%
2018	3.201	1.527.645	8.544.299	40.219	1.304	3,24%	0,09%
2019	2.470	1.162.053	6.536.544	29.376	212.676	723,97%	18,30%
2020	3.158	1.455.943	8.169.334	35.987	288	0,80%	0,02%
2021	2.648	1.259.026	7.060.543	30.881	0	0,00%	0,00%
2022	3.024	1.590.259	8.403.134	44.712	242.668	542,73%	15,26%

La Tabla 22 muestra los niveles de siniestrabilidad en tres zonas de estudio en la provincia de Zamora: Campos de Pan, Duero Bajo y Benavente y los Valles. Cada nivel representa la intensidad de la siniestrabilidad en cada zona, y los valores numéricos indican la cantidad de casos registrados en cada nivel. En general, las tres zonas de estudio presentan niveles variados de siniestrabilidad, con una distribución que abarca desde "muy bajo" hasta "muy alto". Basándonos en los datos de la tabla, se puede observar que las tres zonas de estudio presentan niveles de siniestrabilidad similares. Aunque hay algunas variaciones en los números exactos, los patrones generales son bastante comparables entre las zonas.

Tabla 21: Distribución percentil de zonas agrícolas en Zamora, España (1999-2021).

Percentil	**Campos del Pan**	**Duero Bajo**	**Benavente y los Valles**
10	0,019%	0,000%	0,000%
40	0,530%	0,586%	0,795%
70	5,296%	7,784%	10,323%
90	23,414%	22,483%	28,339%

Tabla 22: Niveles de siniestralidad por zonas agrícolas en Zamora, España (1999-2021). Fuente: AGROSEGURO

Año	**Campos del Pan**		**Duero Bajo**		**Benavente y los Valles**	
	Sin/VP	**Nivel de siniestralidad**	**Sin/VP**	**Nivel de siniestralidad**	**Sin/VP**	**Nivel de siniestralidad**
2001	9,80%	Alto	0,00%	Muy bajo	31,08%	Muy alto
2002	1,02%	Medio	1,98%	Medio	5,55%	Medio
2003	0,54%	Medio	0,00%	Muy bajo	2,29%	Medio
2004	2,98%	Medio	0,00%	Muy bajo	12,60%	Alto
2005	2,80%	Medio	21,96%	Alto	0,63%	Bajo
2006	0,30%	Bajo	1,88%	Medio	0,86%	Medio
2007	0,32%	Bajo	0,00%	Muy bajo	0,28%	Bajo
2008	0,00%	Muy bajo	0,00%	Muy bajo	0,00%	Muy bajo
2009	25,24%	Muy alto	22,71%	Muy alto	21,94%	Alto
2010	6,90%	Alto	0,59%	Bajo	1,60%	Medio
2011	0,53%	Bajo	2,80%	Medio	0,78%	Bajo
2012	3,80%	Medio	6,32%	Medio	4,19%	Medio
2013	0,23%	Bajo	1,30%	Medio	0,05%	Bajo
2014	5,12%	Medio	15,91%	Alto	3,21%	Medio
2015	5,00%	Medio	8,57%	Alto	10,07%	Medio

Año	Campos del Pan		Duero Bajo		Benavente y los Valles	
	Sin/VP	Nivel de siniestralidad	Sin/VP	Nivel de siniestralidad	Sin/VP	Nivel de siniestralidad
2016	0,15%	Bajo	0,31%	Bajo	0,00%	Muy bajo
2017	41,10%	Muy alto	44,77%	Muy alto	40,45%	Muy alto
2018	0,23%	Bajo	0,59%	Medio	0,09%	Bajo
2019	15,02%	Alto	21,35%	Alto	18,30%	Alto
2020	0,02%	Muy bajo	0,29%	Bajo	0,02%	Bajo
2021	0,02%	Bajo	0,00%	Bajo	0,00%	Muy bajo
2022	19,16%	Alto	7,70%	Medio	15,26%	Alto

Sin: Siniestralidad (€) // VP: Valor Producción (€)

Tabla 23: Frecuencia de niveles de siniestralidad por zonas agrícolas en Zamora, España. Fuente: AGROSEGURO

Nivel	Campos del Pan	Duero Bajo	Benavente y los Valles
Muy bajo	2	5	3
Bajo	7	4	6
Medio	7	7	7
Alto	4	4	4
Muy alto	2	2	2

La Tabla 24 muestra los datos de producción en kilogramos por hectárea de diferentes cultivos agrícolas en varios años, desde 1999 hasta 2021. Los cultivos incluidos en la tabla son Altramuz, Garbanzos, Guisantes secos, Lentejas, Otras leguminosas, Veza, Yeros, Cebada, Trigo, Girasol, Avena, Centeno y Colza. Estos cultivos representan una variedad de productos agrícolas que se cultivan en la provincia de Zamora. Cada uno de ellos tiene diferentes características y requisitos de cultivo.

Al analizar los datos de producción por hectárea en la tabla, es posible identificar tendencias y patrones en la productividad de los cultivos a lo largo de los años. Este análisis de los datos de producción agrícola puede ser útil para evaluar el desempeño de los cultivos en la provincia de Zamora, identificar cultivos que son más exitosos en términos de rendimiento.

Tabla 24: Rendimiento secano (kg/ha) por año en Zamora, España (1999-2021). Fuente: Datos de estadísticas agrarias, ganaderas y pesqueras del Anuario de Estadística, así como los resultados de la Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE).

Año	Altramuz	Garbanzos	Guisantes secos	Lentejas	Otras leguminosas	Veza	Yeros	Cebada	Trigo	Girasol	Avena	Centeno	Colza
	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
1999	798,10	798,10	798,10	798,10	798,10	798,10	798,10	2.211,00	2.403,00	125,00	1.456,00	992,00	548,00
2000	944,60	944,60	944,60	944,60	944,60	944,60	944,60	3.063,00	3.280,00	143,00	1.900,00	1.200,00	1.000,00
2001	506,40	506,40	506,40	506,40	506,40	506,40	506,40	1.285,00	1.830,00	690,00	1.100,00	860,00	1.000,00
2002	807,50	807,50	807,50	807,50	807,50	807,50	807,50	2.524,00	2.388,00	1.050,00	1.310,00	1.100,00	1.000,00
2003	750,50	750,50	750,50	750,50	750,50	750,50	750,50	2.086,00	2.287,00	800,00	1.000,00	1.100,00	1.000,00
2004	794,00	794,00	794,00	794,00	794,00	794,00	794,00	2.480,00	2.142,00	950,00	1.600,00	1.450,00	1.000,00
2005	220,90	220,90	220,90	220,90	220,90	220,90	220,90	1.700,00	1.390,00	300,00	1.200,00	900,00	1.000,00
2006	850,10	850,10	850,10	850,10	850,10	850,10	850,10	2.600,00	2.390,00	800,00	1.800,00	1.200,00	1.000,00
2007	936,70	936,70	936,70	936,70	-	936,70	936,70	3.020,00	3.084,00	1.200,00	2.100,00	1.000,00	1.100,00
2008	925,70	925,70	925,70	925,70	-	925,70	925,70	4.300,00	4.000,00	1.100,00	3.000,00	2.500,00	2.000,00
2009	369,20	369,20	369,20	369,20	369,20	369,20	369,20	900,00	1.054,00	450,00	600,00	800,00	500,00
2010	595,30	595,30	595,30	595,30	595,30	595,30	595,30	2.110,00	1.999,00	1.000,00	1.800,00	1.400,00	1.500,00
2011	931,40	931,40	931,40	931,40	931,40	931,40	931,40	2.720,00	3.095,00	1.200,00	2.100,00	1.850,00	2.200,00
2012	731,70	731,70	731,70	731,70	731,70	731,70	731,70	2.261,00	2.692,00	500,00	1.547,00	1.410,00	1.500,00
2013	971,30	971,30	971,30	971,30	971,30	971,30	971,30	3.736,00	3.778,00	900,00	2.948,00	3.110,00	3.000,00
2014	730,20	730,20	730,20	730,20	730,20	730,20	730,20	1.700,00	2.225,00	800,00	1.203,00	1.423,00	2.500,00
2015	599,20	599,20	599,20	599,20	599,20	599,20	599,20	2.233,00	2.472,00	800,00	1.486,00	1.748,00	2.000,00
2016	1.176,50	1.176,50	1.176,50	1.176,50	1.176,50	1.176,50	1.176,50	4.235,00	4.244,00	780,00	3.215,00	2.665,00	2.800,00
2017	247,10	247,10	247,10	247,10	247,10	247,10	247,10	894,00	797,00	900,00	564,00	530,00	900,00
2018	1.143,50	1.143,50	1.143,50	1.143,50	1.143,50	1.143,50	1.143,50	3.866,00	3.483,00	1.296,00	2.994,00	3.209,00	500,00
2019	472,30	472,30	472,30	472,30	472,30	472,30	472,30	2.342,00	2.209,00	658,00	1.414,00	1.654,00	1.000,00
2020	1.532,40	1.532,40	1.532,40	1.532,40	1.532,40	1.532,40	1.532,40	4.117,00	4.079,00	853,00	3.337,00	3.308,00	2.800,00
2021	965,20	965,20	965,20	955,20	955,20	965,20	965,20	3.611,00	3.751,00	1.022,00	1.932,00	1.647,00	2.800,00

Tabla 25: Distribución percentil de los principales cultivos en Zamora, España (1999-2021)

Percentil	Altramuz	Garbanzos	Guisantes secos	Lentejas	Otras leguminosas	Veza	Yeros	Cebada	Trigo	Girasol	Avena	Centeno	Colza
10	295,9	295,9	295,9	295,9	271,5	295,9	295,9	1.054,0	1.188,4	205,8	760,0	824,0	519,2
40	735,5	735,5	735,5	735,5	730,8	735,5	735,5	2.277,2	2.307,2	800,0	1.498,2	1.240,0	1.000,0
70	933,5	933,5	933,5	933,5	931,4	933,5	933,5	3.256,4	3.250,2	1.008,8	2.100,0	1.788,8	2.080,0
90	1.173,2	1.173,2	1.173,2	1.173,2	1.212,1	1.173,2	1.173,2	4.223,2	4.071,1	1.200,0	3.193,5	3.199,1	2.800,0

Tabla 26: Niveles de rendimiento de los principales cultivos en Zamora, España (1999-2021)

Año	Altramuz	Garbanzos	Guisantes secos	Lentejas	Otras leguminosas	Veza	Yeros	Cebada	Trigo	Girasol	Avena	Centeno	Colza
1999	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo	Medio	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo
2000	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto	Muy bajo	Medio	Bajo	Bajo
2001	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
2002	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
2003	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
2004	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio	Bajo
2005	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
2006	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
2007	Alto	Alto	Alto	Alto	-	Alto	Alto	Medio	Medio	Alto	Medio	Bajo	Medio
2008	Medio	Medio	Medio	Medio	-	Medio	Medio	Muy alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio
2009	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
2010	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio
2011	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Medio	Alto	Alto
2012	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio
2013	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto	Alto	Muy alto
2014	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
2015	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Medio
2016	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Bajo	Muy alto	Alto	Alto
2017	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Medio	Muy bajo	Muy bajo	Bajo
2018	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Muy alto	Alto	Muy alto	Muy bajo
2019	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
2020	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Alto	Muy alto	Medio	Muy alto	Muy alto	Alto
2021	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Alto

La Tabla 27 presenta los datos de precipitación total en milímetros y los niveles correspondientes de precipitación para cada año. Estos datos son esenciales para comprender y analizar los patrones de lluvia en la región a lo largo del tiempo. La tabla incluye información detallada desde el año 2000 hasta 2023, a excepción del año 2000 y el año 2023, donde no se dispone de datos. Los niveles de precipitación se clasifican en categorías como "Muy bajo", "Bajo", "Medio", "Alto" y "Muy alto", lo que nos permite identificar las variaciones en la cantidad de lluvia recibida en cada año.

Tabla 27: Niveles de precipitación total (mm) por año en Zamora, España (1999-2021)

Año	Precipitación total (mm)	Nivel de precipitación total (mm)
2000	-	-
2001	465,60	Medio
2002	643,40	Muy alto
2003	619,00	Alto
2004	344,40	Muy bajo
2005	369,80	Bajo
2006	612,40	Alto
2007	509,80	Medio
2008	497,20	Medio
2009	475,20	Medio
2010	680,80	Muy alto
2011	384,13	Bajo
2012	361,41	Bajo
2013	575,28	Alto
2014	530,52	Medio
2015	408,96	Bajo
2016	607,80	Alto
2017	321,57	Muy bajo
2018	521,20	Medio
2019	430,63	Medio
2020	402,31	Bajo
2021	406,54	Bajo
2022	385,34	Bajo
2023	-	-

Tabla 28: Distribución percentil de la precipitación total (mm) en Zamora, España (1999-2021)

Percentil	Precipitación total (mm)
10	349,50
40	413,29
70	535,00
90	636,08

8. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

8.1. AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

8.1.1. Costes de producción

Los resultados del estudio demuestran que la agricultura de conservación, en comparación con la agricultura tradicional, puede ser una alternativa más sostenible y rentable en términos económicos. En la agricultura tradicional, los costes de fertilizantes y productos fitosanitarios, la amortización de la maquinaria y las labores agrícolas son mayores en comparación con la agricultura de conservación.

Los datos proporcionados muestran una clara diferencia en los costes de producción. En particular, el coste de producción en la agricultura tradicional es de 560 €/ha, mientras que en la agricultura de conservación con glifosato es de 410,4 €/ha y sin glifosato es de 462,2 €/ha. Para tener una mejor perspectiva, se pueden realizar comparativas porcentuales. En este caso, la agricultura de conservación con glifosato presenta un ahorro del 26,4% en comparación con la agricultura tradicional, mientras que la agricultura de conservación sin glifosato presenta un ahorro del 17,5%.

En cuanto a las amortizaciones de la maquinaria, es importante tener en cuenta que en la agricultura tradicional se requiere un mayor número de pasadas del tractor debido a la realización de labores de arado que desgastan la maquinaria de forma más rápida. Por lo tanto, la vida útil de la maquinaria puede ser menor, lo que se traduce en mayores costes de amortización. Respecto al coste derivado del combustible, la agricultura de conservación presenta menores costes. Esto se debe a que, como mencionamos anteriormente, en la agricultura de conservación se utilizan técnicas que reducen la necesidad de preparación del suelo y la utilización de maquinaria. En cambio, en la agricultura tradicional, el uso de maquinaria pesada y la realización de múltiples labores mecánicas, implica un mayor consumo de combustible por hectárea.

8.1.2. Uso del glifosato

Por otro lado, al comparar la agricultura de conservación que utiliza glifosato con la que utiliza herbicidas alternativos, se observa que la segunda tiene mayores costes en productos fitosanitarios. El uso de Diflufenican 40% p/p + Florasulam 2% p/p + Iodosulfuron metil sodio 5% implica mayores costes en productos fitosanitarios, lo que se traduce en mayores costes de producción por hectárea en comparación con la agricultura de conservación que utiliza el glifosato.

Los datos presentados sugieren que la agricultura de conservación puede resultar más rentable que la agricultura tradicional, aunque la elección de los herbicidas puede influir en el coste de producción. Es importante destacar que, además de los costes económicos, la agricultura de conservación también presenta beneficios ambientales y sociales que deben ser considerados al tomar decisiones en la gestión agrícola.

Después de evaluar varias alternativas al uso del glifosato para el control del malas hierbas y tras consultar con varios agricultores expertos en agricultura de conservación que han utilizado la técnica de siembra directa durante muchos años, en la actualidad no existe una alternativa directa que proporcione los mismos resultados que el glifosato. Aunque el control mecánico de las malas hierbas se considera una alternativa natural al uso de herbicidas químicos, actualmente no es una opción viable debido a los requerimientos específicos de los eco-regímenes de la nueva PAC para una agricultura sostenible.

Los requisitos de los eco-regímenes limitan la viabilidad del control mecánico de malas hierbas y dificultan su aplicación. Por lo tanto, los agricultores deben buscar otras alternativas para reducir la dependencia del glifosato y otros herbicidas químicos en la agricultura. Si bien existen herbicidas químicos alternativos, ninguno de ellos ha demostrado ser tan efectivo como el glifosato en términos de eficacia y costes. Por lo tanto, es necesario continuar investigando y desarrollando alternativas viables y sostenibles para reemplazar el uso del glifosato en la agricultura ante su inminente prohibición.

8.2. ESPECIES MEJORANTES

8.2.1. Superficie asegurada

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa un incremento constante en la superficie asegurada por hectárea en la provincia de Zamora a lo largo del período analizado. Este aumento puede indicar una mayor conciencia por parte de los agricultores sobre los riesgos asociados a la actividad agrícola y la importancia de proteger sus inversiones mediante el aseguramiento. Los eventos climáticos extremos, como sequías, inundaciones, heladas y granizadas, pueden tener un impacto significativo en los cultivos y, por ende, en la rentabilidad de los agricultores. La necesidad de proteger sus inversiones y asegurar un flujo de ingresos constante ha llevado a los agricultores a optar por el aseguramiento agrícola. A través de la contratación de pólizas de seguro, los agricultores buscan mitigar los riesgos económicos causados por los eventos climáticos adversos, ya que las indemnizaciones por pérdidas permiten compensar parte de los daños sufridos en sus cultivos.

Además, la evolución de las políticas agrícolas y los incentivos gubernamentales también han contribuido al aumento de la superficie asegurada. En muchos países, incluida España, se han implementado programas y subsidios que promueven el aseguramiento agrícola, lo cual ha generado un mayor interés y acceso a estos servicios por parte de los agricultores. La nueva Política Agrícola Común (PAC) también ha impulsado la adopción del aseguramiento agrícola como una herramienta de gestión de riesgos, lo que ha motivado a los agricultores a considerar más seriamente la contratación de seguros.

La siniestrabilidad, es decir, el porcentaje de pérdidas respecto a la superficie asegurada ha presentado variaciones a lo largo de los años. En general, se ha mantenido en niveles bajos, pero se han registrado picos en años específicos. Estos picos registrados en años específicos pueden atribuirse principalmente a condiciones climáticas adversas. La provincia de Zamora, al igual que otras regiones agrícolas, está expuesta a la variabilidad climática y a eventos extremos, como sequías prolongadas. Estos eventos climáticos extremos pueden afectar negativamente el desarrollo y la producción de las leguminosas, lo que lleva a una disminución en los rendimientos y posibles pérdidas económicas para los agricultores. Las leguminosas, al ser cultivos sensibles a las condiciones climáticas, pueden ser particularmente vulnerables a eventos como sequías prolongadas o inundaciones intensas. Estos eventos pueden afectar el crecimiento de las plantas, la

formación de vainas y la calidad de las semillas, lo que resulta en una disminución de los rendimientos y una mayor probabilidad de reclamaciones de seguro.

En contraste, en los últimos años se ha observado una disminución significativa en la siniestrabilidad, especialmente en los años 2020 y 2021, donde los niveles de pérdidas fueron muy bajos o nulos. Esto puede ser indicativo de una mejora en las prácticas de gestión agrícola y/o condiciones climáticas más favorables.

El incremento en la superficie asegurada por hectárea y los picos de siniestralidad en la provincia de Zamora pueden tener implicaciones tanto positivas como negativas para la inclusión de leguminosas en la rotación de cultivos. Si bien el aseguramiento agrícola proporciona seguridad financiera a los agricultores y puede ayudar a mitigar los riesgos asociados a eventos climáticos adversos, las leguminosas pueden ser vulnerables a estas condiciones extremas.

8.2.2. Adaptación climática

Analizando los datos climáticos obtenidos a partir de los datos climatológicos recogidos por la estación de observación meteorológica de Pozuelo de Tábara (Zamora) durante los últimos veintitrés años, del 2000 al 2023, podemos identificar los meses más importantes y extraer algunas conclusiones acerca del cultivo de leguminosas.

Meses de siembra (marzo, abril, mayo)

Durante los meses de siembra, que abarcan marzo, abril y mayo, las leguminosas se enfrentan a condiciones climáticas desafiantes. Las temperaturas medias oscilan entre 7,5°C y 13,9°C, lo que indica un entorno fresco para el crecimiento inicial de las plantas. Sin embargo, las temperaturas mínimas pueden descender significativamente, alcanzando valores tan bajos como -11,4°C en marzo y -6,1°C en abril. Estas bajas temperaturas representan un riesgo considerable para el establecimiento temprano de las leguminosas, ya que pueden inhibir la germinación de las semillas y afectar negativamente el crecimiento inicial de las plántulas.

Meses de crecimiento vegetativo (abril a agosto)

A medida que avanzamos a los meses de crecimiento vegetativo, que van de abril a agosto, las temperaturas medias aumentan gradualmente, proporcionando un entorno más propicio para el desarrollo saludable de las leguminosas. En abril, las temperaturas promedio se sitúan alrededor de 10,1°C, lo que permite un crecimiento estable de las plantas. A medida que nos acercamos a junio, las temperaturas medias alcanzan los 18,6°C, lo cual es beneficioso para el crecimiento vegetativo vigoroso. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las temperaturas máximas pueden ser notablemente altas, llegando a alcanzar los 40,2°C en julio. Estas altas temperaturas pueden generar estrés térmico en las leguminosas, lo que afecta su metabolismo, desarrollo de raíces y producción de biomasa. Además, la falta de humedad durante estos meses puede aumentar el riesgo de sequía y limitar el crecimiento saludable de las plantas.

Durante los meses de siembra (marzo, abril, mayo) y el período de crecimiento vegetativo (abril a agosto), se observa una variabilidad en los niveles de precipitación. Esta variabilidad implica un riesgo de sequía, especialmente en los meses de menor precipitación, lo que puede afectar el establecimiento de las plantas y su crecimiento saludable. En marzo, el nivel más bajo de precipitación registrado fue de 2,4 mm en 2009. Esta baja cantidad de lluvia indica un riesgo de sequía en el inicio de la siembra de leguminosas. Además, abril también presenta valores extremadamente bajos, como 2,6 mm en 2023 y 8,47 mm en 2017, lo que refuerza el riesgo de sequía durante el crecimiento vegetativo temprano.

Meses de floración y polinización (mayo a julio)

Durante los meses de floración y polinización, que abarcan de mayo a julio, las leguminosas enfrentan otro desafío climático. Las temperaturas medias oscilan entre 13,9°C y 21,3°C, proporcionando un rango de temperaturas propicio para el desarrollo de flores y polinización exitosa. Sin embargo, las altas temperaturas máximas registradas en julio pueden tener un impacto negativo en la calidad de la floración y la polinización. El estrés por calor durante esta etapa crítica puede resultar en una disminución en la formación de frutos y semillas, lo que afecta directamente la producción de cultivos.

En mayo, se registraron valores extremadamente bajos de precipitación, 10 mm en 2003 y 9,4 mm en 2021. Estas cifras indican escasez de agua durante la etapa de floración y polinización, lo que puede afectar negativamente a la formación de frutos y semillas. Sin embargo, también se observan valores extremos de precipitación en algunos años durante este período. Por ejemplo, mayo de 2007 registró una precipitación de 108,6 mm, lo que indica una disponibilidad abundante de agua durante la floración y polinización, lo cual es favorable para el desarrollo saludable de las plantas. Estos datos resaltan la variabilidad en los niveles de precipitación durante el período de floración y polinización de las leguminosas, lo que implica un riesgo de estrés hídrico en las plantas durante esta etapa crítica. La disponibilidad adecuada de agua es crucial para una buena polinización y formación de frutos y semillas.

Meses de maduración y cosecha (julio a septiembre)

A medida que nos adentramos en los meses de maduración y cosecha, que van de julio a septiembre, las temperaturas medias varían entre 17,2°C en septiembre y 20,9°C en agosto. Durante este período, las leguminosas se encuentran en la etapa final de su ciclo de vida y se espera que los cultivos maduren y estén listos para la cosecha. Sin embargo, las altas temperaturas máximas que alcanzan los 38,8°C en agosto pueden acelerar el proceso de maduración y afectar negativamente el rendimiento y la calidad de los granos. La falta de agua y la exposición prolongada a altas temperaturas pueden provocar la reducción del tamaño de los granos y la disminución de los rendimientos.

En julio, se registraron valores extremadamente altos de precipitación en algunos años. Por ejemplo, en julio de 2013 se registraron 29,99 mm de precipitación, mientras que en julio de 2019 se alcanzaron 32,03 mm. Estas cifras indican la posibilidad de lluvias intensas durante el período de maduración y cosecha, lo cual puede resultar perjudicial para los cultivos de leguminosas. Las lluvias excesivas pueden provocar daños en los granos, afectando su calidad y rendimiento. Por otro lado, también se observan valores extremadamente bajos de precipitación en algunos años durante este período. Por ejemplo, en agosto de 2013 y 2018 se registraron solo 0,2 mm de precipitación. Estas condiciones de sequía pueden tener un impacto negativo en el desarrollo de las leguminosas durante la fase de maduración y cosecha.

Los meses más importantes para el cultivo de leguminosas en Zamora son los de siembra (marzo, abril, mayo), crecimiento vegetativo (abril a agosto), floración y polinización (mayo a julio), y maduración y cosecha (julio a septiembre). Es fundamental tener en cuenta las bajas temperaturas durante los meses de siembra, las altas temperaturas durante el crecimiento vegetativo y la maduración, y las fluctuaciones de temperatura durante la floración y la polinización. Además, es importante considerar la disponibilidad de agua para evitar el estrés hídrico durante los meses críticos. La variabilidad de la precipitación en la región de Pozuelo de Tábara presenta riesgos tanto de sequía como de lluvias intensas en diferentes etapas del cultivo de leguminosas.

8.2.3. Rendimientos y siniestralidad

En los niveles de siniestrabilidad "muy bajo" y "bajo", se puede observar que los valores son relativamente similares en todas las zonas. Campos del Pan registra 2 y 7 casos respectivamente, Duero Bajo registra 5 y 4 casos, y Benavente y los Valles registra 3 y 6 casos. Estos niveles indican que las tres zonas han experimentado una incidencia baja o muy baja de siniestrabilidad en comparación con los niveles superiores.

En los niveles de siniestrabilidad "medio", "alto" y "muy alto", también se puede observar una similitud en los valores. Los números son bastante consistentes entre las tres zonas, con 7 casos en el nivel "medio", 4 casos en el nivel "alto" y 2 casos en el nivel "muy alto". Esto sugiere que las tres zonas han experimentado una cantidad similar de casos en estos niveles de siniestrabilidad.

Si bien existen diferencias menores en los números exactos de cada nivel de siniestrabilidad, podemos concluir que, en general, las tres zonas de estudio presentan niveles de siniestrabilidad similares. Esto indica que los riesgos en el contexto de cultivos herbáceos en secano son comparables en las diferentes áreas de estudio. Por lo tanto, no hay indicios claros de que el riesgo asociado a las leguminosas sea sustancialmente diferente al de otros cultivos característicos de la zona. Al analizar los datos presentados, es evidente que no se puede establecer una conclusión clara en cuanto al riesgo específico de incorporar leguminosas en comparación con otros cultivos característicos de la zona en términos de siniestrabilidad y rendimientos.

Respecto a los datos de producción de cultivos agrícolas, no se observa una tendencia clara que indique un mayor riesgo asociado a las leguminosas en comparación con otros cultivos. Los rendimientos de los diferentes cultivos fluctúan a lo largo de los años, pero no se puede establecer una correlación directa entre la presencia de leguminosas y rendimientos bajos o altos en relación con otros cultivos.

En este contexto, el eco-régimen de rotación de cultivos con especies mejorantes puede resultar relevante para los agricultores en la provincia de Zamora. Este eco-régimen permite que los agricultores reciban ayudas económicas adicionales para compensar los posibles costes y riesgos asociados con la incorporación de leguminosas en sus sistemas de cultivo. Estas ayudas económicas pueden ser de gran utilidad para cubrir los gastos derivados de la implantación y gestión de los cultivos de leguminosas, así como para mitigar los riesgos inherentes a la producción agrícola.

9. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se pueden obtener de este estudio respecto a los resultados obtenidos son las siguientes:

1. La agricultura de conservación es una opción más sostenible y rentable desde el punto de vista económico en comparación con la agricultura tradicional. En la agricultura tradicional, los costos de fertilizantes y productos fitosanitarios, así como la amortización de la maquinaria y las labores agrícolas, son más altos en comparación con la agricultura de conservación.

2. No existe actualmente una alternativa directa que ofrezca los mismos resultados que el glifosato. Aunque el control mecánico de las malas hierbas se considera una opción natural a los herbicidas químicos, en la actualidad no es viable debido a los requisitos específicos de los eco-regímenes de la nueva Política Agrícola Común (PAC) para una agricultura sostenible.

3. El análisis climático detallado de los diferentes períodos de cultivo revela los desafíos específicos que las leguminosas enfrentan en cada etapa. Las bajas temperaturas durante los meses de siembra pueden dificultar el establecimiento

inicial de las plantas, mientras que las altas temperaturas durante el crecimiento vegetativo, la floración y la maduración pueden causar estrés térmico y afectar negativamente el desarrollo y la producción de las leguminosas. Es esencial tener en cuenta estos factores al planificar y manejar los cultivos.

4. No se pueden establecer conclusiones claras sobre el riesgo específico de incorporar leguminosas en la rotación de cultivos en la provincia de Zamora en comparación con otros cultivos característicos de la zona. Los niveles de siniestrabilidad y los rendimientos de los cultivos son similares entre las zonas de estudio, lo que indica que el riesgo asociado a las leguminosas es comparable al de otros cultivos en la región.

5. Las ayudas de la Política Agrícola Común (PAC) pueden desempeñar un papel crucial en apoyar a los agricultores que deseen incorporar leguminosas como "especies mejorantes" en sus sistemas de cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). (2022). *Glifosato.* https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/glyphosate

Bàrberi, P. (2002). *Weed management in organic agriculture: Are we addressing the right issues?* Weed Research, 42(3), 177-193.

Bianchi, F. J., Booij, C. J., & Tscharntke, T. (2006). *Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 273(1595), 1715-1727.

Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2009). *No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment*. Soil Science Society of America Journal, 73(6), 2078-2086.

Carpentier, A., Fadhuile, A., Roignant, M., Blanck, M., Reboud, X. X., Jacquet, F., & Huyghe, C. (2020). *Alternatives au glyphosate en grandes cultures. Evaluation économique* (Doctoral dissertation, INRAE).

Chikowo, R., Mapfumo, P., Nyamangara, J., & Giller, K. E. (2010). *Maize productivity and mineral N dynamics following herbaceous and woody legumes as fallow-period soil fertility management in Zimbabwe.* Plant and Soil, 327(1-2), 325-340.

Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Li, H. (2010). *Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits*. International journal of agricultural and biological engineering, 3(1), 1-25.

European Commission. (2021). *List of Potential Agricultural Practices That Eco-Schemes Could Support.*

FAO. (2023). *Agricultura de conservación | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. https://www.fao.org/conservation-agriculture/es/

García, E. H. (2023). *Guía Práctica de la Nueva PAC 2023-2027*. Editorial Agrícola Española. S.A.

Giller, K. E., Witter, E., & McGrath, S. P. (2009). *Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: A review*. Soil Biology and Biochemistry, 41(12), 2214-2230.

Govaerts, B., Verhulst, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K. D., Dixon, J., & Dendooven, L. (2009). *Conservation agriculture and soil carbon sequestration: between myth and farmer reality*. Critical Reviews in Plant Science, 28(3), 97-122.

Guerrero García, A. (1999). *Cultivos herbáceos extensivos*. Ediciones Mundi-Prensa.

Heap, I. (2021). *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. Recuperado de http://www.weedscience.org.

Jensen, E. S., Peoples, M. B., Boddey, R. M., Gresshoff, P. M., Hauggaard-Nielsen, H., Alves, B. J., ... & Heaney, D. (2010). *Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries: A review*. Agronomy Journal, 102(2), 448-469.

Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., & Altieri, M. A. (2019). *The spread of conservation agriculture: Justification, sustainability and uptake*. International Journal of agricultural Sustainability, 17(2), 89-124.

Khan, M. R., Vankosky, M. A., Rahman, M. M., Gul, M., Halley, S., Johnson, E. N., ... & Willenborg, C. J. (2017). *Weed species and biotic constraints associated with canola production in Canada*. Weed Science, 65(2), 169-180.

Kyei-Boahen, S., Savary, S., Adesemoye, A., Esker, P., McRoberts, N., & Eskridge, K. (2017). *A regional analysis of temperature and rainfall effects on yield of maize and dry bean in the U.S*. Midwest. Crop Science, 57(4), 1857-1870.

Lal, R. (2015). *Restoring soil quality to mitigate soil degradation*. Sustainability, 7(5), 5875-5895.

Lee, B., Schumacher, T., Lofton, J., Haar, M., & Porter, P. (2013). *Precision nutrient management in the twenty-first century*. Agronomy Journal, 105(2), 185-195.

Letourneau, D. K., Armbrecht, I., Rivera, B. S., Lerma, J. M., Carmona, E. J., Daza, M. C., ... & Galindo, V. J. (2011). *Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review.* Ecological Applications, 21(1), 9-21.

MAPA. (2021). *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos. Resultados definitivos 2021: Análisis de las técnicas de mantenimiento del suelo y métodos de siembra en España 2021*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

MAPA. (2023). *Agricultura de carbono en España: siembra directa y cubiertas vegetales*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

MAPA. (2023). *El Plan Estratégico de la PAC en España (2023-2027). Resumen del Plan aprobado por la Comisión Europea*

Mateu Cerdá, C. (2020). *Alternativas al glifosato utilizado como herbicida.*

Mussio, E. (2017). *Alternatives to herbicide use in weed management.*

Navarrete, F., Alves, B. J., Barros, A. P., & Tsai, S. M. (2012*). Rhizosphere microbiome metagenomics of gray desert soil subjected to long-term conservation agriculture.* Soil Biology and Biochemistry, 46, 126-133.

Nemecek, T., von Richthofen, J. S., Dubois, G., Casta, P., Charles, R., Pahl, H., ... & Zah, R. (2011). *Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations*. European Journal of Agronomy, 34(4), 281-293.

Oerke, E. C. (2006). *Crop losses to pests*. The Journal of Agricultural Science, 144(1), 31-43.

Osca Lluch, J. M. (2013). *Cultivos herbáceos extensivos: cereales*. Editorial Universitat Politècnica de València.

Peigné, J., Cannavacciuolo, M., Gautronneau, Y., Aveline, A., Giteau, J. L., & Cluzeau, D. (2007). *Using decision support systems for the environmental management of*

cropping systemsat the landscape scale: A review. Agriculture, Ecosystems & Environment, 120(1), 66-80.

Powles, S. B., & Yu, Q. (2010). *Evolution in action: plants resistant to herbicides*. Annual Review of Plant Biology, 61, 317-347.

Pretty, J. N., Brett, C., Gee, D., Hine, R. E., Mason, C. F., Morison, J. I., ... & van der Bijl, G. (2000). *An assessment of the total external costs of UK agriculture.* Agricultural systems, 65(2), 113-136.

Robles, E. R., & de la Cruz, R. S. (2006). *Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción.* SAGARPA.

Rusch, A., Valášková, V., & Frouz, J. (2011). *Does no-till farming in the temperate zone increase the abundance of soilmacrofauna? A meta-analysis*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 140(1-2), 289-292.

Stoddard, F. L., Marshall, A. H., Poulton, P. R., Pywell, R. F., & Todd, A. D. (2004). *The compatibility of crop production and biodiversity in the countryside: Testing current beliefs with a functional agrobiodiversity model*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 102(3), 285-301.

Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., ... & Vandermeer, J. (2012*). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification.* Biological Conservation, 151(1), 53-59.

Udawatta, R. P., Anderson, S. H., & Gantzer, C. J. (2014*). Impacts of climate change on corn and soybean yields in the central United States*. International Journal of Plant Production, 8(2), 173-190.

Zimdahl, R. L. (2013). *Fundamentals of weed science*. Academic Press.