

INFORME DE EVALUACIÓN DE LA PRÁCTICA 4 DE LOS ECORREGÍMENES: SIEMBRA DIRECTA

AÑO 2025



Título:

Informe de evaluación de la práctica 4 de los ecorregímenes: siembra directa.

Edita:

© Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones.

Unidad proponente:

Secretaría General de Recursos Agrarios y Seguridad Alimentaria.
Subdirección General de Planificación de Políticas Agrarias.

El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación ha facilitado los datos y contactos oportunos para la realización de entrevistas y encuestas necesarias para la elaboración de la presente obra. Además, ha realizado el seguimiento del proceso evaluador y la revisión del presente informe y también ha llevado a cabo el diseño inicial de la evaluación junto con el equipo evaluador. La ejecución de las labores de evaluación y su resultado ha correspondido exclusivamente al equipo evaluador de TRAGSATEC, contratado mediante encargo a medio propio personificado para el apoyo a la realización de actividades de evaluación del plan estratégico de la PAC 2023-2027 y actuaciones de apoyo para el seguimiento del carbono orgánico del suelo en la agricultura española.

La publicación de esta obra se ha financiado con recursos propios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

NIPO línea: 003-25-158-8

Tienda online:

www.mapa.gob.es
<https://servicio.mapa.gob.es/tienda/>

e-mail:

centropublicaciones@mapa.es

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es/>

Para contribuir a la protección del medio ambiente, se recomienda imprimir esta publicación únicamente si es estrictamente necesario, ya sea en su totalidad o en parte.

1. Resumen.....	4
2. Introducción.....	11
3. Objetivos de la evaluación.....	13
4. Contexto.....	13
4.1. Siembra directa.....	13
4.2. Erosión del suelo	19
4.3. Materia orgánica	25
4.4. Emisiones de gases de efecto invernadero.....	28
4.5. Uso de Herbicidas	32
4.6. Calidad de agua.....	42
5. Metodología	58
5.1. Enfoque de la evaluación.....	58
5.2. Matriz de evaluación.....	61
5.3. Técnicas aplicadas	67
6. Limitaciones o condicionantes del enfoque	78
7. Análisis de la ejecución	80
8. Análisis de la teoría del cambio	89
9. Respuestas a las preguntas de evaluación	96
9.1. EFICACIA: ¿En qué medida el uso de herbicidas derivado de la práctica de la siembra directa en el marco del PEPAC (P4-Ecorregímenes) produce efectos en los objetivos de la PAC? 96	
9.1.1. Factor de Éxito 1: La siembra directa incide en la disminución de la utilización y el riesgo de los herbicidas químicos y la utilización de herbicidas más peligrosos.	96
9.1.2. Factor de Éxito 2: La gestión de herbicidas en la siembra directa supone cambios en la biodiversidad, servicios ecosistémicos y hábitats	107
9.1.3. Factor de Éxito 3: La Gestión de herbicidas en la siembra directa incide en la calidad del agua 118	
9.2. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa a la mitigación del cambio climático a través de la captura de carbono por los suelos agrícolas?.....	153
9.2.1. Factor de Éxito 4: La siembra directa favorece el secuestro de carbono por los suelos 153	
9.3. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones procedentes de prácticas agrícolas?	167

9.3.1. Factor de Éxito 5: La siembra directa incide en las emisiones de gases de efecto invernadero.	167
9.4. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa en la mejora de la gestión y conservación de los suelos agrícolas?	177
9.4.1. Factor de Éxito 6: La siembra directa reduce la erosión del suelo.	177
9.5. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa en la mejora de calidad de los suelos agrícolas?	187
9.5.1. Factor de Éxito 7: La siembra directa incide en la mejora de la calidad del suelo.	187
9.6. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa en la calidad de las masas de agua?	205
9.6.1. Factor de Éxito 8: La siembra directa incide en la mejora de las masas de agua.	205
9.7. EFICACIA: ¿En qué medida ha contribuido la siembra directa en el marco del PEPAC a proteger la biodiversidad?	242
9.7.1. Factor de Éxito 9: La siembra directa favorece la protección de la biodiversidad.	242
9.8. EFICACIA: ¿En qué medida la siembra directa contribuye a la competitividad de la explotación?	254
9.8.1. Factor de Éxito 10: La siembra directa mejora la competitividad de la explotación	254
10. Conclusiones y recomendaciones	261
11. Acrónimos.....	271
12. Anexos	272
12.1. Anexo I. Metodología. Técnicas aplicadas	272
12.2. Anexo II. Ejecución	272
12.3. Anexo III. Herbicidas empleados.....	272
12.4. Anexo IV. Sondeo de opinión de las personas que han declarado la siembra directa en la solicitud única	275
12.5. Anexo V. Análisis y resultados estadísticos.....	275
12.6. Anexo V VI. Bibliografía	275
13. Lista de figuras	275
14. Lista de gráficas.....	278
15. Índice de tablas.....	283

1. Resumen

Con el Plan Estratégico de la Política Agrícola Común (PEPAC) se ha impulsado la práctica de la siembra directa, durante el periodo 2023-2027, mediante su incentivo con el diseño de una ayuda en el marco de tres intervenciones del ecorrégimen “agricultura de carbono y agroecología”, para cultivos de secano, secano húmedo y regadío. De forma que el PEPAC ha sido un fuerte estímulo para impulsar la superficie en la que se aplica la práctica de siembra directa.

Existe una dificultad en la cuantificación de la práctica de la siembra directa en años anteriores a 2023, que dificulta el seguimiento de la evolución de la superficie objeto de la misma, de la que sólo se dispone información en ESYRCE, con 985.556 ha que pierden su trazabilidad en 2022, al ser el último año en el que aporta información y en el RSU, en la que se cuenta con información de la práctica, aportada de manera voluntaria en la declaración de superficie de la Solicitud única ya que en este año no se apoyaba con el ecorrégimen y en la que no se consideraba el barbecho, además de no existir la obligación de relacionar determinados cultivos. En la Solicitud única de 2022, esta superficie se cuantifica en 583.311 ha, aunque la declaración de la práctica era voluntaria. De esta superficie considerada en la Solicitud única en 2022 se pasa a 1.402.760 ha que se han acogido a la ayuda en 2024, con compromisos de siembra directa, rotación de cultivos y permanencia del rastrojo, fundamentalmente. Además de esta superficie de acogida a la ayuda se produce la declaración de alrededor de un 20% adicional de superficie en la que se declara la práctica, pero no se solicita ayuda. Este hecho puede ser una causa de sobreestimación del efecto atribuible al PEPAC, es decir, aquel que no se hubiera producido en ausencia de ayudas, aunque los resultados cuantificados se produzcan por la siembra directa (con o sin las ayudas), es decir, la cuantificación de los efectos se puede atribuir a la siembra directa, pero existe cierto nivel de incertidumbre en asignar una parte del efecto neto al PEPAC.

La siembra directa está considerada como una de las principales prácticas de agricultura de conservación, que se lleva a cabo en cultivos anuales y consiste en no realizar laboreo sobre el suelo, ya que la supresión de labores mecánicas es total y se produce la siembra directamente sobre el rastrojo. El diseño de las intervenciones incluye además el compromiso para aplicar la rotación de cultivos, en al menos el 40% de la superficie de acogida y la permanencia del rastrojo del cultivo anterior sobre el suelo. A su vez, los titulares de explotaciones pueden solicitar el compromiso de plurianualidad, que les permite un incremento en la ayuda. El objetivo de estas intervenciones es contribuir a la adaptación al cambio climático y a su mitigación (OE4) y promover el desarrollo sostenible y la gestión eficiente de recursos naturales (OE5).

Aunque en periodos anteriores ya se aplicaba la siembra directa, con un total de 583.311 ha en 2022, el PEPAC ha promovido que esta práctica se incluya en alrededor de 20.000 explotaciones, con una elevada acogida en Castilla y León, Aragón, Castilla-La Mancha y Catalunya, y la Comunidad Foral de Navarra, regiones donde ya tenía peso la superficie de siembra directa. No obstante, la ayuda también ha desincentivado la aplicación de la práctica en algunas regiones en las que se aplicaba antes de su entrada en vigor, como es el caso de

Andalucía, Illes Balears, Galicia, Murcia y la C. Valenciana, en las que se ha reducido la superficie en la que se aplica y la práctica no supone un peso relevante en el total nacional.

Este proceso de evaluación ha puesto el foco en dar respuesta a distintas preguntas de evaluación relacionadas con:

1. El uso de los herbicidas derivado de la práctica de la siembra directa y su incidencia en la biodiversidad y en la calidad del agua.
2. El efecto de la práctica de la siembra directa en la mitigación del cambio climático, la gestión y conservación de los suelos agrícolas, la erosión del suelo, la calidad del suelo, la calidad de las masas de agua, la biodiversidad y la competitividad de la explotación.

Se pone de manifiesto que, en opinión de las personas que declaran la ayuda, los compromisos para percibir la misma son difíciles de cumplir y limitan la aplicación de la siembra directa. Existe cierta necesidad de intercalar anualidades con laboreo convencional para romper la suela de labor y el riesgo de que aparezca resistencia de las malas hierbas en la superficie de siembra directa. De todas formas, hay un porcentaje relativamente elevado de personas que aplican la siembra directa desde antes de 2022, que en la encuesta resulta en el 21,9% del total de personas que han respondido a la misma. Además, en ocasiones se deja de solicitar la ayuda por la práctica de la siembra directa, decantándose por la de rotación, para evitar las consecuencias administrativas que podría conllevar. Estas barreras pueden estar suponiendo un inconveniente para impulsar una mayor plurianualidad (1.159.218,1 ha lo solicitan en 2023), especialmente en el caso del girasol.

Uso de Herbicidas

En relación con la incidencia o efecto de la práctica de siembra directa sobre el grado de utilización de herbicidas químicos y, en el riesgo asociado a estos.

- Los hallazgos de la evaluación muestran que con la siembra directa **se consumen y se emplean más herbicidas**, que respecto al laboreo convencional, entre 1 y 3 aplicaciones adicionales de herbicida en comparación con el laboreo convencional lo que, en opinión de algunas personas que la aplican genera cierta dependencia de los herbicidas en general y del glifosato, particularmente, e incide en la **generación de resistencias** en las plantas adventicias, que en ocasiones son difíciles de gestionar sin la intervención del laboreo, como es el caso de la grama, la coniza o el vallico.
- La experiencia técnica resultante de los ensayos muestra que **labores superficiales aplicadas en un régimen de mínimo laboreo o de laboreo en líneas, podrían incidir en resultados similares en materia orgánica y reducción de la erosión, pero contribuirían a reducir la aplicación de herbicidas y a controlar la resistencia de las adventicias a los mismos**. Este aspecto de flexibilización de las labores también contribuiría a que la siembra directa se aplicara en el cultivo del girasol, que actualmente tiene dificultades para gestionarse bajo esta práctica y un bajo nivel de acogida. No obstante, el diseño de la intervención, con compromisos anuales permite que la práctica tenga un elevado nivel de acogida en aquellos cultivos que no son de girasol.

Biodiversidad

En relación con la incidencia o efecto de la práctica de siembra directa sobre la biodiversidad del suelo y el agua, haciendo hincapié en el uso de herbicidas en la práctica, se observa que:

- **Los efectos de los herbicidas sobre la biodiversidad**, y en particular sobre la diversidad microbiológica del suelo, **no pueden observarse de manera aislada**, ya que está influenciada por multitud de aspectos entre los que son importantes **las prácticas agrarias (eliminación del laboreo, rotación, etc.), la cobertura vegetal, las propiedades edáficas y las condiciones climáticas**, entre otros.
- Las conclusiones sobre la biodiversidad obtenidas con el **proyecto SoilBIO**¹ centrado en evaluar la biodiversidad y salud del suelo en sistemas herbáceos extensivos de secano en España, apuntan que **aunque se emplee más herbicida en la siembra directa respecto a la agricultura convencional, el resto de prácticas aplicadas como son la anulación del laboreo, el mantenimiento de la cubierta vegetal y del rastrojo y la rotación de cultivos, están compensando un posible efecto negativo**, ya que se observa que la **siembra directa**:
 - **aumenta la abundancia, riqueza y diversidad de la mesofauna**² **en los suelos de climas mediterráneos**.
 - También señala que las lombrices sólo estaban presentes en ambientes húmedos manejados con siembra directa (sin labranza del suelo), en comparación con el cultivo convencional.
 - Los investigadores de este estudio señalan que los efectos de herbicidas podrían estar causando una menor presencia de ácaros jóvenes.
- Existen otras evidencias bibliográficas de que la siembra directa promueve un aumento significativo en la diversidad bacteriana, mejora la simbiosis micorrítica y en las comunidades de nematodos, a través de la reducción del laboreo, la permanencia del rastrojo y una gestión nitrogenada moderada u orgánica. Además, hay evidencias de que genera un incremento en las poblaciones y la riqueza de artrópodos en comparación con los sistemas convencionales. El mantenimiento de la cobertura favorece el hábitat de organismos como las arañas y los escarabajos.
- Los hallazgos sobre el herbicida glifosato subrayan que, a diferencia de la siembra directa y sus prácticas asociadas, el uso de herbicidas representa un factor de riesgo que debe evaluarse cuidadosamente en términos de acumulación, dosis y contexto edáfico.
- Los efectos del empleo de herbicidas en la siembra directa en la biodiversidad asociada a la calidad del agua muestran una mayor estabilidad en las estaciones de tratamiento, respecto a la agricultura convencional.

En los puntos influenciados por la **siembra directa existe una estabilidad mayor en el indicador biológico de fitobentos**³ (del 84% en siembra directa frente al 79%), un

¹ SoilBIO

² El concepto se describe en el estudio realizado en el marco del proyecto SoilBIO, e incluye colémbolos y ácaros. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/377121/1/226-v42n2-bioindicadoresybiodiversidadedafica.pdf>

³ Comunidad de organismos fotosintéticos que habitan en el fondo de los cuerpos de agua.

porcentaje menor de puntos que empeoran su calidad (de 7,3% en siembra directa frente al 12%) y **también menor de puntos que mejoran su calidad entre 2020 y 2023** (de 8,7% frente al 9,1%). El indicador biológico de macroinvertebrados bentónicos en las aguas superficiales, también en los puntos influenciados por la **siembra directa existe una estabilidad mayor en el indicador** (del 76% en siembra directa frente al 71%), un **porcentaje menor de puntos que empeoran su calidad** (de 11% en siembra directa frente al 14,6%) y **también menor proporción de puntos que mejoran su calidad entre 2020-22 y 2023** (de 12,5% frente al 14,4%).

Calidad del agua

En relación al uso de herbicidas que se hace en la siembra directa y su incidencia en la **calidad de agua**, se observa que,

- Durante el periodo analizado (datos MITERD 2021 a 2024), **el glifosato aparece en mayor proporción de puntos de detección de aguas superficiales relacionados con la siembra directa, en la misma proporción que su metabolito**, el AMPA (ácido aminometilfosfonil), aunque las concentraciones medias han disminuido durante este periodo. **En el caso del glifosato, aunque tanto en siembra directa como en no siembra directa hay una evolución descendente en la concentración de aguas superficiales, esta desciende mucho más en el caso de siembra directa.** En este resultado en la calidad de las aguas superficiales, puede estar influyendo **el impacto de la siembra directa en paliar la erosión y atenuar la escorrentía y la lixiviación** y con ello, el lavado de los productos herbicidas que llegan a las aguas superficiales, entre otros factores, como apuntan las fuentes consultadas.
- Para la **siembra directa**, los puntos de detección de aguas subterráneas muestran que **el glifosato se encuentra en el 59,9% de los puntos de detección**, frente al 76,9% de puntos en los que se encuentra fuera de la siembra directa lo que resulta **coherente con la baja movilidad del glifosato y la capacidad de las técnicas de siembra directa para reducir las vías por las que movilizarse, al actuar directamente sobre la estructura del suelo y su capacidad de retención.** En **aguas subterráneas no parece haber diferencias significativas** entre la siembra directa y la agricultura convencional en la influencia en el contenido de glifosato en los puntos de control, aunque **se detecta una disminución descendente significativa en los puntos de siembra directa.**
- Finalmente, las conclusiones apuntan a que **no parece haber evidencias sólidas sobre la incidencia de la siembra directa en la calidad del agua, probablemente al considerar en los análisis una serie tan corta de tiempo en la que hay una influencia mayor de la siembra directa por el PEPAC.**

Cambio climático

En relación a la contribución de la siembra directa al cambio climático, se incide tanto en el incremento del efecto sumidero del suelo como en la disminución de emisiones, al reducir las labores en el cultivo.

- El análisis realizado con distintas metodologías apunta a que se ha contribuido a retener entre **292.159,82 t de COS y 1.183.625,85 t COS** en el total de la superficie del año 2023 y entre **294.312,04 t de COS y 1.192.346,00 t de COS** en el año 2024, teniendo en cuenta las estimaciones realizadas con la iniciativa 4 por mil⁴ o con la metodología proporcionada por el Helpdesk⁵, lo que permite estimar que la concentración de carbono orgánico del suelo en tierras de cultivo con siembra directa, **aumenta en las dos anualidades una media de entre 0,21 t C/ha/año y 0,39 g/kg de suelo, tendencia positiva que, por otra parte,** se confirma en el ensayo del IRIAF Albaladejito y con el estudio de caso realizado con información del estudio “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España”, realizado con el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) con la colaboración INIA-CSIC, que es resultado de la aplicación de los restos de cultivo picados sobre el suelo y la permanencia del rastrojo del cultivo anterior.
- De manera complementaria, los resultados obtenidos con las metodología de la Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans propuesta por el Helpdesk y con la de iniciativa 4 por mil del MITERD y con la de, permiten estimar la absorción de emisiones del suelo bajo siembra directa, entre los **777.661,11 t CO₂eq/año y 3.150.535 t de CO₂eq** en el año 2023 y **792.371,33 t CO₂eq/año y 3.210.133 t de CO₂eq** en el año 2024, en aquella superficie de siembra directa que se implementa por primera vez al inicio del PEPAC, es decir que en 2022 no estaba en siembra directa⁶.
- Además, con la metodología desarrollada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), se estima la reducción de emisiones motivada por el ahorro de combustible de las labores de cultivo, en **92.544,14 CO₂eq/año en 2023 y 91.750,46 CO₂eq/año en 2024 en esta superficie nueva bajo la práctica de siembra directa.**

Calidad del suelo

En relación a la contribución de la siembra directa a la calidad del suelo, además de lo comentado sobre la captura de carbono en el suelo y la mejora de la biodiversidad del mismo, la práctica tiene efecto al reducir el riesgo de erosión.

- Con base en la metodología utilizada por el Inventario Nacional de Erosión del Suelo (INES), se estima en qué medida la implementación de la práctica de siembra directa mejora la calidad del suelo al reducir el riesgo **de pérdida por erosión. De media se estima una reducción en el riesgo de erosión de 3,4 t·ha⁻¹·año⁻¹ en la superficie**

⁴ Iniciativa 4 por mil: el carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España, MITERD. Valores calculados a partir de coeficientes medios en base a estudios científicos de fijación de carbono hasta 10 años.

⁵ “Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027”, ofrecido por el European Evaluation Helpdesk for the CAP. Valores calculados a partir de coeficientes medios dentro de un intervalo de confianza de 95% que refleja la variabilidad de la estimación.

⁶ Para cuantificar los resultados atribuibles al PEPAC se ha considerado la superficie de siembra directa que se cuantifica en el RSU de 2022, para considerar la misma fuente de datos que la de 2023 y 2024. No obstante, esta atribución está sujeta a la limitación 3, descrita en el capítulo 6, sobre las discrepancias entre las superficies incluidas en ESYRCE y el RSU.

de seco y $1,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ para la superficie de regadío, es decir de media en cada anualidad del PEPAC se evita la pérdida de suelo de $3.265.147,30 \text{ t} \cdot \text{año}^{-1}$ en toda la superficie apoyada, promovida por una mejora de la estructura del suelo, una mejora de la infiltración y la permanencia del rastrojo como cubierta del mismo.

Competitividad

En relación a la competitividad, parece evidente que con la práctica de la siembra directa **se reduce significativamente el consumo de combustible, debido a la menor cantidad de pases de labor y** aunque hay resultados que apuntan a una **mayor rentabilidad del cultivo, y es la motivación principal para considerar la aplicación de la práctica de la siembra directa**, los ensayos apuntan a una **variabilidad de este efecto en la rentabilidad, condicionado por los niveles de producción que se registren**. Parece, por tanto, necesaria la realización de ensayos en este aspecto, que permitan determinar las condiciones en las que se produce una rentabilidad similar o suficiente para que la aplicación de la práctica pueda perdurar con el tiempo, en el caso de que el resto de factores no sean limitantes.

Aspectos relacionados con los requisitos y compromisos establecidos en el diseño de las intervenciones de siembra directa y la formación.

- Cabe mencionar que, en opinión de las personas que declaran la ayuda, **los compromisos para la aplicación de siembra directa son difíciles de cumplir, lo que conlleva que en ocasiones se deje de solicitar esta ayuda, decantándose por la práctica de rotación, en el marco de los ecorregímenes, para evitar las consecuencias administrativas que podría conllevar un incumplimiento**. Estas barreras administrativas pueden estar suponiendo un inconveniente para impulsar una mayor plurianualidad, especialmente en el caso del girasol.
- Las opiniones de los actores implicados (personas que aplican la siembra directa, y asociaciones o centros de investigación) apuntan a que, en el caso del girasol, debido a las exigencias de este cultivo para el que es necesaria una labor superficial, un mínimo laboreo o un laboreo en líneas, no se tenga preferencia por la solicitud de la ayuda de siembra directa.
- Aunque la normativa permite la repetición de cultivos y por eso establece una rotación del 40% de la explotación, posiblemente con un objetivo de flexibilizar compromisos, facilitar la acogida de la ayuda y la motivación para aplicar la práctica, se recomienda cambiar el tipo de cultivo (Ej. No sembrar cereal sobre cereal), ya que en el mismo tipo de cultivo, el manejo o la estrategia agronómica suele ser igual, es decir, las plagas y enfermedades y los fitosanitarios empleados, la profundidad de las raíces, etc. son similares y al repetir el tipo de cultivo consecutivamente podría favorecer la aparición de malezas de difícil control generando pérdidas económicas y resistencias a fitosanitarios. Los resultados muestran que existe un elevado porcentaje de rotaciones de cereal sobre cereal, por lo que se está perdiendo potencial de la práctica en el impulso de resultados por este motivo, aunque por otro lado se está ganando al mejorar el nivel de acogida.

- El cambio de prácticas de cultivo respecto al laboreo convencional hace de la **formación un elemento clave para el impulso de la siembra directa**, al menos, hasta la estabilización del suelo. No obstante, aunque se haya contribuido a la formación desde el comienzo del PEPAC en el marco del Convenio MAPA-AEACSV o el plan de formación de técnicos en el medio rural, o la Red PAC y desde la intervención de desarrollo rural en algunas regiones como Aragón, se reclama que esta formación se adapte a las necesidades y condiciones locales, impulsando también el conocimiento de los asesores y la aplicación práctica del conocimiento. Se pone de manifiesto que la formación es la clave de un buen progreso del ecorrégimen por el sector, al evitar que los fracasos en la implantación de la práctica se asignen a que esta no funciona en lugar de a la carencia de conocimiento. Se incide en que la formación es la clave de un buen progreso del ecorrégimen por el sector.

Recomendaciones

Entre las recomendaciones que emanan de la evaluación se encuentran aquellas que animan a superar algunas limitaciones encontradas (continuidad de la base de datos, coordinación de bases de datos con diferentes objetivos, complejidad de las bases de datos, poco tiempo de implementación de la práctica, etc.) y a **seguir trabajando en la mejora de las bases de datos que permiten el seguimiento continuo y dan soporte a las evaluaciones, con aspectos como la identificación de características suficientes de todas las explotaciones, las prácticas sostenibles que aplican, el empleo de herbicidas o la gestión del abonado, en la medida de lo posible.**

También se anima a analizar la posibilidad de considerar cierta flexibilidad en las ayudas en el caso del girasol, tal y como han manifestado los técnicos expertos. También se anima a impulsar proyectos innovadores que indaguen en posibles alternativas en este ámbito, en la medida de lo posible.

Por otro lado, la rotación parece un aspecto clave en el impulso de los objetivos previstos en la PAC y en la paliación de los efectos negativos detectados en la siembra directa, como la generación de resistencias y el aumento de las dosis de herbicidas, por lo que se anima a **mejorar el potencial de la misma explorando la posibilidad de incentivar la rotación del cultivo, para evitar cultivar en dos campañas consecutivas el mismo tipo de cultivo, como por ejemplo, cereal sobre cereal (cebada y trigo).**

La formación parece clave para el éxito de la práctica y la paliación del abandono de la misma, y aunque se haya abordado en el marco del Convenio MAPA-AEACSV o el plan de formación de técnicos en el medio rural, o la Red PAC y desde la intervención de desarrollo rural en algunas regiones como Aragón, se recomienda **analizar la posibilidad de seguir impulsando la misma, con jornadas prácticas que se adapten a las condiciones locales, jornadas para compartir buenas prácticas entre explotaciones experimentadas y otras nuevas, además de mejorar la formación de los asesores**, al ser importante la labor que desarrollan para el éxito de la misma. De esta forma, se podría ir paliando paulatinamente el rechazo o la desconfianza hacia la práctica, detectado en el 9,5% de las personas que han respondido.

Otra limitación para aplicar la práctica reside en la necesidad de cambio de la maquinaria, que supone unos costes de inversión importantes para algunas personas. En este caso, se recomienda **explorar alternativas para que este aspecto no sea tan limitante, como el apoyo de otras ayudas a las inversiones, o a través de instrumentos financieros, la simplificación administrativa de estas ayudas, la dotación presupuestaria adecuada, etc.**

En materia de erosión, debido al potencial que ofrece el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES), se invita a **analizar la posibilidad de considerar la siembra directa entre las parcelas incluidas en el mismo, de forma que pueda medirse la erosión en la misma desde un enfoque contrafactual.** De esta forma, se podrán cuantificar los impactos del PEPAC en materia de erosión de una forma sólida, mejorando las estimaciones llevadas a cabo en esta evaluación que se han basado en simulaciones.

La materia orgánica se analiza en distintas fuentes y ensayos, como el INES, el proyecto “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España” realizado por el MAPA con la colaboración del INIA-CSIC, los estudios del IRIAF, el proyecto SoilBIO, aparentemente aislados. Se anima a **compartir experiencias y resultados de forma que los esfuerzos llevados a cabo por distintos proyectos y equipos puedan sumar conclusiones a la visión conjunta de las prácticas sostenibles, compartiendo experiencias, metodologías, resultados, problemas, etc., en la medida de lo posible, generando sinergias y potencia del análisis.**

2. Introducción

El Reglamento (UE) 2021/2115 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 2 de diciembre de 2021, por el que se establecen normas en relación con la ayuda a los planes estratégicos que deben elaborar los Estados miembros en el marco de la Política Agrícola Común (planes estratégicos de la PAC), financiada con cargo al Fondo Europeo Agrícola de Garantía (FEAGA) y al Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (Feader), y por el que se derogan los Reglamentos (UE) n.º 1305/2013 y (UE) n.º 1307/2013, establece un nuevo marco jurídico para la Política Agrícola Común (PAC), suponiendo un cambio sustancial en la misma.

Sobre la base de este reglamento, se diseñó el Plan Estratégico de la PAC de España⁷ (PEPAC) para el periodo de programación 2023-2027, en el que se incluyen los ecorregímenes, como intervenciones diseñadas para impulsar una mayor ambición ambiental.

Los ecorregímenes remuneran a las explotaciones que llevan a cabo prácticas agrícolas o ganaderas beneficiosas para el clima y el medio ambiente mediante compromisos anuales voluntarios. Estas prácticas tienen un nivel de exigencia mayor que la derivada del cumplimiento de la condicionalidad, que constituye la línea de base de partida, así como de cualquier otra legislación en vigor de carácter medioambiental, que incluya requisitos de cumplimiento obligatorio. Su carácter es general en la aplicación sobre el territorio. Por lo general, el cumplimiento de los requisitos es anual, aunque en el caso de dos prácticas

⁷ [El Plan Estratégico de la PAC de España.](#)

(incluida la siembra directa), existe la posibilidad de acceder a un complemento adicional si el compromiso se mantiene el año siguiente. Entre los ecorregímenes, cabe destacar el de "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa", que se aplica tanto en tierras de secano, como en secano húmedo como en regadío. Dentro de este ecorregimen existen dos prácticas a elegir, la práctica 3 de rotaciones de tierras de cultivo y la práctica 4, que es la que entra en el alcance temático de esta evaluación, sobre agricultura de conservación-siembra directa. De esta manera, para la práctica de la siembra directa se cuenta con tres intervenciones, una para cada tipo de tierra de cultivo: tierras de secano, secano húmedo y regadío.

La siembra directa, tal y como está diseñada en el PEPAC, consiste en eliminar las labores sobre el suelo, sembrar directamente sobre el rastrojo, aplicar la rotación de cultivos, en al menos el 40% de la superficie de acogida y la permanencia del rastrojo del cultivo anterior sobre el suelo. Con esta práctica se pretende promover un mejor aprovechamiento del agua, el incremento de materia orgánica y el secuestro de carbono por el suelo, el mantenimiento/recuperación del suelo y la reducción de la erosión del mismo, contribuyendo, por tanto, a atender la necesidad de aumentar la capacidad sumidero del suelo. Además, con el fin de conseguir un efecto prolongado en el tiempo de captura de carbono, a aquellos agricultores que introduzcan compromisos de plurianualidad en esta práctica se les dará un complemento al montante establecido para este ecorregimen.

La intervención también establece que el Ministerio y comunidades autónomas proporcionarán a los agricultores asesoramiento técnico con el fin de facilitar su participación y el cumplimiento de todos sus requisitos. También respecto a esta práctica, en el año 2025, en relación al uso de herbicidas, se llevará a cabo una evaluación con la información disponible hasta el momento de sus efectos, con el fin de poder modificar sus condiciones y requisitos si se observan efectos negativos.

Por otra parte, la normativa de aplicación⁸ establece que, los Estados miembros llevarán a cabo evaluaciones de sus planes estratégicos durante su ejecución y con posterioridad a esta para mejorar la calidad del diseño y la ejecución de los planes. Para ello, elaborarán un plan de evaluación que proporcionará indicaciones sobre las actividades de evaluación previstas durante el período de ejecución.

En el caso de España, se estableció el Plan de evaluación⁹ del PEPAC en 2023, donde se describe cómo se evaluará el PEPAC y se indica la planificación de distintas evaluaciones intermedias y la expost. Entre las evaluaciones planificadas, se encuentra la evaluación de la práctica 4 los ecorregímenes de agricultura de conservación-siembra directa, para el año 2025.

Se establece que, tal y como se indicó en el propio PEPAC, "en el año 2025 se llevará a cabo una evaluación temática, con la información disponible hasta el momento, sobre los efectos del uso de productos fitosanitarios en el marco de la práctica 4 de agricultura de conservación/siembra directa, con el fin de poder modificar sus condiciones y requisitos, si se

⁸ [Reglamento - 2021/2115 - EN - EUR-Lex.](#)

⁹ [plan-evaluacion-pepac-21.pdf.](#)

observan efectos negativos sobre otros objetivos del PEPAC, en particular, la contribución a la protección de la biodiversidad. Además, esta evaluación se enfocará en la absorción de carbono orgánico de los suelos agrícolas utilizados utilizando la práctica de agricultura de conservación/siembra directa”.

En consecuencia, conforme a lo previsto tanto en el PEPAC como en el Plan de evaluación, procede llevar a cabo la evaluación de la práctica de la siembra directa.

3. Objetivos de la evaluación

Evaluar los efectos de la siembra directa en los objetivos del PEPAC de reducción de la erosión del suelo, aumento de la fertilidad y de la capacidad de absorción de carbono, así como sobre la biodiversidad, teniendo en cuenta los efectos de los fitosanitarios al objeto de proporcionar conocimiento que colabore en el diseño de la intervención en los casos en los que se observaran efectos negativos, tal y como contempla el Plan de evaluación.

4. Contexto

4.1. Siembra directa

La siembra directa está considerada como una de las principales prácticas de agricultura de conservación, que se lleva a cabo en cultivos anuales y consiste en no realizar labranza sobre el suelo, ya que la supresión de labores mecánicas sobre el suelo es total. Con esta técnica, al menos el 30% de la superficie del suelo debe quedar protegida por los restos vegetales¹⁰. La siembra se realiza sobre el rastrojo del cultivo anterior con maquinaria habilitada para ello.

La gestión de los restos vegetales del cultivo anterior es fundamental, siendo esencial la distribución homogénea de la paja sobre el suelo y esparcir o picar el rastrojo. Este rastrojo contribuye a conservar y acumular agua en el perfil y a controlar la erosión.

El control de las adventicias se realiza mediante el empleo de herbicidas no residuales autorizados para estos usos, antes de que la vegetación esté desarrollada, entre la cosecha de un cultivo y el siguiente de la rotación.

Tras la siembra¹¹, los tratamientos no difieren mucho de los que se realizan en un sistema de manejo basado en el laboreo convencional, pudiendo ser necesario un tratamiento con herbicida de preemergencia en los cultivos de primavera, para prevenir germinaciones de malas hierbas posteriores a la siembra.

Esta práctica ha sido especialmente exitosa en el cultivo de cereales de invierno (cebada y trigo), cereales de primavera (maíz), leguminosas dentro de una rotación con cereales (guisante y veza) y oleaginosas (girasol)¹².

¹⁰. <https://lifeagromitiga.eu/wp-content/uploads/2022/07/A1-Manual-BPAs-Life-Agromitiga.pdf>.

¹¹ Como se verá a lo largo del informe, la AEACSV, el IRIAF Albaladejito y otros documentos como el referido a Agromitiga, indican esta información.

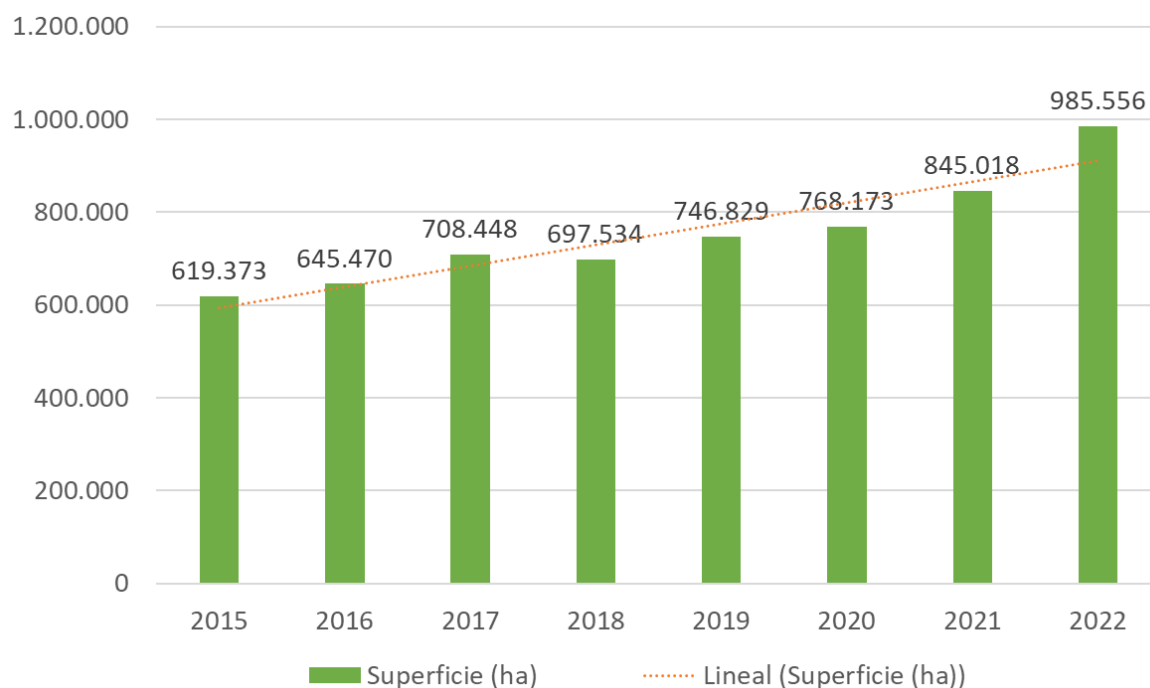
¹² <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/06409323-1599-426d-ab50-45360a55c279/download>.

El PEPAC reconoce la importancia de fomentar la adopción voluntaria de prácticas de agricultura de conservación como la siembra directa y apoyar a los agricultores para avanzar en la protección y mejora del medio ambiente, la adaptación a nuevas condiciones climáticas y la mitigación de sus impactos. En España, esta técnica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, lo que refleja el interés creciente del sector por una producción más sostenible y comprometida con la conservación de los recursos naturales.

Según los datos de la Encuesta de Superficie y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE)¹³ presentados en la Gráfica 1 la superficie dedicada a la siembra directa en España, anterior a la entrada en vigor del PEPAC 2023–2027, muestra una evolución positiva y sostenida durante el periodo 2015-2022.

En 2015, la superficie registrada alcanzaba 619.373 ha, mientras que en 2022 se situó en 985.556 ha, lo que representa un incremento del 59,1% en ocho años. Este aumento refleja una tendencia de adopción creciente de prácticas agrícolas más sostenibles, con impacto directo en la conservación del suelo y la eficiencia en el uso de recursos.

Gráfica 1. Evolución de la superficie de siembra directa en España (2015-2022).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Encuesta de Superficie y Rendimientos de Cultivos ESYRCE (2015 – 2022). Nota: en esta superficie no se encuentra incluida aquella de barbecho que es posible considerar dentro del ecorrégimen que apoya la siembra directa desde 2023.

La superficie dedicada a siembra directa en España presenta importantes contrastes regionales, tal como se recoge en la Tabla 1 con los datos aportados por la Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE 2022)¹⁴ y la Encuesta sobre la Estructura de Explotaciones Agrícolas las (EEA 2023). Si bien ambas fuentes coinciden en señalar el

¹³ [Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos \(ESYRCE\). Encuesta de Marco de Áreas de España.](#)

¹⁴ En 2023 no se dispone de datos del ESYRSE sobre siembra directa, sin embargo, se dispone de información de la Encuesta sobre la Estructura de Explotaciones Agrícolas.

avance de esta técnica de conservación del suelo, los valores reportados difieren en magnitud, lo que indica posibles diferencias metodológicas o de actualización de registros. No obstante, el análisis territorial permite identificar tendencias coherentes en la adopción de prácticas de siembra directa por comunidad autónoma.

En resumen, la superficie de siembra directa en España varía significativamente entre comunidades autónomas, con una fuerte concentración en Castilla y León, Castilla-La Mancha y Aragón, que en conjunto reúnen más del 70,0% de la superficie nacional según al menos una de las dos fuentes EEA o ESYRCE. A pesar de las diferencias en los datos absolutos entre ESYRCE y la EEA, la información recogida permite identificar un patrón claro de avance de esta técnica en el interior peninsular, vinculado a explotaciones cerealistas extensivas.

Por otro lado, regiones como Extremadura, Galicia, Asturias, Cantabria, Euskadi o La Rioja presentan cifras más reducidas, tanto en términos absolutos como relativos. En estos casos, la siembra directa representa menos del 1,0% del total nacional en la mayoría de los casos según ambas fuentes, aunque se observan pequeñas variaciones en función del registro. Sin embargo, incluso en comunidades con superficies menores, su adopción puede tener un impacto relevante en términos de sostenibilidad y eficiencia en el uso del suelo, especialmente en parcelas con alta pendiente o riesgo de erosión.

Tabla 1. Superficie de siembra directa según Comunidad Autónoma.

CCAA	Superficie SD (ha) (ESYRCE 2022)	% Peso por región	Superficie SD (ha) (EEA 2023)	% Peso por región
1. Andalucía	125.181,00	12,70	95.320,00	6,51
2. Aragón	158.048,00	16,04	279.981,00	19,11
3. Principado de Asturias	1.418,00	0,14	941,00	0,06
4. Illes Balears	1.261,00	0,13	3.403,00	0,23
5. Canarias	552,00	0,06	688,00	0,05
6. Cantabria	930,00	0,09	1.508,00	0,10
7. Castilla-La Mancha	87.143,00	33,95	182.524,00	12,46
8. Castilla y León	334.614,00	8,84	594.306,00	40,56
9. Catalunya	113.902,00	11,56	171.125,00	11,68
10. Extremadura	72.425,00	7,35	46.414,00	3,17
11. Galicia	542,00	0,05	8.272,00	0,56
12. Comunidad de Madrid	6.375,00	0,65	7.318,00	0,50
13. Región de Murcia	21.070,00	2,14	3.717,00	0,25
14. Comunidad Foral de Navarra	41.409,00	4,20	52.325,00	3,57
15. Euskadi			6.051,00	0,41
16. La Rioja	9.904,00	1,00	6.079,00	0,41
17. Comunitat Valenciana	10.782,00	1,09	5.145,00	0,35
Total nacional	985.556,00	100,00	1.465.118,00	100,00

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE 2022) (MAPA) y Encuesta sobre la Estructura de Explotaciones Agrícolas (EEA 2023) (INE). Nota: % Peso por región: proporción de superficie de siembra directa por CCAA respecto al total nacional. En Euskadi el ESYRCE no dispone de dato.

Los datos de ESYRCE de 2022 reflejan que principalmente la superficie de siembra directa se dedica al cultivo de cereal, el 88,2% (Tabla 2), no obstante reseñar que esta superficie representa el 14,8% de la superficie de cereal de 2022. Por otro lado, la superficie de otros forrajes, son el siguiente grupo de cultivos más representativo. Son estos cultivos donde se observa una proporción de superficie con técnica de siembra directa más elevada con el 16,8% de superficie dedicada a cultivos forrajes es en siembra directa. El girasol, ligeramente por debajo de la superficie otros forrajes, en siembra directa supone escasamente el 6,1% de la superficie de girasol de España en 2022.

Tabla 2. Tipo de siembra según distribución por cultivos.

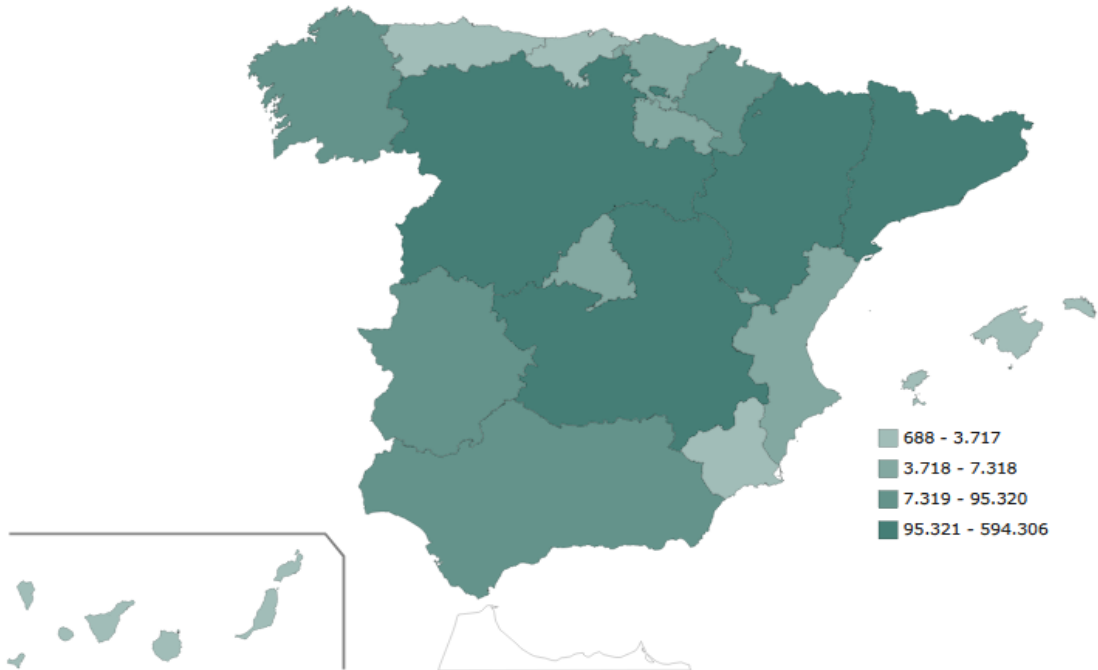
Cultivos	Siembra Directa (ha)	Siembra Tradicional (ha)	Sin Información (ha)	Total general (ha)
Cereales	869.705,00	5.007.537,00	6.915,00	5.884.157,00
Girasol	52.061,00	802.779,00	144,00	854.984,00
Maíz forrajero	2.376,00	89.123,00	168,00	91.666,00
Otros forrajes	61.415,00	297.209,00	6.551,00	365.175,00
Total general	985.556,00	6.196.648,00	13.777,00	7.195.982,00

Fuente: elaboración propia a partir de la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE 2022).

Nota: En ESYRCE se indica que Otros forrajes incluye cereales de invierno, sorgo, D/N PZ Paulownia ballico, trébol, esparceta, etc.

En conjunto, los datos evidencian que, si bien la siembra tradicional actualmente es mayoritaria, la siembra directa ha ganado presencia de forma considerable en varias comunidades, especialmente en el interior peninsular. Su consolidación en regiones con grandes extensiones agrarias permite vislumbrar un cambio progresivo en las prácticas de manejo del suelo, en línea con objetivos de sostenibilidad, reducción del laboreo y mejora en la eficiencia del uso de recursos naturales.

Figura 1. Superficie (ha) de siembra directa por Comunidad Autónoma.



Fuente: extraído de Encuesta sobre la Estructura de Explotaciones Agrícolas (2023) (INE).

Apoyo a la siembra directa antes del PEPAC

Antes de la entrada en vigor del Plan Estratégico de la PAC (PEPAC) 2023-2027, varias comunidades autónomas ya habían impulsado políticas públicas orientadas a la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, entre las que destaca la siembra directa como técnica clave de la agricultura de conservación. A través de los Programas de Desarrollo Rural (PDR) correspondientes al periodo anterior de la PAC, se articularon incentivos económicos, acciones formativas y asesoramiento técnico para fomentar el uso de esta práctica (Tabla 3).

Aproximadamente la mitad de las comunidades autónomas integraron criterios de selección, tipos de inversiones o compromisos vinculados a la siembra directa en sus estrategias regionales, lo que establece una base para la posterior incorporación de las intervenciones en el marco del PEPAC.

A continuación, en la Tabla 3, se presentan algunas de las medidas de los PDR regionales que contemplaron un cierto apoyo a la técnica de siembra directa.

Tabla 3. Medidas de Desarrollo Rural 2014 - 2020 en las regiones donde se detalla especificidades para el fomento de la siembra directa.

Comunidad Autónoma	Medida	Submedida	Compromiso
1. Andalucía	M10: Agro-ambiente y clima	10.1. Pago para compromisos agroambientales y climáticos	La realización de siembra directa, acompañada del mantenimiento de los restos de los cultivos herbáceos de secano sobre el suelo.
3.Principado de Asturias	M04: Inversiones en activos físicos	4.1. Ayuda a las inversiones de modernización en explotaciones agrícolas	Elección de equipos de siembra directa o de laboreo mínimo
7.Castilla – La Mancha	M10: Agro-ambiente y clima	10.1. Pago para compromisos agroambientales y climáticos	Realizar un laboreo de conservación mediante el empleo de la siembra directa o labores verticales preparatorias inferiores a 20 cm de profundidad sin volteo, salvo para las labores de enterramiento del barbecho sembrado.
8.Castilla y León	M01: Acciones de transferencia de conocimientos e información	2.1 Asesoramiento a las explotaciones	Realización de acciones formativas que versen sobre las medidas de prevención de la erosión de los suelos y la mejora de la gestión de los mismos, como son las acciones sobre las técnicas de siembra directa, técnicas de laboreo de conservación -mínimo laboreo y no laboreo-, coberturas vegetales y la agricultura ecológica.
	M02: Servicios de asesoramiento, gestión y sustitución destinados a las explotaciones	2.1 Asesoramiento a las explotaciones	Requisitos relacionados con la mitigación del cambio climático y del medio ambiente, entre los que se encuentran los temas relacionados con la captura de carbono, introducción de leguminosas, siembra directa y mejora en la fertilización,
	M10: Agro-ambiente y clima	10.1. Pago para compromisos agroambientales y climáticos	Enterrar el rastrojo de las parcelas cultivadas de cereal, excepto en el caso de siembra directa.

Comunidad Autónoma	Medida	Submedida	Compromiso
9.Catalunya	M10: Agro-ambiente y clima	10.1. Pago para compromisos agroambientales y climáticos	Anualmente se efectuará un máximo de dos tratamientos herbicidas en cultivos con siembra directa y un máximo de un tratamiento en cultivos convencionales Se realizarán resiembras de mejora de la biodiversidad, con técnicas manuales o de siembra directa con una periodicidad no inferior a tres años.
10.Extremadura	M04: Inversiones en activos físicos	4.4. apoyo a las inversiones no productivas vinculadas al cumplimiento de objetivos agroambientales y climáticos	Actuaciones de restauración y mantenimiento de zonas húmedas: Cultivo no productivo de cereales mediante siembra directa en parcelas colindantes a humedales sin cosecha. Cultivo no productivo de leguminosas mediante siembra directa en parcelas colindantes a humedales sin cosecha.
14.Comunidad Foral de Navarra	M10: Agro-ambiente y clima	10.1. Pago para compromisos agroambientales y climáticos	No aplicar fitosanitarios en rastrojos ni barbechos, excepto a partir del 15 de septiembre en labores de preparación para siembra directa.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de los PDR.

Apoyo a la siembra directa en el PEPAC

La práctica de siembra directa en el PEPAC está diseñada estableciendo la eliminación de las labores sobre el suelo, de modo que dicha superficie quede cubierta por restos vegetales durante todo el año.

El diseño de la intervención para poder “percibir la ayuda establece que se deberán cumplir los siguientes requisitos, en al menos un 40% de la superficie de tierra de cultivo correspondiente:

- No realizar labores de arado sobre el suelo (no laboreo)¹⁵.
- Sembrar directamente sobre los rastrojos.
- Mantener una cubierta vegetal durante todo el año.
- Llevar a cabo una rotación de cultivos sobre el total de la superficie en la que se realiza la práctica de agricultura de conservación, exceptuando a la superficie con especies plurianuales, salvo en su año de implantación. Se considerará rotación también a aquella que tenga lugar en el mismo año. Las tierras sembradas de leguminosa no podrán ir seguidas en la rotación de cultivos por tierras en barbecho.

También promueve un efecto prolongado en el tiempo, incentivando económicamente a aquellas personas que apliquen un compromiso de plurianualidad, que consiste en acceder a un complemento adicional si el compromiso se mantiene el año siguiente. Establece que el Ministerio y comunidades autónomas proporcionarán a los agricultores asesoramiento técnico con el fin de facilitar su participación y el cumplimiento de todos sus requisitos.

¹⁵ Excepcionalmente, por causas debidamente justificadas, la autoridad competente, podrá permitir algún tipo de laboreo vertical (que no invierta la tierra), 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.

En el caso de las tierras de cultivo en regadío, se exige una gestión sostenible de insumos, por lo que también se establecen los siguientes requisitos:

Disponer de un Plan de abonado.

Se deberán registrar las operaciones de aporte de nutrientes y materia orgánica al suelo agrario y de agua de riego en el cuaderno de explotación agrícola o, el cuaderno digital de explotación agrícola. Las autoridades competentes deberán establecer los requisitos adicionales para el caso de que una explotación esté situada en zonas vulnerables, de acuerdo con la Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura o en zonas con otras limitaciones medioambientales específicas que eleven la línea de base respecto a la línea de base general.”

4.2. Erosión del suelo

La erosión del suelo es un proceso natural que ocurre a lo largo del tiempo geológico y, de hecho, es esencial para la formación del suelo. En cuanto a la degradación del suelo, la mayor preocupación se relaciona con la erosión acelerada, cuya tasa natural se ha incrementado significativamente, principalmente debido a la actividad humana. La erosión hídrica del suelo es un problema generalizado en toda Europa.

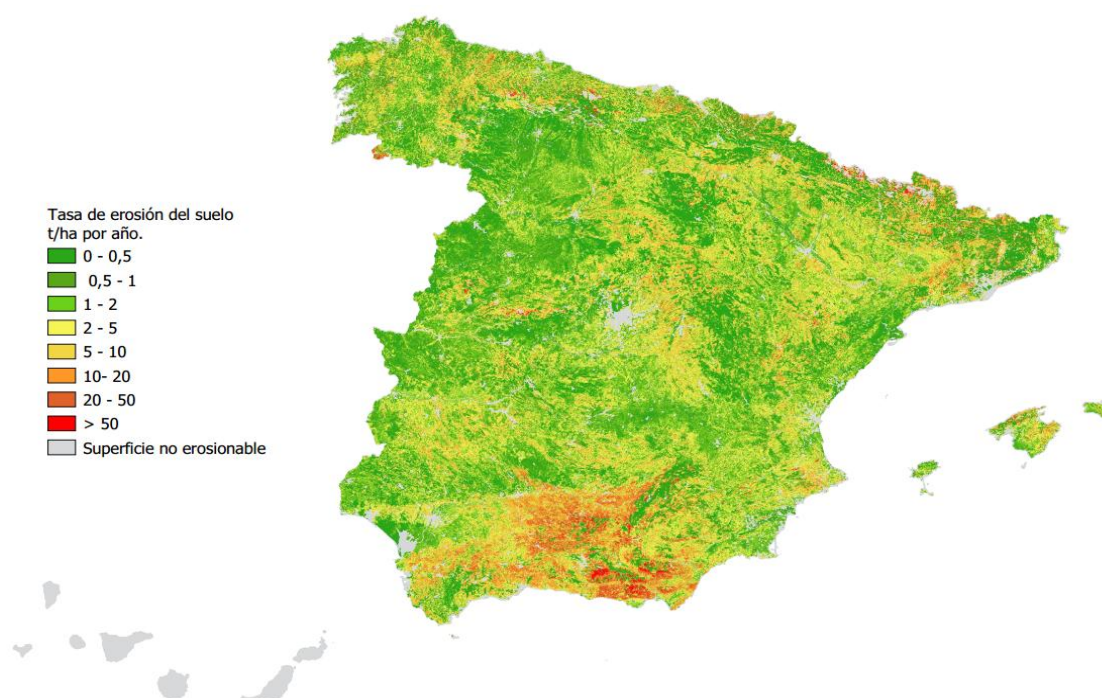
Los procesos de erosión del suelo implican el desprendimiento de material mediante dos aspectos: el impacto de las gotas de lluvia y la tracción del flujo; y el transporte por saltación a través del aire o por el flujo fluvial superficial. La escorrentía es el principal factor directo de la erosión hídrica severa y, por lo tanto, los procesos que influyen en ella desempeñan un papel importante en cualquier análisis de la intensidad de la erosión del suelo.

La tasa de erosión es muy sensible tanto al clima y al uso del suelo, como a las prácticas de conservación aplicadas a nivel de explotación. La región mediterránea es particularmente propensa a la erosión debido a que está sujeta a largos períodos secos seguidos de fuertes lluvias erosivas que caen sobre laderas empinadas con suelos frágiles. En algunas partes de la región mediterránea, la erosión ha alcanzado un estado de irreversibilidad y en algunos lugares la erosión prácticamente ha cesado porque ya no queda suelo¹⁶.

Las evaluaciones de la erosión del suelo, con el apoyo del indicador de contexto C41 “Porcentaje de tierras agrícolas con nivel de erosión del suelo moderado o grave”, se basan en el resultado de una versión mejorada del modelo de Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (llamado RUSLE2015) (JRC-Ispra) que fue desarrollado para evaluar la erosión del suelo por el agua en la Unión Europea. El modelo proporciona una estimación de la erosión del suelo por el agua sobre la base del conocimiento científico, manuscritos publicados revisados por pares, juicios técnicos y conjuntos de datos de entrada, como se muestra en la Figura 2.

¹⁶ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion#cite_note-39.

Figura 2. Erosión del suelo por el agua (RUSLE 2015).

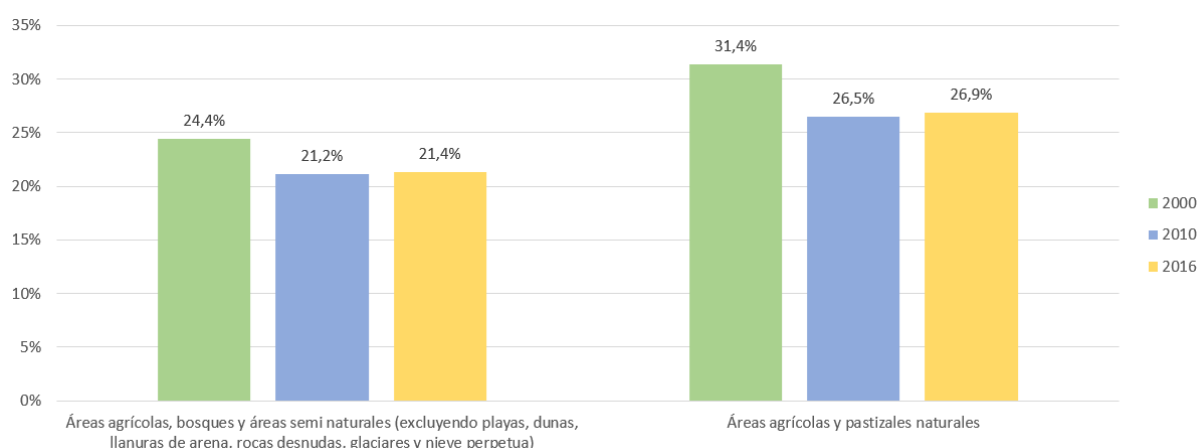


Fuente: European Soil Data Centre (ESDAC), (RUSLE2015).

A través de este indicador para España se estima que el 21,4% de todas las tierras propensas a la erosión se vieron afectadas por una erosión moderada o grave del suelo (con pérdidas de más de 5 toneladas por ha al año) en 2016 (Gráfica 2). Este porcentaje asciende a 26,9% solo para las superficies agrícolas y pastizales naturales.

En la superficie agrícola y de pastizales naturales, se observa un descenso de 4,5 puntos porcentuales respecto al año 2000 y un ligero ascenso al compararlo con 2010 de 0,4%.

Gráfica 2. Porcentaje de superficie afectada por erosión hídrica moderada o severa del suelo 2000-2016 en España (%).

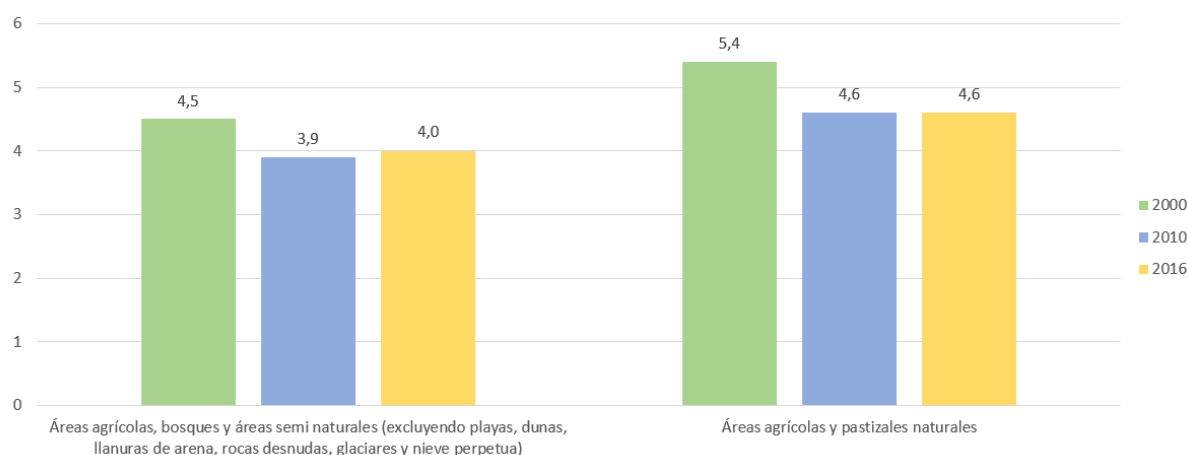


Fuente: elaboración propia a partir de los datos Eurostat ([aei_pr_soiler](#)).

La tasa media de erosión del suelo por el agua fue de 4 toneladas por ha y año en todas las tierras propensas a la erosión de España en 2016. En cuanto a las superficies agrícolas y pastizales naturales, la tasa media fue mayor, 4,6 t/ha/año. Esta tasa media de erosión

presenta un descenso durante el periodo 2000 a 2016 en las superficies agrícolas y pastizales naturales (Gráfica 3).

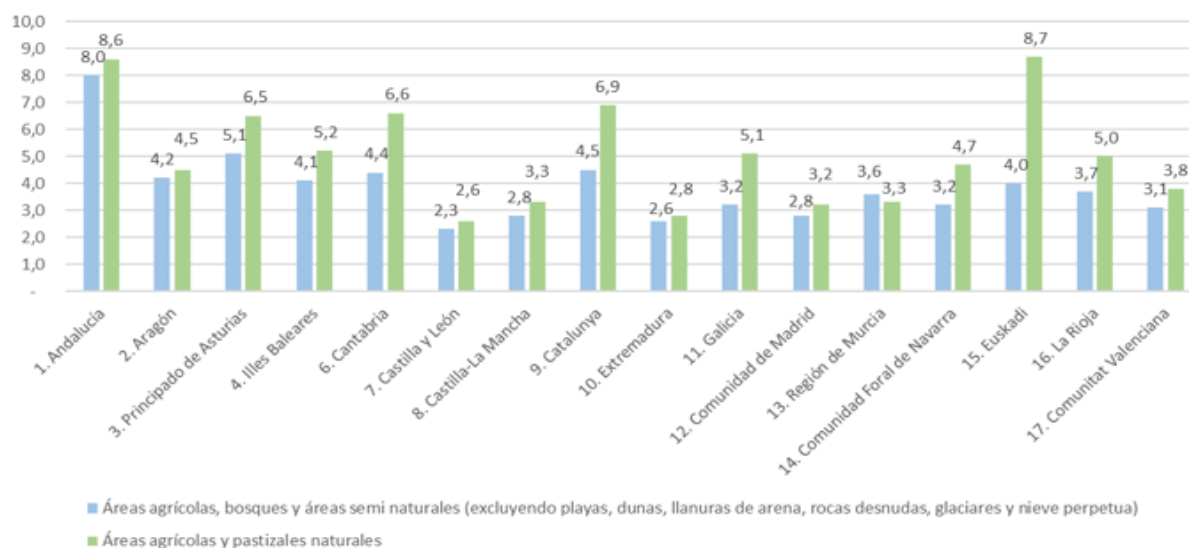
Gráfica 3. Tasa media de erosión 2000-2016 (t/ha/año) en España.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos Eurostat ([aei_pr_soiler](#)).

En 2016 en la mayoría de las comunidades autónomas CCAA, la tasa media de erosión fue más alta en las zonas agrícolas y pastizales naturales en comparación con todas las tierras propensas a la erosión, excepto en la Región de Murcia (Gráfica 4). La mayor diferencia se observa en Euskadi, Catalunya y Cantabria mientras que la menor diferencia en Aragón, Castilla y León y Comunidad de Madrid.

Gráfica 4. Tasa media de erosión 2000-2016 (t/ha/año) por CCAA.

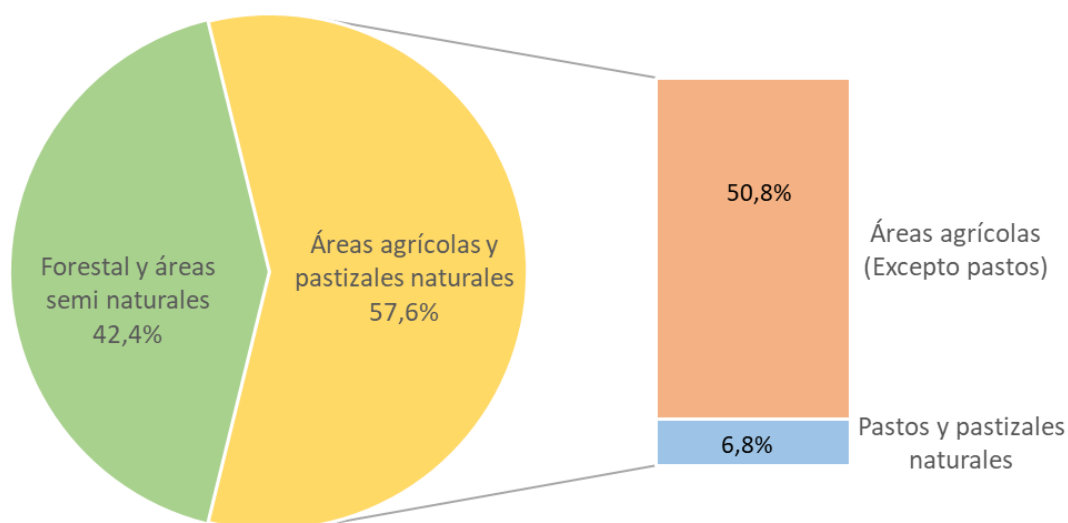


Fuente: elaboración propia a partir de los datos Eurostat ([aei_pr_soiler](#)).

Las zonas agrícolas y pastizales naturales representaron más de la mitad de la superficie de todas las tierras propensas a ser erosionadas (57,6%) en 2016 en España (Gráfica 5).

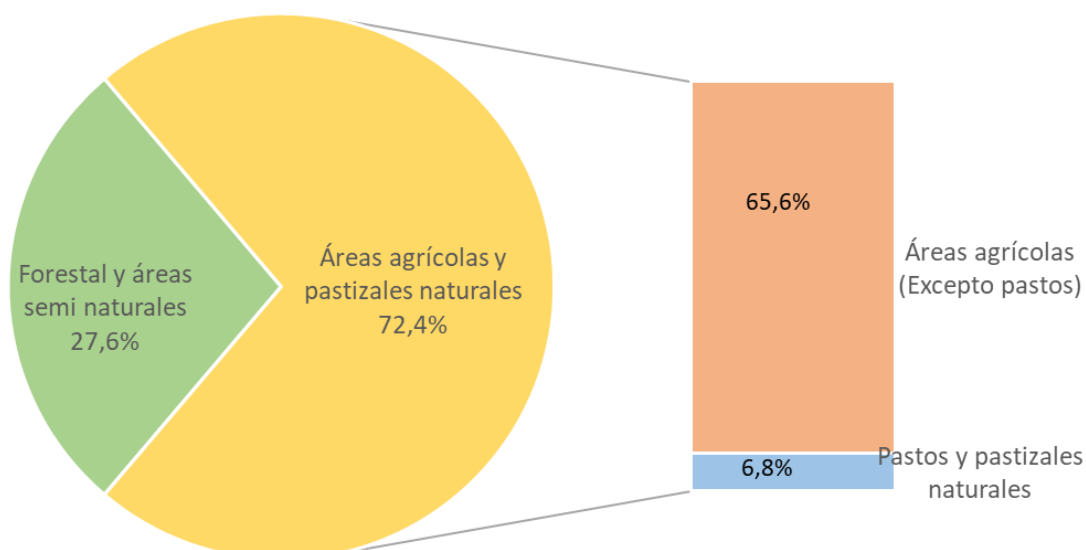
La proporción de superficie agrícola y pastizales con riesgo de pérdida de suelo moderado y severo en 2016 es del 72,4 para España (Gráfica 6). Las superficies agrícolas, excluidos los pastizales y los pastizales naturales, son más propensas a la erosión y representaron el 65,6% de la superficie afectadas por una erosión moderada o grave del suelo en 2016.

Gráfica 5. Porcentaje superficie por usos de suelo (referido a la nomenclatura de corine land cover) en España, 2016 (%).



Fuente: elaboración propia a partir de los datos Eurostat ([aei_pr_soiler](#)).

Gráfica 6. Porcentaje superficie con riesgo de pérdida de suelo moderada o severa en España, 2016 (%).

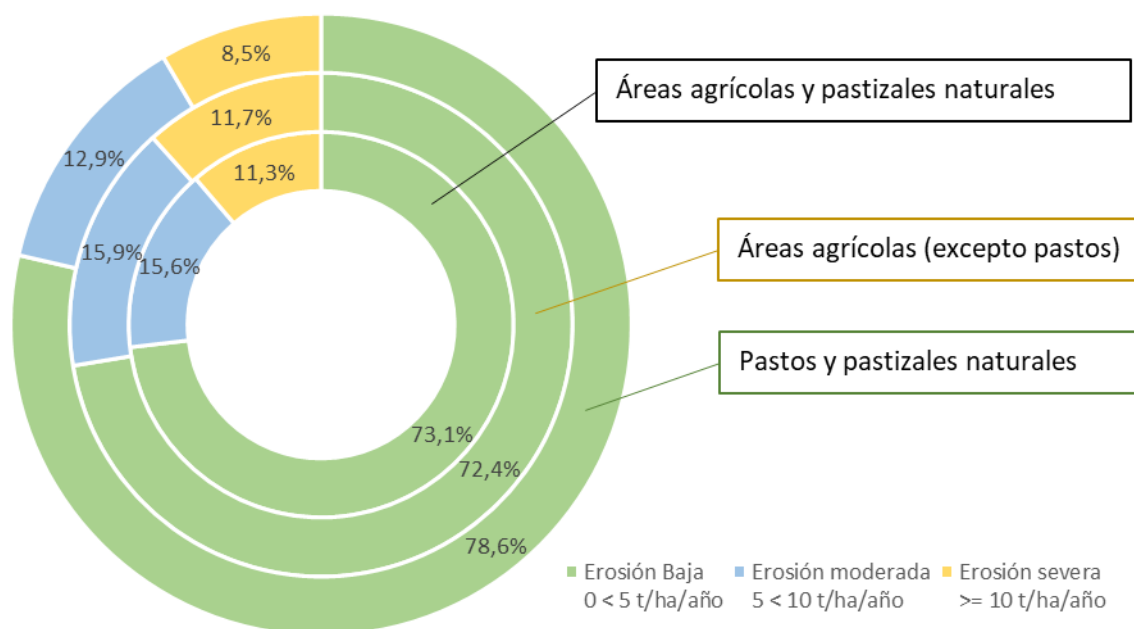


Fuente: elaboración propia a partir de los datos Eurostat ([aei_pr_soiler](#)).

Al comparar el peso de la superficie afectadas por una erosión moderada o grave del suelo en los distintos tipos de cobertura de suelo agrícola, se observa que más del 70% se clasificaron como de baja erosión (0 a <5 t/ha/año) en la España en 2016 (Gráfica 7). Los pastos y pastizales naturales tuvieron la tasa más baja de erosión severa con el 8,5%,

mientras que el 12,9% se corresponde con una erosión moderada. En el caso de otras zonas agrícolas (excluidos los pastos y los pastos naturales), el 11,7% se clasificó como erosión grave y el 15,9% como moderado para España.

Gráfica 7. Porcentaje superficie con riesgo de pérdida de suelo baja, moderada o severa por tipo de cobertura agraria en España, 2016 (%).



Fuente: elaboración propia a partir de los datos Eurostat ([aei pr soiler](#)).

Los datos de la tasa de erosión en 2016, categorizada como erosión baja, modera y severa de las diferentes regiones de España (nivel provincial), reflejan en la Figura 3. que las zonas del norte y noroeste de España, el sur este de Andalucía, Guadalajara y las Isla Baleares tienen una mayor tasa de erosión media.

Figura 3. Erosión del suelo por el agua en zonas agrícolas y pastizales naturales, provincias, 2016.



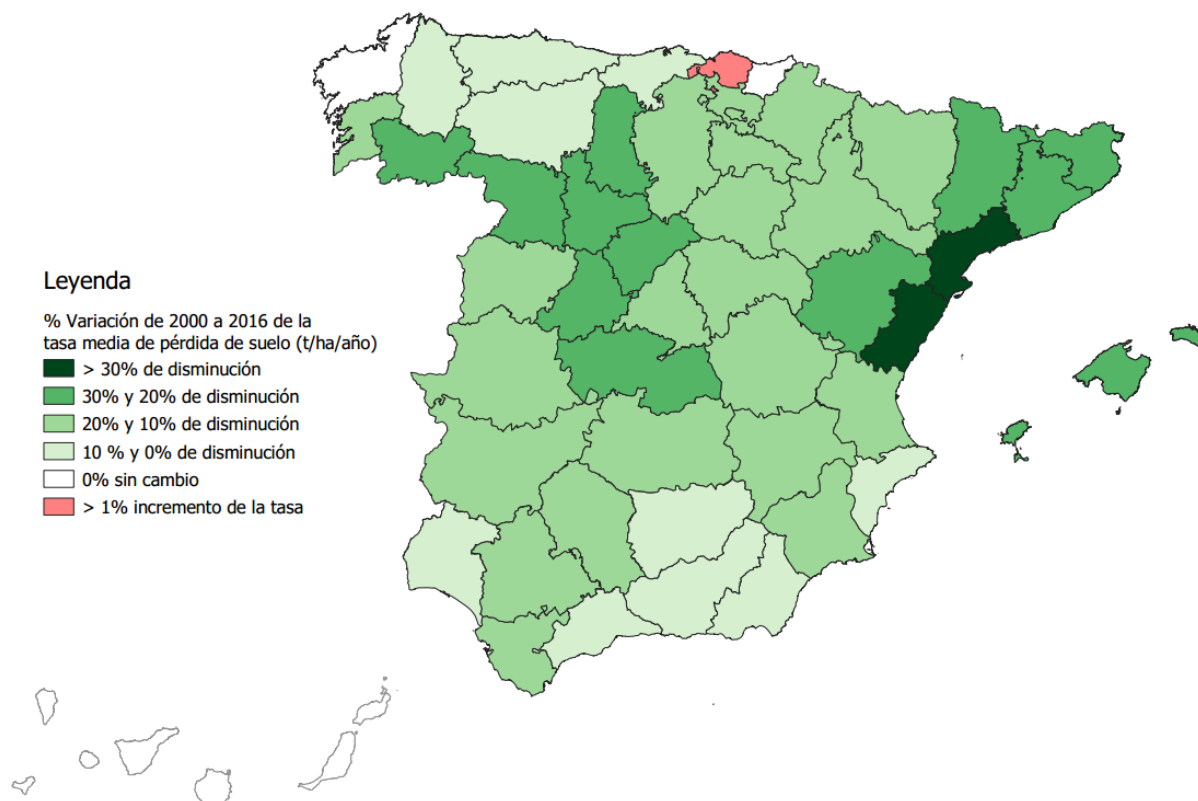
Nota: De Canarias no se dispone de datos.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos Eurostat ([aei pr soiler](#)).

En general, en la mayor parte de las provincias se ha estimado una disminución de la erosión del suelo entre los años 2000 y 2016. Las provincias de Tarragona y Castellón son donde mayor disminución de la tasa de erosión se registra con una disminución superior al 30%.

Por otro lado, se encuentran Bizkaia con un ligero incremento de la tasa de erosión y A Coruña y Gipuzkoa que mantienen la tasa sin variación (Figura 4). El resto de provincias presentan un descenso en la tasa media de pérdida de suelo por agua menor del 30%.

Figura 4. Variación de la proporción de erosión del suelo causada por el agua en las zonas agrícolas y los pastizales naturales, 2000 y 2016, provincias.



Nota: de Canarias no se dispone de datos.

Fuente: elaboración propia a partir de los datos Eurostat ([aei pr soiler](#)).

4.3. Materia orgánica

La materia orgánica del suelo se origina principalmente a partir de residuos vegetales y animales en descomposición, aunque también incluye aportes microbianos, fúngicos y de la fauna edáfica, que representan una fracción viva proporcionalmente menor pero funcionalmente muy activa y trascendental en estos procesos. Estos organismos son responsables de transformar y descomponer los materiales orgánicos, en un proceso cuya eficiencia depende en gran medida de factores como la temperatura, la humedad y las condiciones ambientales del suelo. A medida que avanza la descomposición, parte de la materia orgánica se estabiliza mediante su asociación con la fracción mineral del suelo, lo que da lugar a formas más persistentes de carbono orgánico, esenciales para la estructura del suelo, su capacidad de retención de agua y nutrientes, y la mitigación del cambio climático.

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente clave en la salud y funcionalidad de los ecosistemas terrestres, al constituir la fracción más importante de la materia orgánica del suelo. Su presencia está estrechamente relacionada con los procesos biológicos, físicos y químicos del suelo, y su contenido depende tanto de factores naturales —como el clima, la vegetación o cobertura del terreno y la topografía— como de actividades humanas relacionadas con el uso del suelo, las prácticas de manejo y los procesos de degradación. El COS representa el segundo mayor reservorio de carbono del planeta después de los océanos

con aproximadamente 2.344 gigatoneladas (Gt) almacenadas globalmente. Por tanto, debido a la importancia del COS en la mitigación del cambio climático y en la provisión de servicios ecosistémicos.

El intercambio anual de carbono entre el suelo y la atmósfera puede experimentar grandes variaciones, por factores como las prácticas agrícolas, el tipo de cobertura vegetal o el estado de drenaje del suelo y las condiciones climáticas. A su vez, el COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo y resulta fundamental para todos los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en él.

El indicador de contexto C.40 “Carbono orgánico del suelo en las tierras agrícolas” (Tabla 4), presenta los datos de carbono orgánico en el suelo, expresado en megatoneladas (Mt), junto con el contenido medio de materia orgánica en gramos por kilogramo (g/kg), para los años 2009, 2015 y 2018. Se incluyen estimaciones para distintos usos del suelo de tierras cultivables (tierras de cultivo, praderas y cultivos permanentes)¹⁷.

Durante el período analizado, el contenido total de carbono orgánico en tierras cultivables muestra variaciones notables. En 2009 se registraron 766,77 Mt, con un incremento en 2015 que alcanzó los 944,01 Mt, seguido de una disminución a 757,24 Mt en 2018. A lo largo de los tres años, el contenido medio de materia orgánica en el suelo se mantuvo relativamente estable, con valores entre 14,91 y 15,64 g/kg.

En relación a las tierras de cultivo, el carbono orgánico disminuyó en 2015 con respecto a 2009, aunque en 2018 volvió a incrementarse. Por otro lado, el carbono en praderas alcanzó su valor más alto en 2015, mientras que en 2018 se observó una reducción. En el caso de los cultivos permanentes, solo se dispone de datos para el año 2015, con un total de 200,10 Mt.

Tabla 4. Contenido de carbono orgánico en Megatoneladas (Mt) y materia orgánica (g/Kg) en el suelo.

Año	*COS en tierras cultivables (Mt)	Contenido medio de materia orgánica (g/kg)	COS en Tierras de cultivo (Mt)	COS en pradera (Mt)	COS en Cultivos permanentes (Mt)
2009	766,77	15,64	549,07	217,69	-
2015	944,01	14,91	345,70	398,24	200,10
2018	757,24	15,61	518,32	238,92	-

Nota: *COS: carbono orgánico en suelo.

Fuente: elaboración propia a partir de datos Eurostat (C.40).

Según el subindicador C40.3 *la estimación en el cambio COS a lo largo del tiempo*, la variación de COS en España entre 2009 a 2018 disminuye en un 0,18%. La Figura 5 muestra una distinta evolución territorial de la variación del contenido de materia orgánica en los suelos de España.

En el centro del país, la Comunidad de Madrid presenta el mayor aumento en los contenidos de COS durante el periodo 2009-2018, el cambio en el COS se sitúa dentro del rango del 0,65

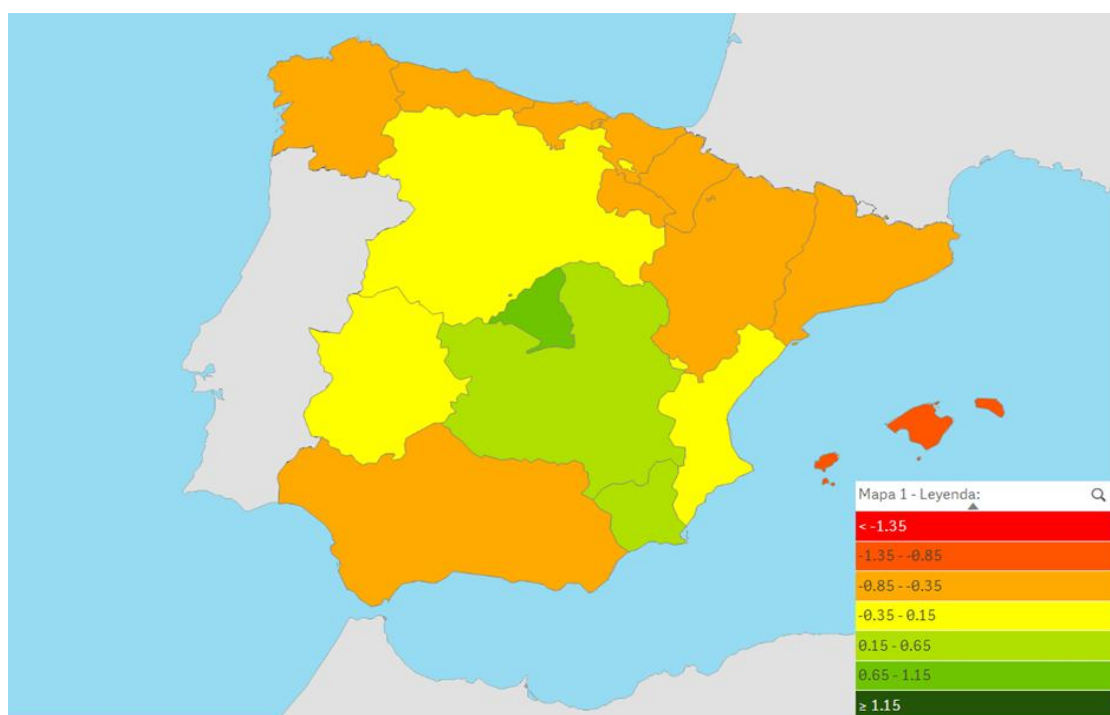
¹⁷ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion#Context.

al 1,15%. Esta tendencia positiva también se observa en Castilla-La Mancha y Región de Murcia, donde el incremento en el contenido de carbono se sitúa entre 0,15 y 0,65%.

En contraste, las Islas Baleares presentan la mayor disminución de COS durante el periodo, con valores de reducción entre -1,35% y -0,85% de COS. El contenido en el COS también disminuye en Andalucía y las regiones del Norte de España (rango -0,85 a -0,35% de pérdida de COS).

En Castilla y León, Extremadura y Comunidad Valenciana, el contenido en COS se mantiene estable con variaciones en torno a cero (rango -0,35 de pérdida de COS a 0,15% de aumento).

Figura 5. Porcentaje de carbono orgánico en el suelo (2009-2018).



Fuente: elaboración propia a partir de serie de datos de Eurostat (2009 – 2018). Datos disponibles es C41 Materia orgánica en tierras cultivables (europa.eu).

4.4. Emisiones de gases de efecto invernadero

El sector agrícola desempeña un papel dual frente al contexto de cambio climático: por un lado, actúa como fuente significativa de emisiones, y por otro, tiene potencial como sumidero de carbono a través de prácticas sostenibles en el uso del suelo¹⁸.

El indicador C.44 “Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura”¹⁹ se desarrolla con el propósito de cuantificar y analizar las emisiones netas y brutas derivadas de actividades agrícolas, así como su peso relativo dentro del conjunto de emisiones nacionales. Para su elaboración, se integran siete indicadores específicos que permiten una desagregación detallada de las fuentes y sumideros procedentes de la agricultura y el uso de la tierra.

La medición de estos indicadores se basa en metodologías estandarizadas desarrolladas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)²⁰, lo que asegura la comparabilidad internacional y la coherencia con los inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La información derivada de este indicador no solo permite identificar tendencias y evaluar el impacto de prácticas agrícolas en el balance de GEI, sino que también constituye una herramienta clave para orientar políticas agrarias alineadas con los compromisos climáticos nacionales e internacionales.

Las emisiones del sector agrario (agricultura y ganadería)²¹ en el año 2023 representaron 32.885 kt de CO₂ equivalente (CO₂-eq), lo que supone un 12,2 % de las emisiones totales del Inventario Nacional (269.968 kt de CO₂ equivalente (CO₂-eq)). Las emisiones agrarias en este último año disminuyeron en un -2,1 % respecto a al anterior 2022 y un -1,5 % respecto al año 1990, aunque con distintas tendencias entre las categorías del sector.

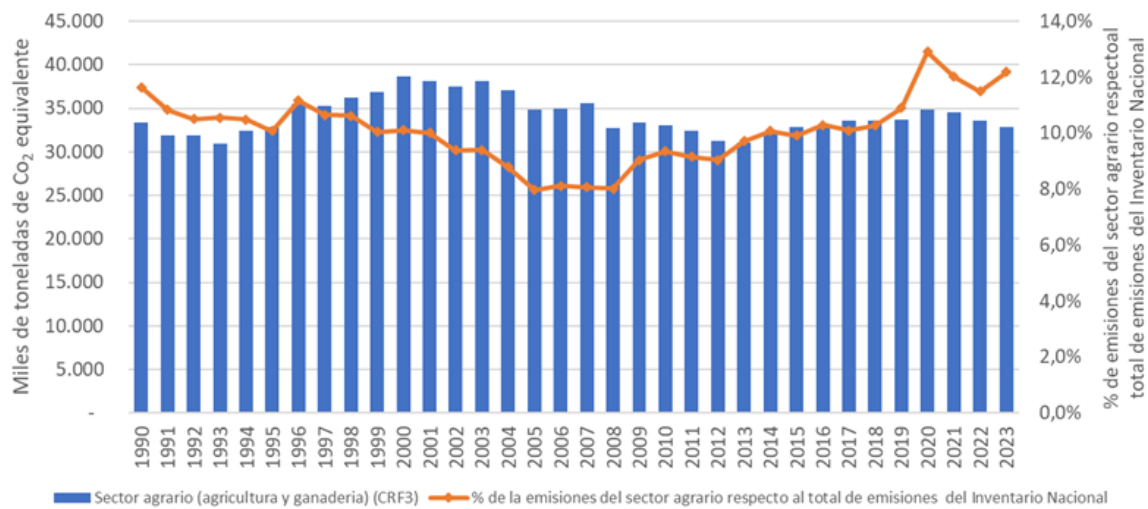
¹⁸ [Sector agrícola y ganadero](#) (MITERD).

¹⁹ [PMEF Data Explorer](#).

²⁰ [Español — IPCC](#)

²¹ Según la nomenclatura del [Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero \(GEI\)](#) la información presentada es sobre CRT3 sector agrario.

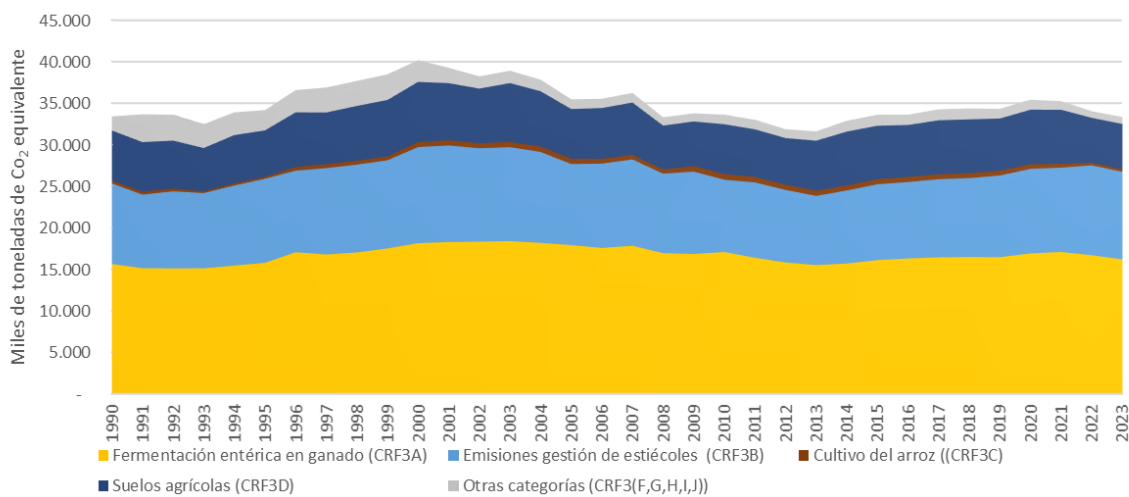
Gráfica 8. Evolución de las emisiones del sector agrario (kt de CO₂ equivalente (CO₂-eq)) y % respecto al total de emisiones del Inventario Nacional de emisiones GEI.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat²².

La Gráfica 9 se presentan, en términos de CO₂-eq, las emisiones del sector agrario desglosadas por categorías según la nomenclatura CRT para los años 2008 y 2023. Las fluctuaciones en estos últimos 15 años son fruto de la variación de las principales categorías de este sector: el número de efectivos de la cabaña ganadera y su rendimiento productivo (3A), el 49,2% de las emisiones agrarias en 2023, la evolución en la gestión de estiércoles (3B), el 32% en 2023 y la cantidad de fertilizantes inorgánicos y orgánicos aplicados al suelo (3D) que representa el 16,5% en esta última anualidad.

Gráfica 9. Evolución de las emisiones del sector agrario (kt de CO₂ equivalente (CO₂-eq)) por categorías del Inventario Nacional de emisiones (GEI).

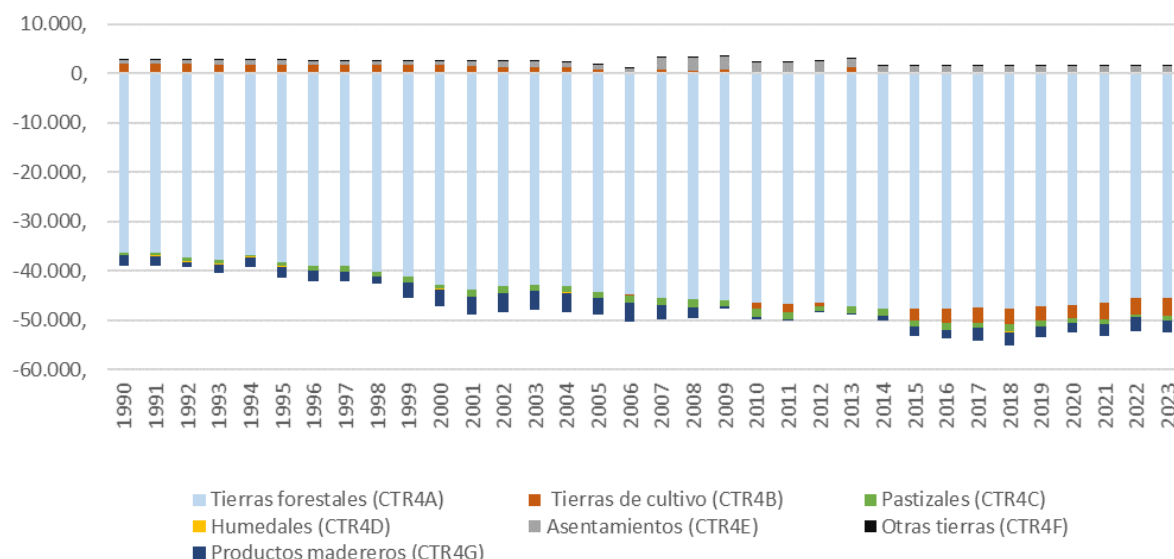


Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat.

²² Eurostat. (n.d.). Greenhouse gas emissions by source sector (env_air_gge). European Commission. Consultado en enero 2025.
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_air_gge_custom_12082668/default/table?lang=en

Por otro lado, también hay que tener en cuenta las emisiones y absorciones por el Uso de la Tierra, Cambios del Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS)²³. Los datos de las emisiones/absorciones del sector UTCUTS están dominadas por la categoría tierras forestales y los productos madereros (Gráfica 10).

Gráfica 10. Evolución de las emisiones y absorciones del sector UTCUTS (kt de CO₂ equivalente (CO₂-eq)) por categorías del Inventario Nacional de emisiones (GEI).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat.

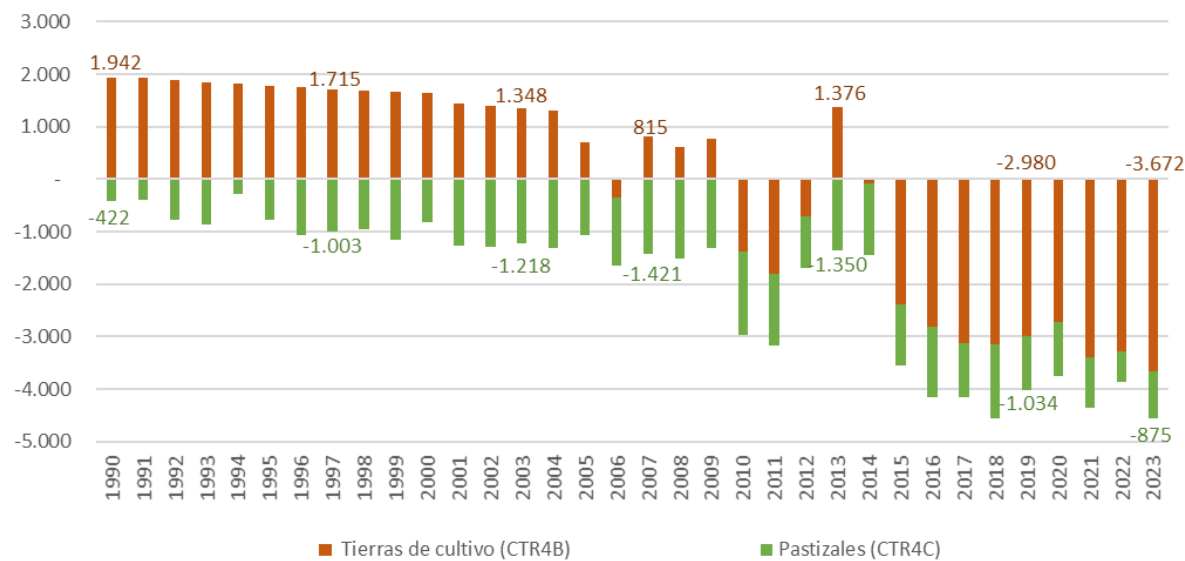
En la Gráfica 12 se muestra la evolución de las emisiones y absorciones de UTCUTS de las tierras de cultivo y pastizales, para el período 1990–2023.

La serie correspondiente a las tierras de cultivo (barras naranjas) presenta una tendencia general decreciente en emisiones netas a lo largo del tiempo, con varios puntos de inflexión. Durante los primeros años de la serie (1990-2004), las tierras de cultivo se mantuvieron como emisoras netas de GEI, con valores cercanos o superiores a las 2.000 kilotoneladas. A partir de 2005, se observa una reducción progresiva, interrumpida por ciertos aumentos puntuales (especialmente en 2009 y 2015), hasta alcanzar niveles de absorción neta superiores a las 3.300 kilotoneladas hacia el final del período (2021-2023).

En cuanto a los pastizales (barras verdes), la tendencia también ha sido ligeramente decreciente en términos de emisiones netas, pero de manera más moderada y estable en comparación con las tierras de cultivo. Desde la década de 1990, los pastizales han funcionado principalmente como sumideros de carbono, con absorciones que oscilaban entre 400 y 1.000 kilotoneladas. Desde 2007 a 2018, estas absorciones se han incrementado ligeramente hasta alcanzar valores cercanos a los 1.400–1.500 kilotoneladas de CO₂ equivalente y mantener un comportamiento más constante en el tiempo, hasta los 5 últimos años donde se observan otra vez una caída de los valores por debajo de 1.000 de absorción.

²³ Este sector clasifica los usos de la tierra en seis categorías: Tierras forestales, Tierras de cultivo, Pastizales, Humedales, Asentamientos y Otras tierras que en la nomenclatura CRT vienen referidas como 4A, 4B, 4C, 4D, 4E y 4F, respectivamente.

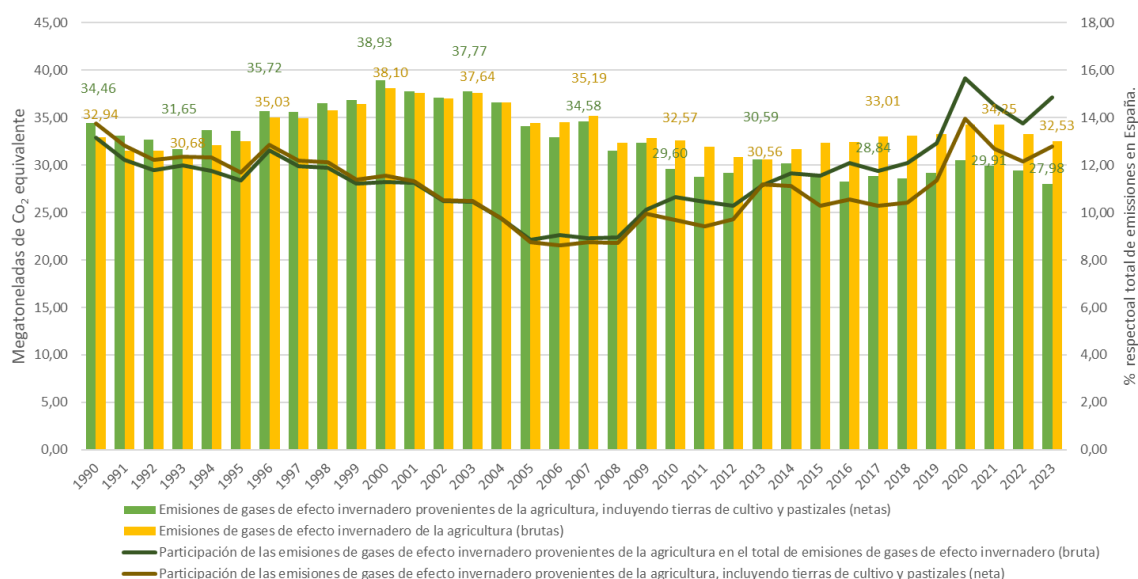
Gráfica 11. Emisiones y absorciones (kilotoneladas de CO₂) de los suelos agrícolas (1990-2023).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat.

Por último, en la Gráfica 12 como resumen se recoge la información de las emisiones brutas, aquellas que corresponden con el valor CRT3 sector agrario, y las emisiones netas en las cuales también se consideran las emisiones y absorciones de las tierras de cultivo y pastizales de UTCUTS. A lo largo del periodo analizado, las emisiones brutas han presentado un comportamiento fluctuante y presentan un crecimiento sostenido hasta aproximadamente el año 2000, momento en el cual se alcanzan algunos de los valores más altos de la serie. Posteriormente, se observa un descenso gradual que se prolonga hasta 2014, año a partir del cual las emisiones vuelven a incrementarse, aunque sin llegar a superar los máximos registrados previamente. En el año 2023, las emisiones brutas se sitúan por debajo del año base 1990, manteniéndose por debajo de los picos más altos de la serie temporal.

Gráfica 12. Emisiones brutas y netas (kilotoneladas de CO₂eq) en la agricultura española (1990 – 2023).



Nota: Porcentaje de emisiones en el total es el peso de las emisiones de GEI de agricultura respecto al total de emisiones de GEI en España.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Agridata (1990 – 2023).

En lo que respecta a las emisiones netas han seguido una trayectoria similar a la de las brutas durante buena parte del período, especialmente hasta la primera década del siglo XXI. No obstante, a partir de ese momento se produce una desaceleración en su crecimiento. Durante la última década, las emisiones netas se han mantenido relativamente estables e incluso han mostrado un leve descenso hasta alcanzar en los últimos años los valores más bajos de toda la serie, coincidiendo con los valores totales de emisión y adsorción de UTCUTS de las tierras de cultivo y pastizales más altos.

4.5. Uso de Herbicidas

El uso de plaguicidas en la agricultura ha sido históricamente una práctica extendida para garantizar el control de plagas, enfermedades y malas hierbas, intentando favorecer la productividad agrícola. Sin embargo, su uso excesivo o inadecuado ha generado importantes repercusiones ambientales y sanitarias, lo que ha motivado, entre otros aspectos, a la Unión Europea a establecer objetivos de reducción progresiva, tanto en términos de volumen como de riesgo. En 2020, la Comisión Europea lanzó objetivos no vinculantes que establecían la necesidad de reducir en un 50 % el uso y riesgo de plaguicidas químicos y de plaguicidas más peligrosos²⁴ para el año 2030.

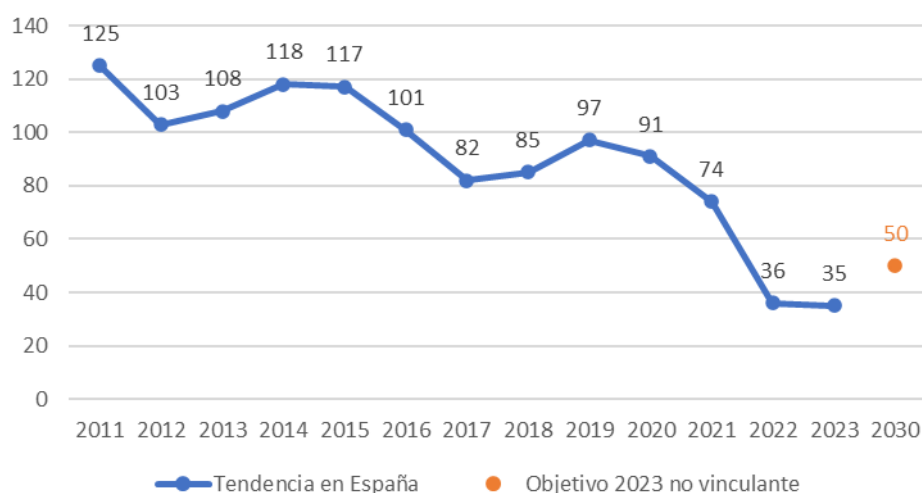
En el ámbito de España²⁵, se ha logrado disminuir gradualmente el uso y riesgo de plaguicidas químicos hasta alcanzar una reducción del 59% para el periodo 2018-2023, superando de

²⁴ Los plaguicidas más peligrosos son los productos fitosanitarios que contienen una o más sustancias activas aprobadas como candidatas a la sustitución de conformidad con el artículo 24 del Reglamento (CE) n.º 1107/2009 y que figuran en la parte E del anexo del Reglamento de Ejecución (UE) n.º 540/2011, o que contienen una o más sustancias activas enumeradas en el anexo del Reglamento de Ejecución (UE) 2015/408.

²⁵ [Estados miembros: Tendencias - Seguridad alimentaria - Comisión Europea.](#)

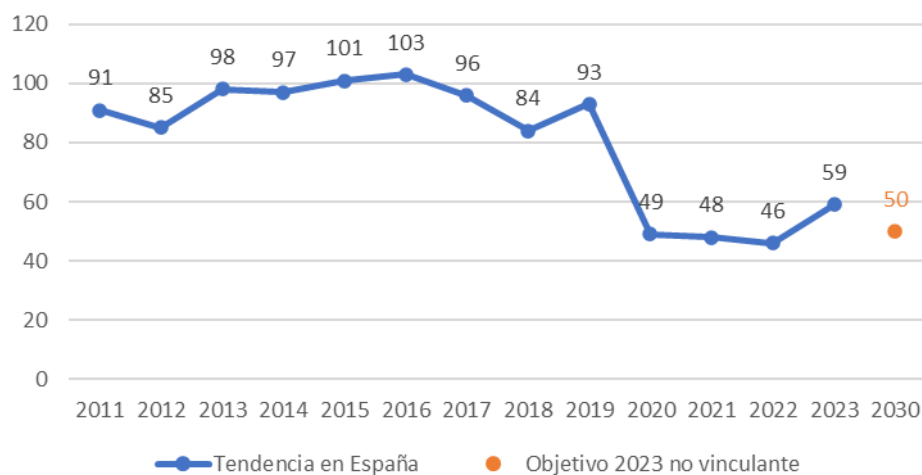
esta manera el objetivo marcado para 2030 (Gráfica 13). Queda aún pendiente alcanzar la meta de los plaguicidas más peligrosos, ya que aunque se reduce de 2018-2023, un 29,8% su uso, aún no se alcanza el objetivo marcado para 2030 (Gráfica 14). Entre los dos últimos años con reporte de datos (2022-2023), la disminución en España ha sido de un 1,0% en plaguicidas químicos mientras que hay un incremento de 13% en los más peligrosos en la última anualidad.

Gráfica 13. Tendencias en el uso y riesgo de plaguicidas químicos (2011-2023).



Fuente: elaboración propia en base a datos de seguridad alimentaria, European Commission²⁶.

Gráfica 14. Tendencias en el de plaguicidas más peligroso (2011-2023).



Fuente: elaboración propia en base a datos de seguridad alimentaria, European Commission.

Los datos del indicador de contexto C.49 “Riesgo, uso y repercusiones de los plaguicidas”²⁷, de la Gráfica 15 muestra la evolución del Indicador de Riesgo Armonizado 1 (HRI 1) para España y el conjunto de la Unión Europea (UE) entre los años 2011 y 2023, basado en las cantidades de sustancias activas vendidas en productos fitosanitarios. Este indicador permite observar los cambios en el uso y el riesgo asociado a los plaguicidas a lo largo del tiempo, al

²⁶ [Uso sostenible de plaguicidas - Seguridad alimentaria - Comisión Europea.](#)

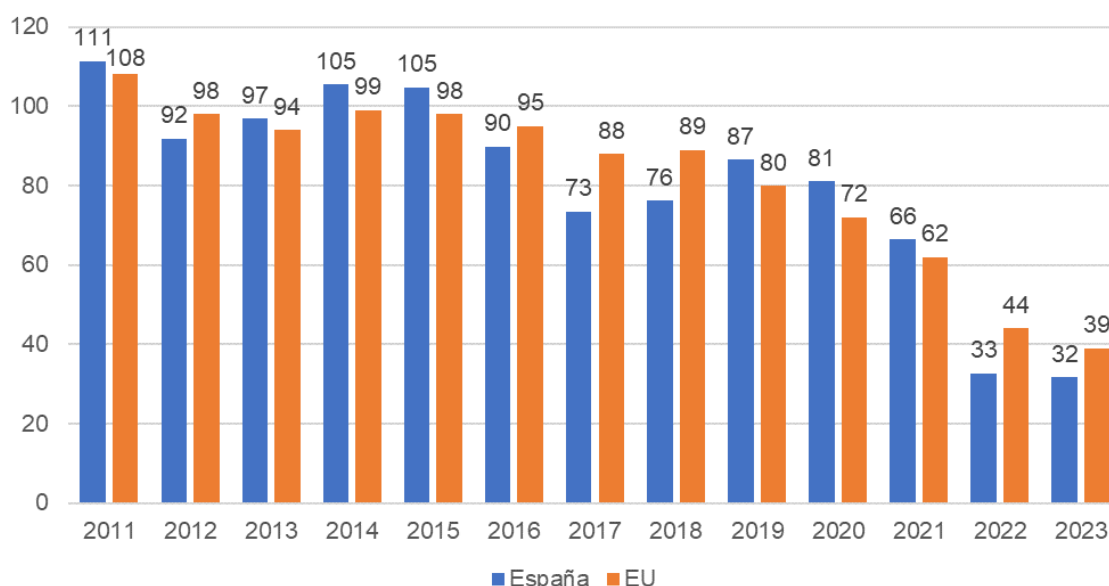
²⁷ [PMEF Data Explorer](#)

medir una tendencia en relación a los riesgos asociados a los productos fitosanitarios utilizados en EU y en España desde la entrada en vigor de la Directiva 2009/128/CE sobre el uso sostenible de los plaguicidas²⁸.

Durante el período representado, se observa una disminución progresiva del HRI 1 tanto en España como en la UE. En los primeros años, especialmente entre 2011 y 2015, los valores se mantienen relativamente altos y estables, con diferencias leves entre España y el promedio europeo. A partir de 2016, ambos contextos geográficos comienzan a mostrar una tendencia de descenso más marcada, con caídas más acusadas entre 2017 y 2023.

En los últimos años del periodo analizado, especialmente entre 2020 y 2023, se aprecia una reducción aún más pronunciada en ambos casos. En 2022 y 2023, los niveles del indicador se sitúan muy por debajo de los valores iniciales. Además, se puede observar que, en la mayoría de los años posteriores a 2016, España presenta valores más bajos que la medida de la UE, lo que indica diferencias en la evolución del uso de plaguicidas entre ambos contextos.

Gráfica 15. Indicador de riesgo armonizado HR1 (2011-2023).



Fuente: elaboración propia en base a datos de Eurostat²⁹ y del MAPA³⁰.

La Gráfica 16 presenta la evolución del Indicador de Riesgo Armonizado 2 (HRI 2) para España y el conjunto de la Unión Europea (UE) entre los años 2011 y 2023. Este indicador está relacionado con el uso de productos fitosanitarios considerados más peligrosos, como aquellos que requieren medidas específicas de reducción de riesgo, mide el número de autorizaciones excepcionales por motivos de emergencia otorgadas en relación la Directiva 2009/128/CE.

²⁸ [BOE.es - DOUE-L-2009-82204](https://boe.es/DOUE-L-2009-82204) Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas.

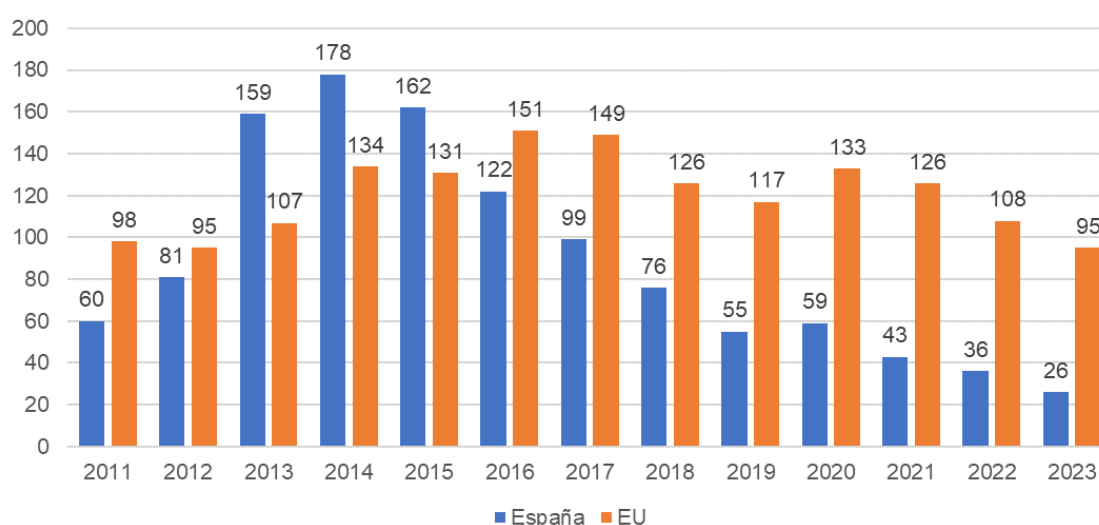
²⁹ Eurostat: *Trends in Harmonised Risk Indicators for the European Union*: [trends eu - European Commission \(europa.eu\)](https://trends.europa.eu/).

³⁰ MAPA: Indicadores de riesgo armonizado: [Uso sostenible de productos fitosanitarios \(mapa.gob.es\)](https://uso.sostenible.de.productos.fitosanitarios/mapa.gob.es).

Durante el período analizado, se observan diferencias marcadas entre España y la media de la UE. En los primeros años (2011-2015), España muestra un aumento progresivo del indicador hasta alcanzar el máximo en 2014, con un valor notablemente superior al del conjunto de la UE. A partir de ese punto, el indicador comienza a descender de forma continua en España, con reducciones significativas año tras año, mientras que los valores de la UE permanecen más estables y en niveles intermedios durante todo el periodo.

En los años más recientes, especialmente entre 2020 y 2023, se aprecia una divergencia clara entre ambas curvas. España mantiene una tendencia descendente constante hasta 2023, cuando presenta valores muy por debajo de los observados en 2011. Por su parte, el indicador para la UE muestra una leve disminución hacia el final del período, aunque se mantiene en valores notablemente superiores a los de España desde 2018 en adelante.

Gráfica 16. Indicador de riesgo armonizado HR2 (2011-2023).



Fuente: elaboración propia en base a datos de Eurostat y del MAPA.

En el marco de las políticas europeas y nacionales sobre el uso sostenible de plaguicidas, como la Directiva 2009/128/CE y el Plan de Acción Nacional (PAN)³¹, permiten disponer de información de una proporción significativa del total de productos fitosanitarios comercializados en España. De forma que se puede caracterizar el volumen de comercialización, identificar los principales grupos químicos utilizados y seguir su evolución temporal, lo que contribuye a la evaluación técnica del cumplimiento de los objetivos establecidos en las estrategias de uso sostenible de plaguicidas.

En el periodo de tiempo entre 2011 y 2023, las ventas de plaguicidas en el territorio nacional han experimentado una evolución descendente con altibajos tanto en términos de volumen total como en la composición de los productos comercializados. En términos generales y según los datos de Eurostat (Gráfica 17), el volumen global de plaguicidas vendidos descendió de 72.661 toneladas en 2011 a 52.725 toneladas en 2023, lo que representa una reducción del 27,4%.

³¹ [Uso sostenible de productos fitosanitarios.](#)

Dentro de esta tendencia descendente global, es en 2022 donde se produce el descenso más acentuado (27,1%) de toda la serie de datos, alcanzando el mínimo histórico hasta la fecha justo tras el año 2021 donde las ventas de plaguicidas habían repuntado hasta casi valores máximos. En 2023 continúa la tendencia disminuyendo hasta 52.725 toneladas, alcanzando nuevamente el valor mínimo de toda la serie.

Poniendo el foco en los tipos de plaguicidas, se observan dinámicas distintas entre ellos. Los fungicidas³² y bactericidas³³, que en un principio representaban la categoría más vendida con 31.330 toneladas, experimentaron una reducción del 24,8%, y en 2023 se sitúan en 23.562 toneladas. Por el contrario, los herbicidas³⁴ y eliminadores de musgos registraron un aumento en las ventas: de 13.835 toneladas en 2011 a 15.131 en 2023, lo que supone un crecimiento del 9,4%. Los insecticidas³⁵ y acaricidas³⁶ también aumentaron su volumen de ventas: de 8.045 a 9.978 toneladas, lo que representa una subida del 24%. Este crecimiento podría estar vinculado al incremento de plagas resistentes, cambios en los patrones climáticos o una mayor vulnerabilidad de determinados cultivos. En cambio, la categoría de “otros productos”³⁷ sufrió la reducción más pronunciada: de 19.450 toneladas en 2011 a tan solo 4.053 en 2023, lo que equivale a una disminución del 79,2%.

En el punto de inflexión entre 2021 y 2022, todos los grupos siguieron el mismo patrón decreciente en mayor o menor medida. La venta de fungicidas y bactericidas disminuyó un 22,8%, la de herbicidas y eliminadores de musgo un 33,7%, la de insecticidas y acaricidas un 1,3% y la de otros productos un 65%. Sin embargo, de 2022 a 2023, a pesar de que el volumen total de venta de pesticidas disminuyó, el correspondiente a la mayoría de grupos aumentó (herbicidas y eliminadores de musgo en 2.944 toneladas, insecticidas y acaricidas en 360 toneladas y otros productos en 1.915 toneladas) a excepción de los fungicidas y bactericidas, que volvieron a experimentar un descenso muy acentuado de 8.531 toneladas, el cual contrarrestó la subida de los demás grupos e incluso hizo que el balance del volumen total acabase siendo negativo, y, por tanto, de signo contrario a la de la mayoría de los grupos.

³² Los fungicidas son sustancias que eliminan o impiden el desarrollo de hongos y sus esporas, dañando generalmente las membranas celulares de los hongos o interfiriendo en su reproducción.

³³ Los bactericidas son agentes o sustancia que matan bacterias o interfieren en la función de la membrana celular de la bacteria o en la síntesis de proteínas o en la replicación de la bacteria.

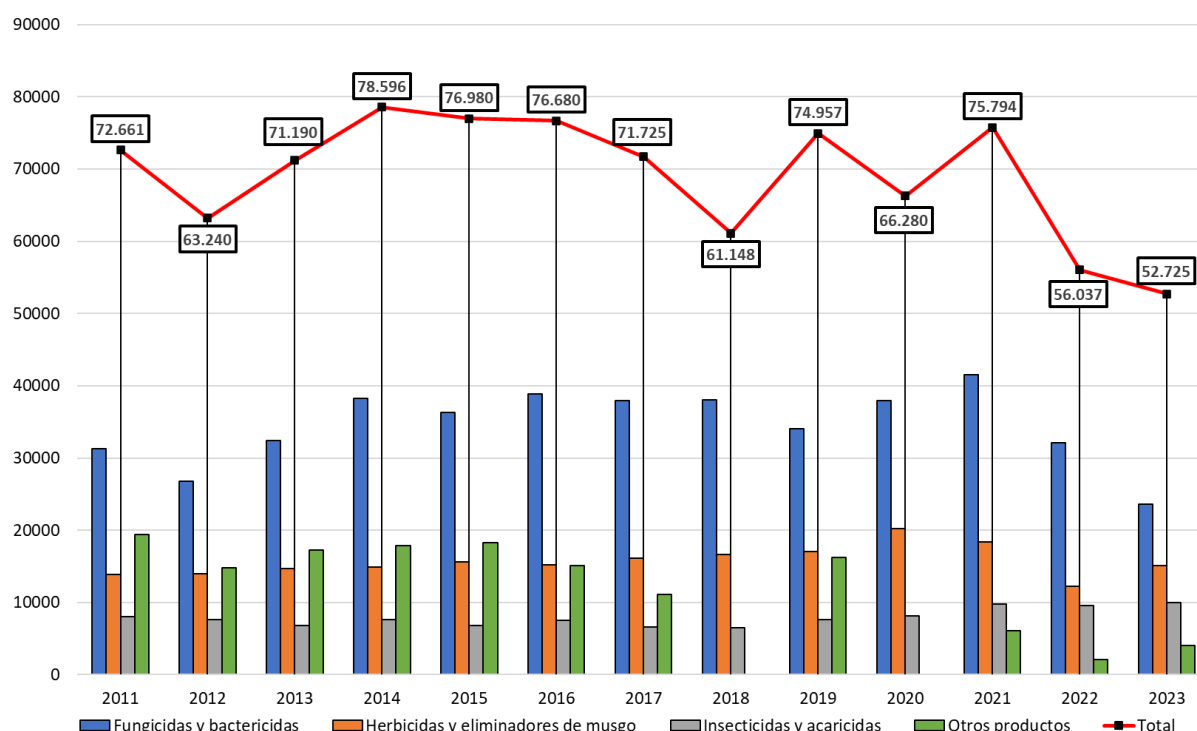
³⁴ Los herbicidas son productos para eliminar o controlar el crecimiento de plantas indeseadas, conocidas como malas hierbas. La función principal es interferir con el crecimiento, desarrollo o metabolismo de las plantas no deseadas.

³⁵ Los insecticidas son sustancias química o biológica utilizadas para matar, repeler o controlar insectos que se consideran plagas.

³⁶ Los acaricidas son sustancias químicas que utilizan para eliminar, controlar o prevenir la presencia o acción de los ácaros.

³⁷ En la categoría de otros productos se considera los reguladores del crecimiento de las plantas y los molusquicidas que son sustancias utilizadas para controlar los moluscos. p.ej. caracoles.

Gráfica 17. Evolución en la venta de pesticidas en España (toneladas) (2011 – 2023).



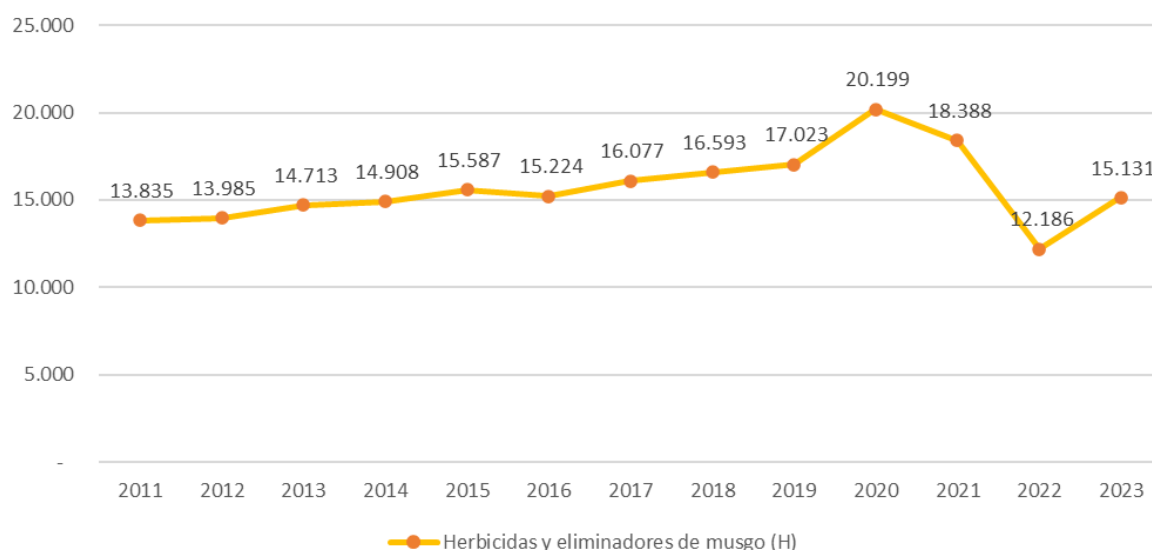
Fuente: elaboración propia en base a datos de Eurostat³⁸.

Uso de herbicidas

Poniendo el foco en el grupo de herbicidas y eliminadores de musgo, se puede observar (Gráfica 18) que el patrón difiere del general, teniendo una tendencia ascendente desde 2011 hasta 2020, pasando de 13.835 a 20.199 toneladas. Si bien es cierto que tras 2020, la venta de herbicidas desciende notablemente incluido en el año 2022, llegando al mínimo de la serie temporal con 12.186 toneladas. Sin embargo, en 2023 las ventas de herbicidas vuelven a aumentar hasta las 15.131 toneladas, un valor que vuelve a estar por encima del año de inicio del periodo de estudio (2011). Estos datos muestran un aumento en la venta total de herbicidas desde el inicio del periodo de estudio, pero sin poderse consolidar la tendencia decreciente iniciada hacia el año 2022, por lo que los herbicidas se están aplicando en mayor medida.

³⁸ Eurostat Sales of pesticides (toneladas, 2011 - 2023) Consultado en septiembre, 2025 (aei_fm_salpest09). <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/c6248cf9-ca14-4eb9-b803-0952e1e2fd22?lang=en>

Gráfica 18. Evolución de la venta de herbicidas y eliminadores de musgo (toneladas) en España entre 2011 y 2023.



Fuente: elaboración propia en base a datos de Eurostat³⁹.

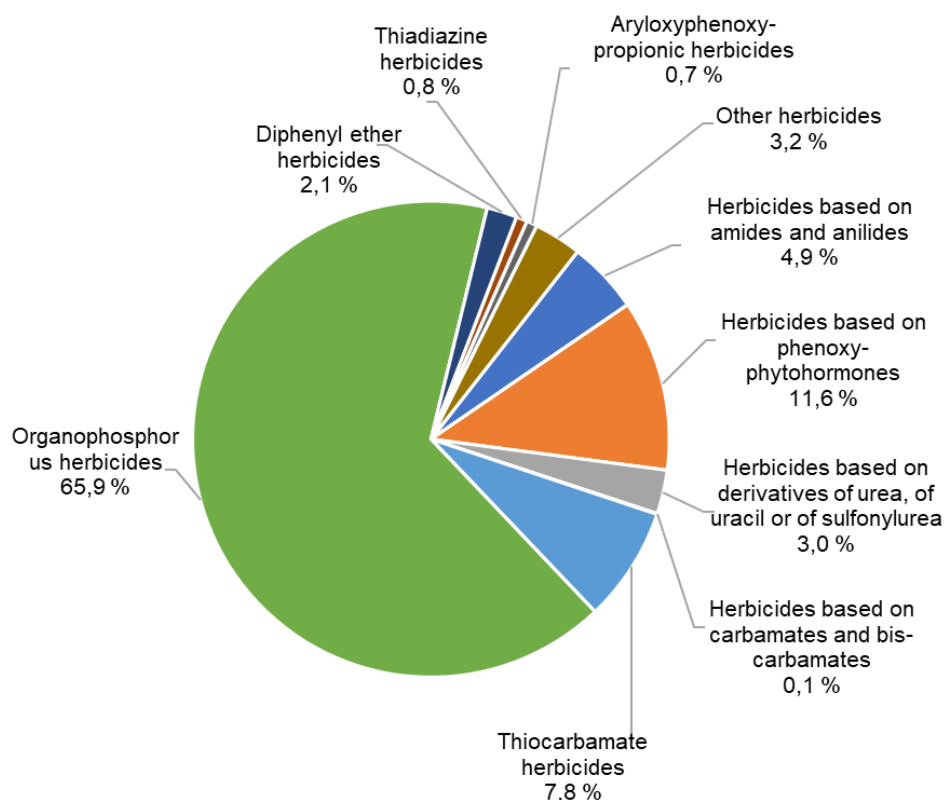
La Gráfica 19 muestra las ventas de herbicidas y eliminadores de musgo en España por categorías en 2023⁴⁰. Se puede observar una clara concentración en unas de ellas. Los herbicidas organofosforados dominan el mercado con un 65,9%, seguidos por los herbicidas a base de fenoxifitohormonas (11,6%) y los tiocarbamatos (7,8%). En un segundo nivel de importancia se encuentran los herbicidas a base de amidas y anilidas (4,9%), los derivados de urea, uracilo o sulfonilurea (3%), y los de éter difenílico (2,1%), que en conjunto representan una proporción relevante, aunque más reducida. Estas categorías podrían estar sujetas a un uso más especializado o a mayores restricciones normativas.

Por último, los herbicidas a base de carbamatos y biscarbamatos presentan un uso marginal con apenas el 0,1%. El grupo de otros herbicidas, con un 3,2%, sugiere una diversidad de productos no clasificados en las categorías principales. En general, el gráfico refleja una fuerte concentración en ciertos compuestos.

³⁹ Eurostat Sales of herbicides in Spain (tonnes, 2011 - 2023) Consultado en septiembre, 2025 (aei_fm_salpest09). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/aei_fm_salpest09_custom_18204999/default/table.

⁴⁰ El Reglamento (UE) 2021/2010 de la Comisión de 17 de noviembre de 2021, relativo a las estadísticas de plaguicidas, recoge la clasificación armonizada de sustancias de cada una de las categorías de herbicidas comentado.

Gráfica 19. Ventas por categorías de herbicidas, destructores de vástagos y eliminadores de musgos (% de participación sobre el total) España 2023.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Eurostat (aei_fm_salpest09)⁴¹.

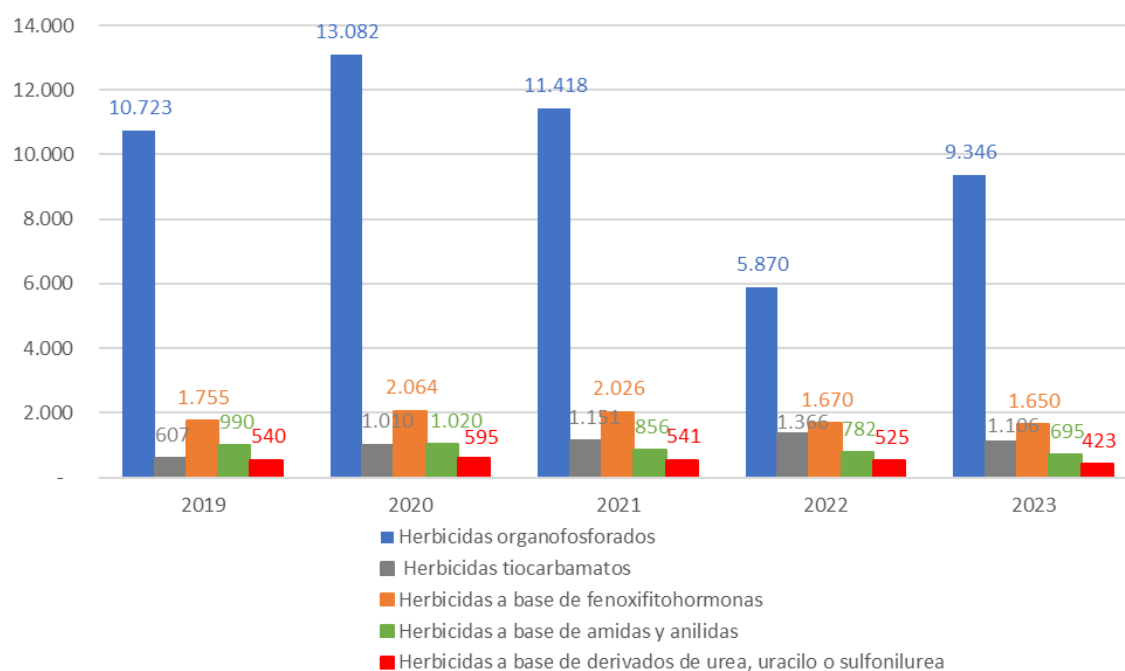
Al analizar los datos de evolución de los 5 principales herbicidas en 2023 vendidos en España (Gráfica 20), se observa una tendencia a la reducción en las ventas de los mismos en los últimos años. No obstante, en la última anualidad, los herbicidas organofosforados⁴² incrementan su venta, coincidiendo así con el cambio de tendencia observado en la Gráfica 18 sobre la evolución de la venta de herbicidas y eliminadores de musgo en España. También hay que destacar que en 2019 los herbicidas tiocarbomatos⁴³ muestran una tendencia ascendente hasta 2022 con un descenso en la última anualidad con datos.

⁴¹ Eurostat: Sales of categories of 'fungicides and bactericides' (% share of total 'fungicides and bactericides', EU, 2023) Consultado en Julio, 2025 <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/2ff83904-6bec-40e7-ae30-1b1c3d9a62bc?lang=en&page=time:2023>

⁴² En esta categoría de herbicida se clasifica el *glifosato* y *glufosinato de amonio*.

⁴³ En esta categoría de herbicida se clasifica el *molinato*, *prosulfocarb* y *trialato*.

Gráfica 20. Evolución de las ventas de las principales categorías de herbicidas, eliminadores de musgos en España 2019-2023 (toneladas).



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Eurostat (aei_fm_salpest09).

El Reglamento (UE) 2021/2010 de la Comisión de 17 de noviembre de 2021, relativo a las estadísticas de plaguicidas, con respecto a la lista de sustancias activas⁴⁴, establece un marco común para la elaboración de estadísticas europeas comparables sobre la venta y el uso de plaguicidas.

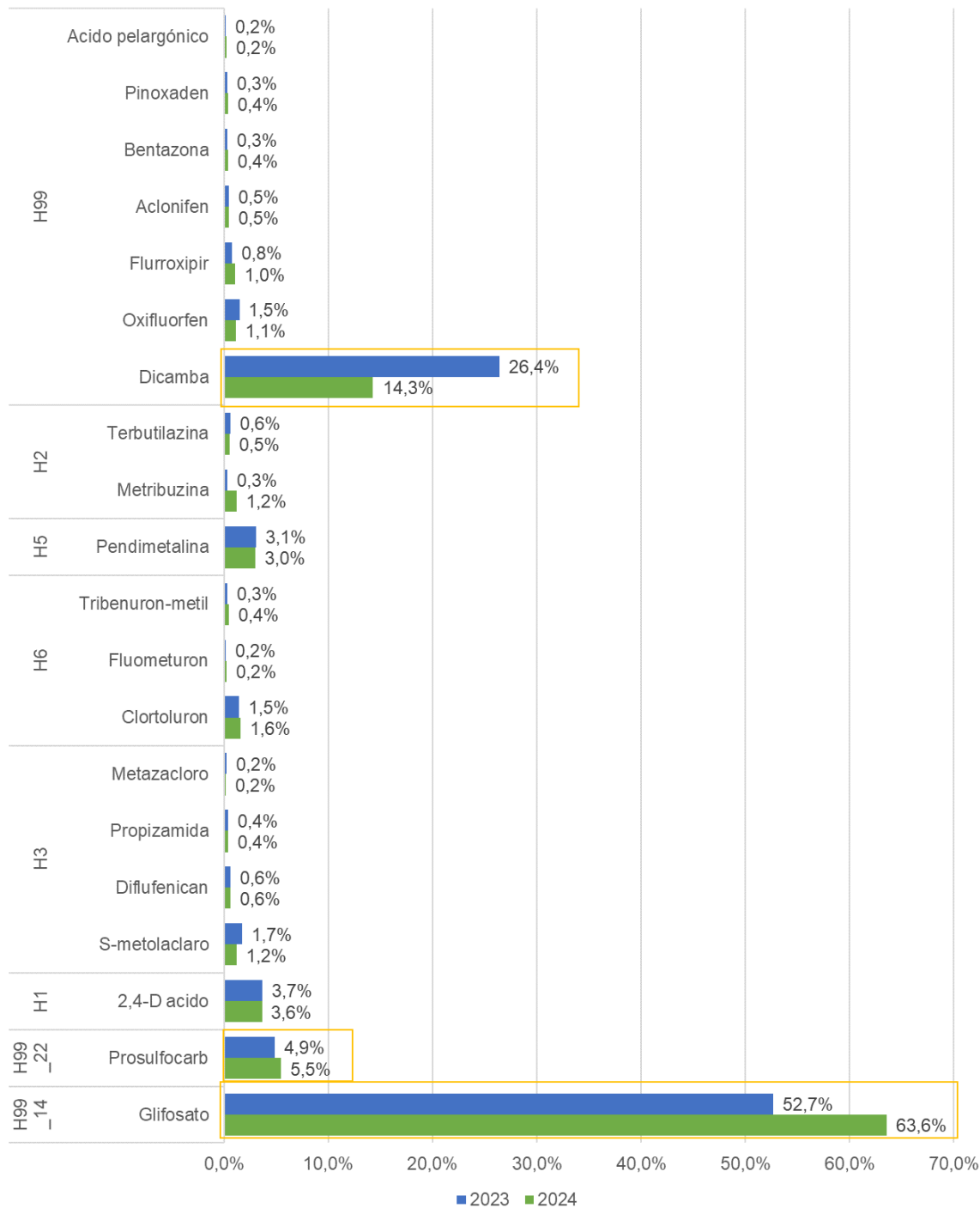
En base a este reglamento se extrae la información sobre las principales sustancias herbicidas de los datos de la base del Registro electrónico de transacciones y operaciones RETO⁴⁵ de 2023- 2024.

Como se presenta en la Gráfica 21 la sustancia herbicida más vendida en España es el glifosato (herbicida organofosforado) que supone más del 50% del volumen de ventas correspondiente a los 20 más vendidos en 2023-24. Seguidos están el dicamba (herbicidas de ácido benzoico) y prosulfocarb (herbicida Tiocarbamato), los únicos herbicidas que, en al menos una de las dos anualidades, superan el 5% del volumen total de las 20 sustancias herbicidas más comercializadas en España. El resto de las sustancias herbicidas tienen un peso reducido, inferior al 5%, aunque destacan: 2-4 D ácido (próximo al 3,6%), Pendimetalina (próximo al 3%), y clortoluron, s-metolaclaro, oxifluorfen, netribuzina y flurroxiopir que superan en alguna de las anualidades el 1%. El resto de las sustancias herbicidas se encuentran por debajo de este porcentaje en relación con el volumen de venta de las 20 sustancias herbicidas más comercializadas.

⁴⁴ <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2021-81563>.

⁴⁵ Registro electrónico de transacciones y operaciones (RETO), <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/reto>.

Gráfica 21. Evolución de las ventas de las principales categorías de herbicidas, eliminadores de musgos en España 2023-2024 (toneladas).



Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos de RETO (2023-2024)).

Nota: H1: Herbicidas a base de fenoxi-fitohormonas, H2: Herbicidas a base de triazinas y triazinonas, H3: Herbicidas a base de amidas y anilidas, H5: Herbicidas a base de amidas y anilidas, H6: Herbicidas a base de derivados de urea, uracilo o sulfonilurea, H99_14: Herbicidas organofosforados, H99_22: Herbicidas de tiocarbamato y H99: Otros herbicidas.

El glifosato es un organofosforado altamente soluble en agua y prácticamente insoluble en solventes orgánicos. Es un herbicida de amplio espectro empleado en agricultura, silvicultura e infraestructuras viarias, y es el más empleado tanto en España como a nivel mundial. El

Registro Oficial de Productos Fitosanitarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA)⁴⁶ informa de que, actualmente, existen 19 formulaciones de glifosato comercializadas, a través de 43 productos.

Según la encuesta de utilización de fitosanitarios⁴⁷ (campaña 2019), en la campaña 2018-2019 se estima que se aplicaron 3.279,6 t de glifosato, tratando 2.952.802,50 ha de cultivo, lo que equivale a una dosis de 1,11 kg/ha.

4.6. Calidad de agua

El estado y calidad de las masas de agua es el aspecto fundamental que marca la Directiva Marco del Agua⁴⁸ (DMA), cuya información detallada, tanto de aguas superficiales como subterráneas. El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), ofrece una visión informativa general de la calidad de las aguas continentales en España, en concreto en este apartado se va a presentar un resumen sobre los resultados de los programas de seguimiento del estado y calidad de las aguas del MITERD, el estado de los plaguicidas y la obre los resultados de los programas de seguimiento del estado y calidad de las aguas y la protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agraria.

Estado los plaguicidas en España

La presencia de **sustancias plaguicidas en las aguas**, tanto superficiales como subterráneas, está relacionada con la utilización de productos fitosanitarios en la agricultura. Algunas de estas sustancias se tienen en cuenta en la evaluación del estado químico y están reguladas en el RDSE⁴⁹, mientras que otras todavía no están reguladas, y podrían suponer un riesgo como potenciales contaminantes. En el diagnóstico de la contaminación por plaguicidas en España, en el informe del MITERD se han considerado todas las sustancias plaguicidas extraídas de los Programas de Seguimiento (programas de control de vigilancia y operativo) previstos para evaluar el estado, en cumplimiento de la normativa estatal y europea, de las que se dispone de información en NABIA⁵⁰.

El indicador propuesto en el informe de calidad de las aguas 2010-2023⁵¹. se ha analizado para todas las tipologías de aguas superficiales continentales (ríos, lagos y embalses), y también para las aguas subterráneas. Los siguientes valores de cambio de clase se definen para el indicador:

⁴⁶ [Registro de Productos Fitosanitarios](#) (MAPA).

⁴⁷ https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/estadisticas/temas/estadisticas-agrarias/2_agricultura/7.-medios-de-produccion/fitosanitarios/utilizacion-de-productos-fitosanitarios/maquetacioninformededatosdelaupf19.pdf

⁴⁸ [Directiva 2000/60/CE](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

⁴⁹ Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre (RDSE) (<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-9806>).

⁵⁰ NABIA es el sistema de información que recopila datos sobre el estado y la calidad de las aguas continentales en España. NABIA se alimenta de los datos obtenidos de los programas de seguimiento de las demarcaciones hidrográficas, que son las entidades encargadas de la gestión del agua en cada cuenca.

⁵¹ Informe sobre la calidad de las aguas 2010-2023 ([https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/INFORME%20CALIDAD%20DE%20LAS%20AGUAS%202010-2023%20\(Agosto%202024\).pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/INFORME%20CALIDAD%20DE%20LAS%20AGUAS%202010-2023%20(Agosto%202024).pdf)).

- Para las aguas superficiales, se ha considerado el valor de las NCA-MA establecidas en el Real Decreto 1514/2009⁵² por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro (RDSE) para aquellas sustancias que las tienen, y para el resto, el valor genérico de 0,1 µg/L (se englobará como valor frontera = NCA-MA o 0,1 µg/L).
- Para las aguas subterráneas se ha considerado el valor de 0,1 µg/L establecido en el Real Decreto 1514/2009 por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

La valoración del cumplimiento de la estación la marca el máximo valor disponible de cualquiera de los plaguicidas evaluados, y asigna unos rangos de concentraciones tales como se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Categorías de concentración de plaguicidas en las aguas superficiales y subterráneas.

% ESTACIONES CATEGORÍAS (CONCENTRACIÓN PLAGUICIDAS)	
AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS SUBTERRÁNEAS
≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ 0,1 µg/L
> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	> LQ y < 0,1 µg/L
≤ LQ	≤ LQ

Fuente: elaboración propia en base a datos del MITERD: Estado de los plaguicidas en España (https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/estado-plaguicidas.html?utm_source=chatgpt.com).

A continuación, se presenta en los siguientes mapas el estado de las aguas superficiales y subterráneas en función de la presencia de plaguicidas, tomando en consideración la información a partir de los programas de seguimiento del estado de las masas de agua⁵³ de la DMA, en concreto del Informe de Calidad de las Aguas 2010-2023.

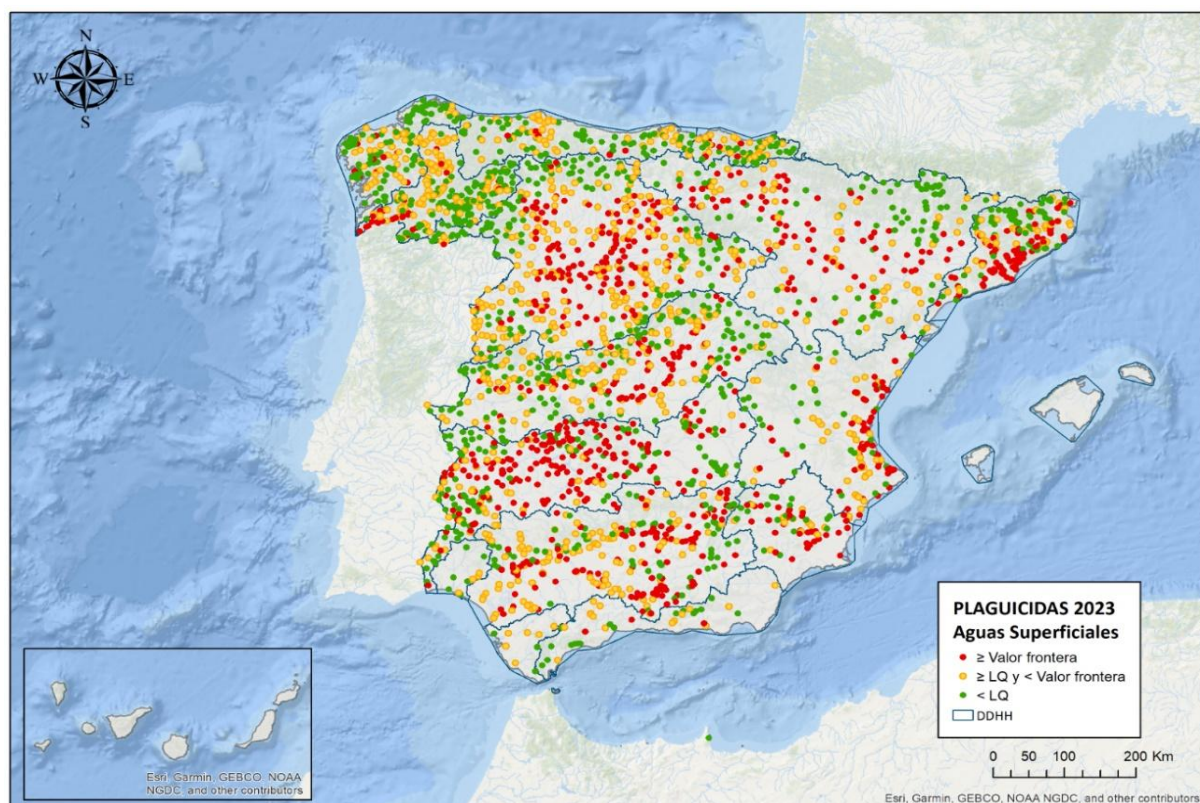
- **Estado de los plaguicidas en las aguas superficiales**

Algo más de un tercio de las estaciones de aguas superficiales muestran concentraciones de plaguicidas por debajo del límite normativo establecido (Figura 6). El 29,7% del total de las estaciones presenta en alguno de sus plaguicidas un valor superior a 0,1 µg/L. El porcentaje de estaciones que superan el valor frontera se ha ido incrementando en los últimos años, pasando de un 18,7% en 2017 a un 29,7% en 2023. Esto puede deberse al aumento tanto del tipo de analíticas realizadas como que cada vez se añaden más compuestos en las listas de plaguicidas a vigilar, y por tanto la frecuencia y el número total de éstas. Con todo, se observa que **la mayoría de las estaciones se sitúan por debajo del valor frontera (77,1%)**.

⁵² <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2009-16772>.

⁵³ Los programas de seguimiento del estado y calidad de las aguas (<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/programas-seguimiento-aguas.html>).

Figura 6. Plaguicidas en aguas superficiales 2023.

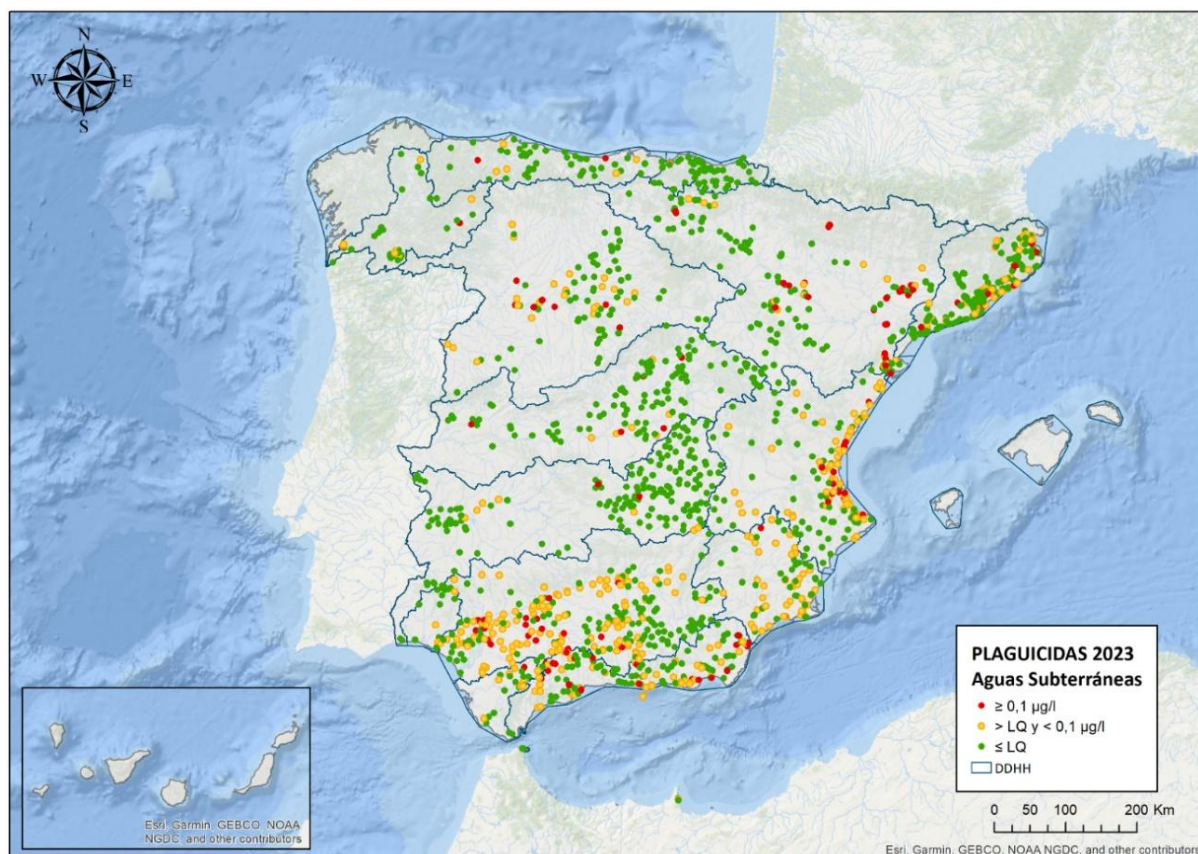


Fuente: estado de los plaguicidas en España, aguas superficiales 2023, MITERD. (https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/estado-plaguicidas.html?utm_source=chatgpt.com).

- **Estado de los plaguicidas en las aguas subterráneas**

La Figura 7 muestra que la mayoría de las estaciones de aguas subterráneas presentan concentraciones de plaguicidas por debajo del límite normativo establecido en el Real Decreto 1514/2009 (0,1 µg/L color verde y amarillo en la Figura 7). El 8,7% del total de las estaciones presenta en alguno de sus plaguicidas un valor superior a 0,1 µg/L.

Figura 7. Plaguicidas en aguas subterráneas 2023.



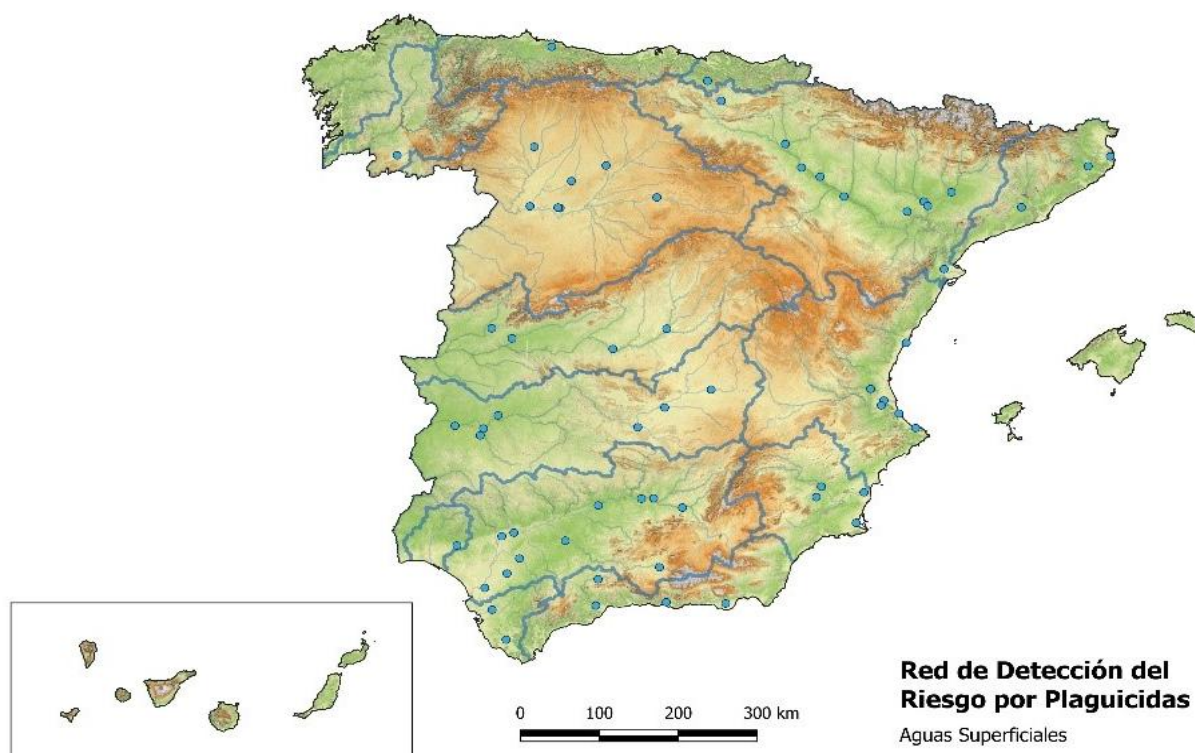
Fuente: estado de los plaguicidas en España, aguas subterráneas 2023, MITERD.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), ha configurado una red específica de refuerzo de las redes de control de plaguicidas⁵⁴ actualmente vigentes en el marco de los programas de seguimiento del estado de las masas de agua de la DMA. Esta red tiene como objetivo la investigación (identificación y cuantificación) de residuos de plaguicidas en aguas superficiales (Figura 8) y subterráneas (Figura 9) en aquellas zonas sometidas a una mayor presión de estos contaminantes, con especial atención a las masas destinadas a la producción de aguas potables.

La red se compone de 95 puntos de muestreo, en los que se toman muestras de forma periódica, teniendo en cuenta las épocas de mayor aplicación de productos fitosanitarios. Las campañas de muestreo se extienden de marzo a octubre.

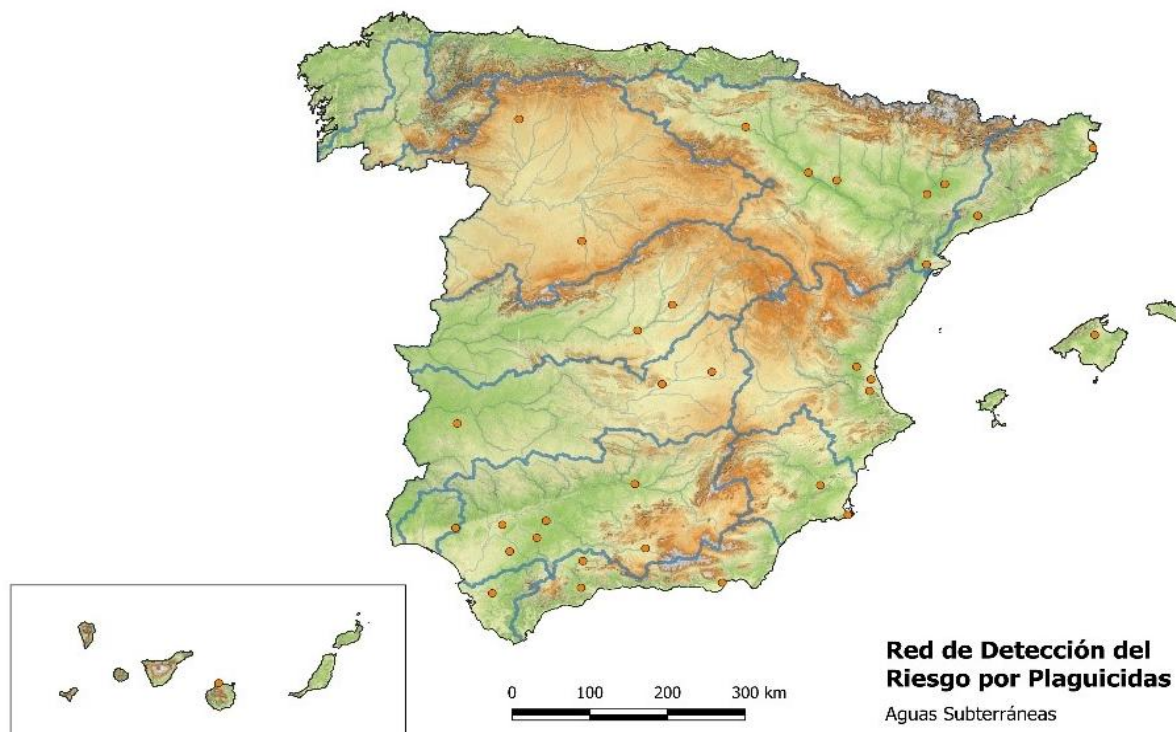
⁵⁴ [Red de Detección del Riesgo por Plaguicidas.](#)

Figura 8. Red de Detección del Riesgo por Plaguicidas: puntos de muestreo en aguas superficiales.



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).

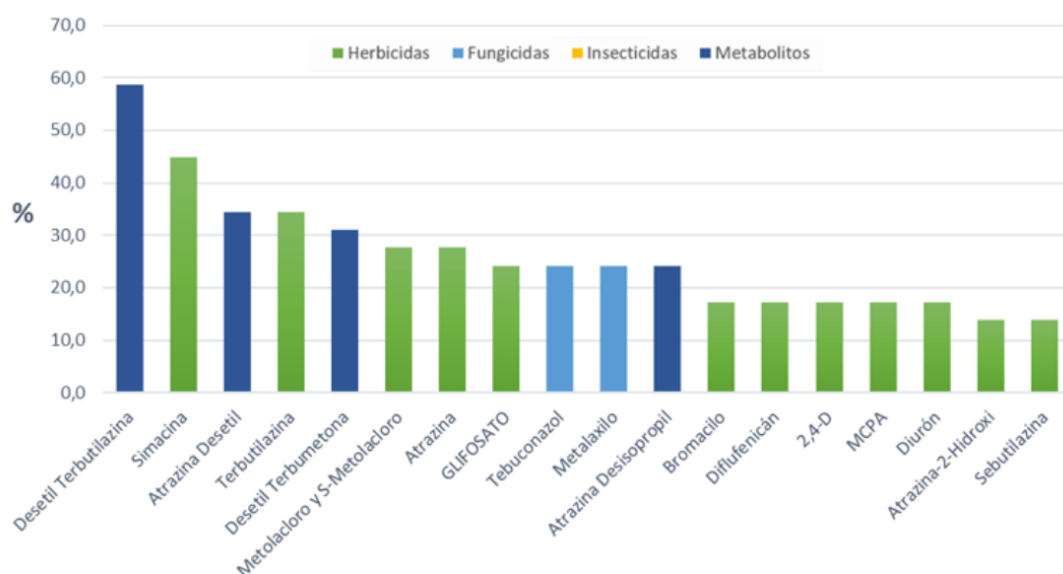
Figura 9. Red de Detección del Riesgo por Plaguicidas: puntos de muestreo en aguas subterráneas.



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).

En el informe de resultado de la campaña de muestreo 2023⁵⁵ aguas subterráneas, se detectaron plaguicidas en 26 de los 31 puntos, lo que supone el 83,90% de puntos con presencia de plaguicidas. Los plaguicidas detectados con mayor frecuencia corresponden a herbicidas, especialmente los pertenecientes al grupo de las triazinas. La sustancia encontrada con mayor frecuencia ha sido el metabolito Desetil-Terbutilazina (Gráfica 22), presente en casi el 60% de los puntos. Le siguen en importancia la Simazina, presente en el 44,83% de los puntos, y la Terbutilazina y Atrazina-desetil, detectados ambos en el 34,48% de los puntos. Todos estos compuestos forman parte del grupo de las cloro-s-triazinas. Cabe destacar que la Atrazina y Simazina se encuentran prohibidas en la UE desde el año 2004. Las últimas autorizaciones de uso son del año 2007.

Gráfica 22. Sustancias activas detectadas con mayor frecuencia (%).



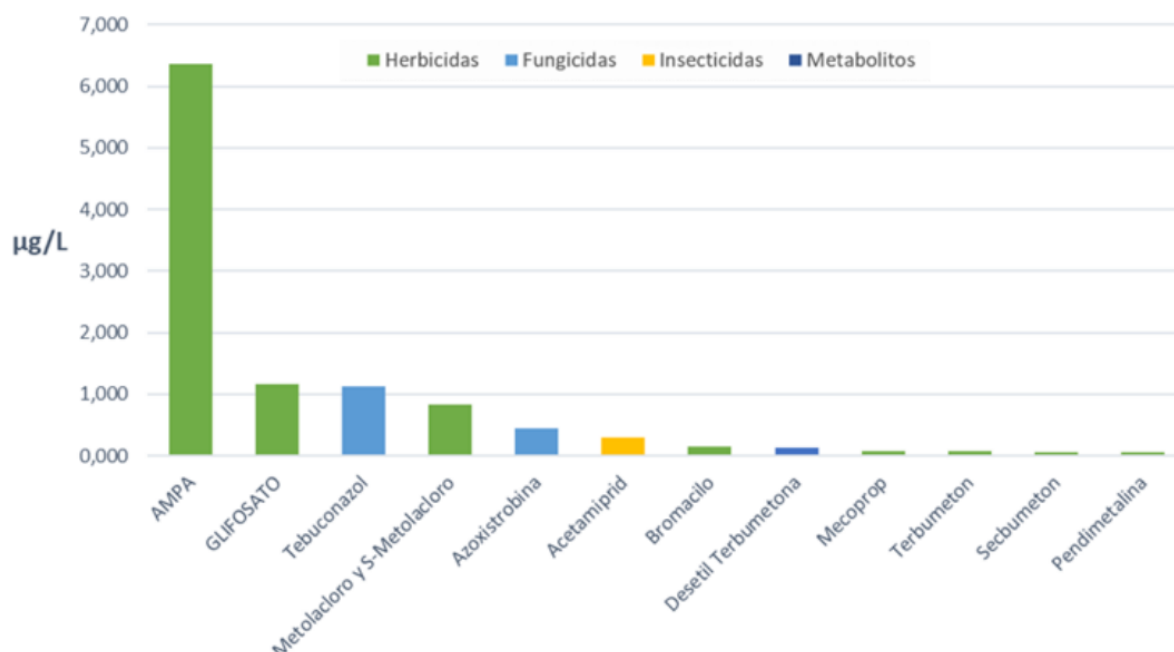
Fuente: informe de resultados de la campaña de muestreo 2023, Red de Detección del Riesgo por Plaguicidas, MITERD.

El glifosato, herbicida más comercializado en la actualidad, fue detectado en el 24,1% de los puntos y muestra una concentración media de 1,358 µg/L. Por otro lado, su metabolito AMPA⁵⁶ (ácido aminometilfosfónico) se encontró presente en el 10,3% de los puntos muestreados y presenta la mayor concentración media (6,358 µg/L) y máxima (18,8 µg/L) (Gráfica 23).

⁵⁵ [Resultados-Red-deteccion-Riesgo-plaguicidas-campana-2023.pdf](#)

⁵⁶ El glifosato se degrada en el medio ambiente transformándose en el metabolito conocido como ácido aminometilfosfónico (AMPA), en las redes de seguimiento se controla tanto el glifosato como el AMPA.

Gráfica 23. Sustancias activas con mayor concentración media considerando todos los puntos muestreados.



Fuente: informe de resultados de la campaña de muestreo 2023, Red de Detección del Riesgo por Plaguicidas, MITERD.

Un total de 16 sustancias activas superaron el valor umbral de 0,1 µg/L. De todas ellas las que más veces superaron el valor umbral fueron la Desetil-Terbumetona y el Glifosato, en 5 y 4 puntos cada una respectivamente. Los incumplimientos por Desetil-Terbumetona se han registrado en las Demarcaciones de Júcar, Segura, Ebro y Baleares, mientras que los de Glifosato han sido en las Demarcaciones del Ebro y el Guadalquivir.

Las concentraciones del glifosato y su metabolito AMPA se vigilan en las masas de agua en riesgo a través de los Programas de seguimiento de las aguas superficiales y subterráneas.

Actualmente a nivel europeo el glifosato se encuentra propuesto como candidato a formar parte de la nueva lista de sustancias prioritarias⁵⁷ de la Directiva Marco de Aguas y en España ha sido identificado y definido como contaminante específico de cuenca en los Planes Hidrológicos de cuenca de tercer ciclo⁵⁸.

En ellos se ha establecido una Norma de Calidad Ambiental acorde a la propuesta europea y a la del Anexo 5 de la Guía para la evaluación del estado de las aguas superficiales y

⁵⁷ Sustancia prioritaria: Sustancia que presenta un riesgo significativo para el medio acuático comunitario, o a través de él, incluidos los riesgos de esta índole para las aguas utilizadas para la captación de agua potable, y reguladas a través del artículo 16 de la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua, DMA). Entre estas sustancias se encuentran las sustancias peligrosas prioritarias. Durante el año 2022 se revisó la lista de prioritarias y el Glifosato era candidato con la siguiente propuesta de norma de calidad ambiental (Glyphosate_JRC draft dossier 2022). https://circabc.europa.eu/ui/group/9ab5926d-bed4-4322-9aa7-9964bbe8312d/library/81849910-248c-4ca7-9309-483f39c938fc?p=1&n=10&sort=modified_DESC.

⁵⁸ Planes Hidrológicos del tercer ciclo de planificación (2022-2027) (https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/pphh_tercer_ciclo.html).

subterráneas⁵⁹, de 0,1 µg/L para las aguas superficiales. Por su parte, aunque el AMPA no cuenta con regulación a nivel europeo, también ha sido identificado como contaminante específico de cuenca en los Planes Hidrológicos en los que se ha establecido una Norma de Calidad Ambiental de 1,6 µg/L para las aguas superficiales. Para las aguas subterráneas, se adopta la norma europea y la del Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, que es 0,1µg/L para plaguicidas individuales.

El análisis en profundidad de los datos de glifosato para el periodo 2014-2022 apunta a que, éste puede suponer un riesgo en las aguas superficiales, ya que los resultados de las analíticas muestran porcentajes superiores al 30% de puntos que superan el valor de 0,1 µg/L en los últimos tres años.

A continuación, se presentan los mapas (Figura 10 y Figura 11) con los datos más actualizados con los que cuenta la Subdirección de Protección de las Aguas y Gestión de Riesgos, que se corresponden con el año 2022⁶⁰.

El riesgo se define de la siguiente manera:

- “Sin riesgo” se corresponde con los puntos de muestreo con valores de glifosato inferiores al Límite de Cuantificación (LQ).
- “Probable” se corresponde con los puntos de muestreo cuyo valor máximo está entre el LQ y el valor de referencia⁶¹.
- “Sospechoso” se corresponde con puntos de muestreo cuyo valor máximo ha superado el valor de referencia.

El análisis ofrecido por el MITERD sobre el glifosato⁶², relativo al periodo 2020-2022 recoge como conclusiones en el caso de las aguas superficiales (Figura 10) las que se exponen a continuación:

- El porcentaje de puntos de muestreo que se encuentran por encima del valor de referencia se ha mantenido ligeramente estable y en torno al 33% (34,8% (2020), 31,0% (2021) y 34,6% (2022)), lo cual supone que aproximadamente un tercio de los puntos analizados han presentado incumplimientos.
- En el año 2021, el 31% de los puntos de muestreo en aguas superficiales superaron el valor de referencia de 0,1 µg/l. Las cuencas que superan ampliamente la media nacional son las tres de Andalucía: Cuencas Mediterráneas Andaluzas, Guadalete-Barbate y Tinto, Odiel y Piedras, seguidas del Tajo, Júcar y Guadiana.

⁵⁹ Guía para la evaluación del estado de las aguas superficiales y subterráneas (https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/guia-para-evaluacion-del-estado-aguas-superficiales-y-subterraneas_tcm30-514230.pdf).

⁶⁰ <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/estado-plaguicidas/estado-de-los-plaguicidas-glifosato.html>.

⁶¹ Los valores de referencia son; para el glifosato, tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas: 0,1 µg/l y para el AMPA en aguas superficiales 1,6 µg/l y en aguas subterráneas 0,1 µg/l.

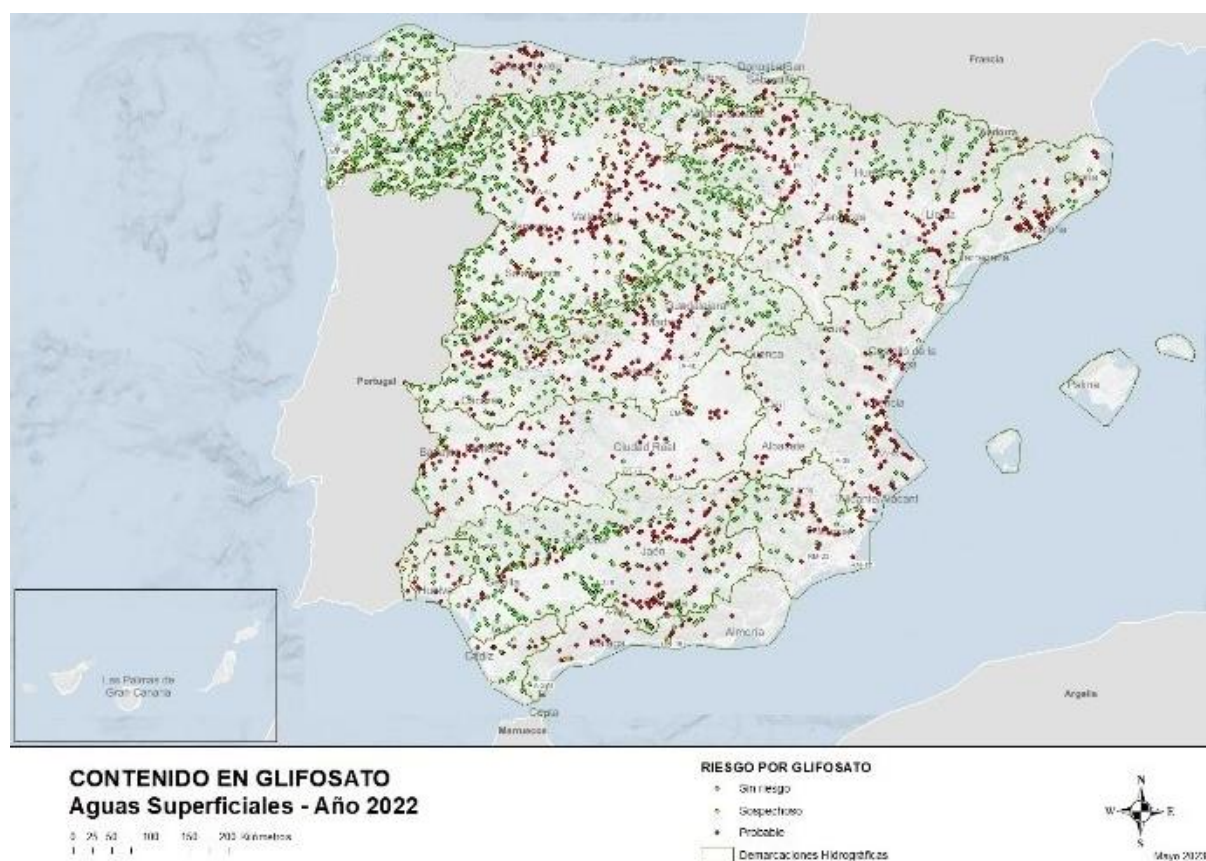
⁶² https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/estado-plaguicidas/estado-de-los-plaguicidas-glifosato/2022/Informe%20sobre%20Glifosato_Julio%202023.pdf

- Con los datos de 2022 las cuencas que presentan mayor porcentaje de puntos dentro de la categoría 3 son Cuencas Internas de Catalunya – que por primera vez cuenta con datos en la serie histórica-, Júcar y Guadiana, seguidas de las Cuencas Mediterráneas de Andalucía y Tinto, Odiel y Piedras.

En el caso del AMPA, el porcentaje de puntos de muestreo que se encuentran por encima del valor de referencia, tiene resultados bastante diferentes a los de glifosato. En las aguas superficiales se encuentran en torno al 13% durante los últimos cinco años de estudio, 2018-2022, y en concreto en los dos últimos años: 11,5% en 2021 y 13,7% en 2022.

La comparativa entre 2021 y 2022 muestra que en este último año se han sumado algunas cuencas que no tenían datos en 2021. Los mayores porcentajes de puntos que superan 1,6 µg/l se dieron en Tajo y Júcar en el año 2021 y en Cuencas Internas de Catalunya y Guadiana en 2022.

Figura 10. Contenido de glifosato en las aguas superficiales en 2022.



Fuente: [Glifosato y AMPA en España](#), MITERD.

En el caso del glifosato en aguas subterráneas (Figura 11), aunque hasta 2022 no contaba con suficientes puntos de muestreo para poder sacar conclusiones, los organismos de cuenca han realizado un importante esfuerzo para controlar esta sustancia, de manera que el número de estaciones que lo analizan se ha ido incrementando notablemente. En cuanto al riesgo para las aguas subterráneas, hay que tener en cuenta que la OMS⁶³ indica que la baja

⁶³ Organización Mundial de la Salud (OMS).

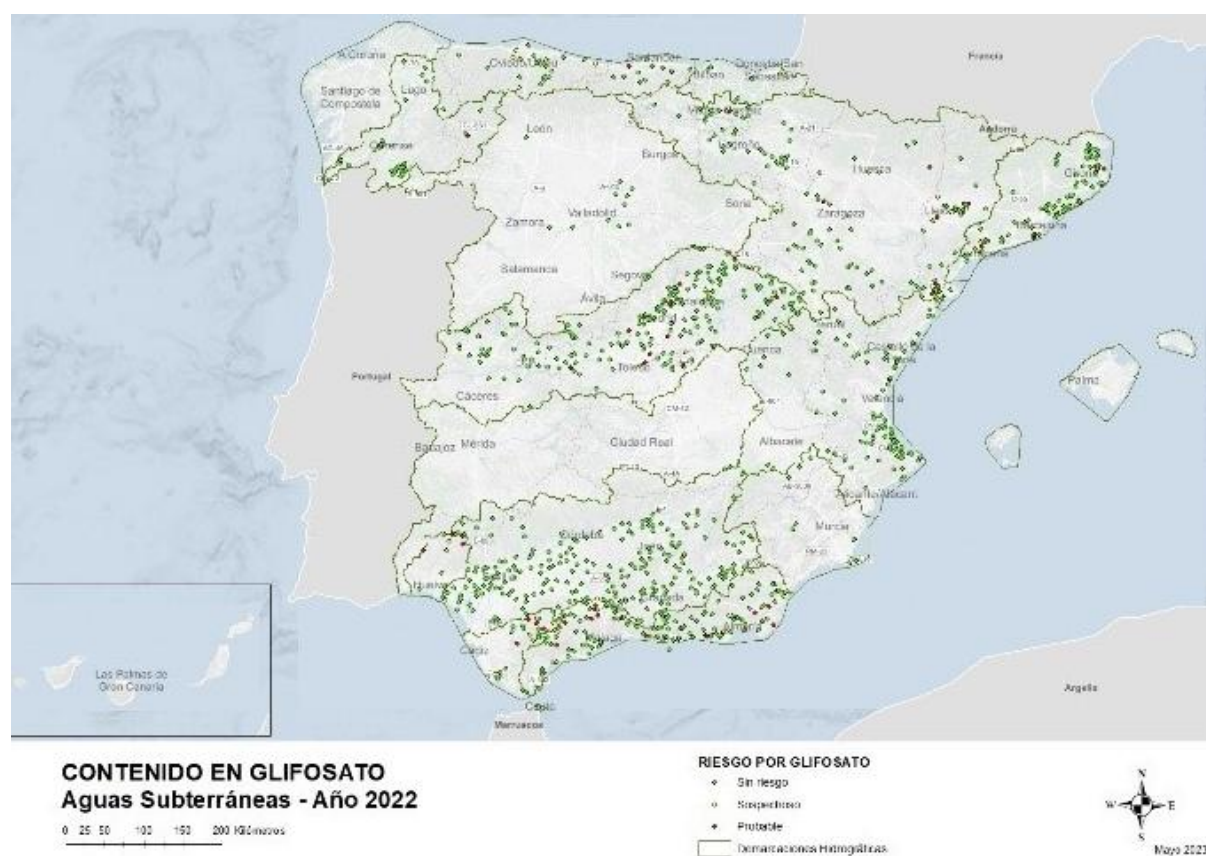
movilidad del glifosato en el suelo hace que tenga un potencial mínimo de contaminación de las aguas subterráneas.

Las conclusiones principales que arroja el informe muestran que:

- En el año 2021, el 5,4 % de los puntos de muestreo se clasifican por encima del valor de referencia. La falta de datos de grandes cuencas como Duero o Guadiana dificulta la interpretación, no obstante, las que presentan valores más elevados de puntos de muestreo en categoría 3 son las cuencas internas de Andalucía (Tinto, Odiel y Piedras, Cuencas Mediterráneas de Andalucía y Guadalete-Barbate).
- Para el año 2022, el porcentaje de puntos por encima del valor de referencia es algo menor (4,4%) y son también las cuencas internas de Andalucía (Tinto, Odiel y Piedras, Guadalete-Barbate y Cuencas Mediterráneas de Andalucía) las que presentan porcentajes superiores a la media, si bien cabe señalar que son las que tienen un menor número total de puntos de muestreo.

En cuanto al AMPA, el número de puntos con mediciones de esta sustancia se ha incrementado año a año hasta alcanzar en 2022 una cifra similar a la del glifosato en subterráneas. En cuanto a la superación del valor de referencia (0,1 µg/l) y los puntos que se encuentran en la categoría 3, el porcentaje es mínimo para este compuesto, ya que nunca ha superado el 2,5% y son casos muy puntuales.

Figura 11. Contenido de glifosato en las aguas subterráneas en 2022.



Fuente: [Glifosato y AMPA en España](#), MITERD.

Estado de los nitratos en España

La contaminación de las aguas por nitratos está causada principalmente por la producción agraria intensiva, siendo la fuente difusa más importante la aplicación excesiva o inadecuada de fertilizantes nitrogenados en la agricultura y las granjas intensivas⁶⁴.

Este tipo de contaminación se ha regulado durante años en el marco de la Directiva 91/676/CEE⁶⁵ y su transposición al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero⁶⁶, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

El indicador propuesto en el Informe de calidad de las aguas 2010-2023, evalúa para todas las tipologías de aguas superficiales continentales (ríos, lagos y embalses), y también para las aguas subterráneas, los datos registrados en la red de seguimiento de nitratos. Esta evaluación se basa en las categorías del Real Decreto 47/2022⁶⁷, que establece los límites de aguas afectadas de 37,5 mg de NO₃/l en aguas subterráneas y 25 mg de NO₃/l en aguas superficiales.

Tabla 6. Categorías de concentración de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas.

% ESTACIONES CATEGORÍAS (CONCENTRACIÓN NITRATOS)	
AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS SUBTERRÁNEAS
> 25 mg NO ₃ /l	> 37,5 mg NO ₃ /l
> 5 -25 mg NO ₃ /l	> 10 – 37,5 mg NO ₃ /l
≤ 5 mg NO ₃ /l	≤ 10 mg NO ₃ /l

Fuente: elaboración propia en base a datos del MITERD: Estado de los nitratos en España.

- **Estado de los nitratos en aguas superficiales**

Como se observa en la Gráfica 24, la mayor parte de las estaciones de muestreo registran concentraciones inferiores a 5 mg NO₃/l. Desde 2010 se han observado fluctuaciones en los niveles de incumplimientos, alcanzando el valor máximo (8,5%) en 2011: Posteriormente, las cifras disminuyeron entre 2014-2016, para volver a aumentar y alcanzar un nuevo pico en 2018 (7,9%). A partir de entonces, la tendencia ha sido descendente hasta situarse el porcentaje de estaciones con más de 25 mg/l de NO₃ rondando el 5,4% en 2022. En 2023, se registra un ligero ascenso, hasta el 6,2 %. Aunque a lo largo de los años el número total de analíticas de nitratos ha ido oscilando, se observa una clara tendencia creciente a partir de 2017. En 2023 se observa que continua al alza.

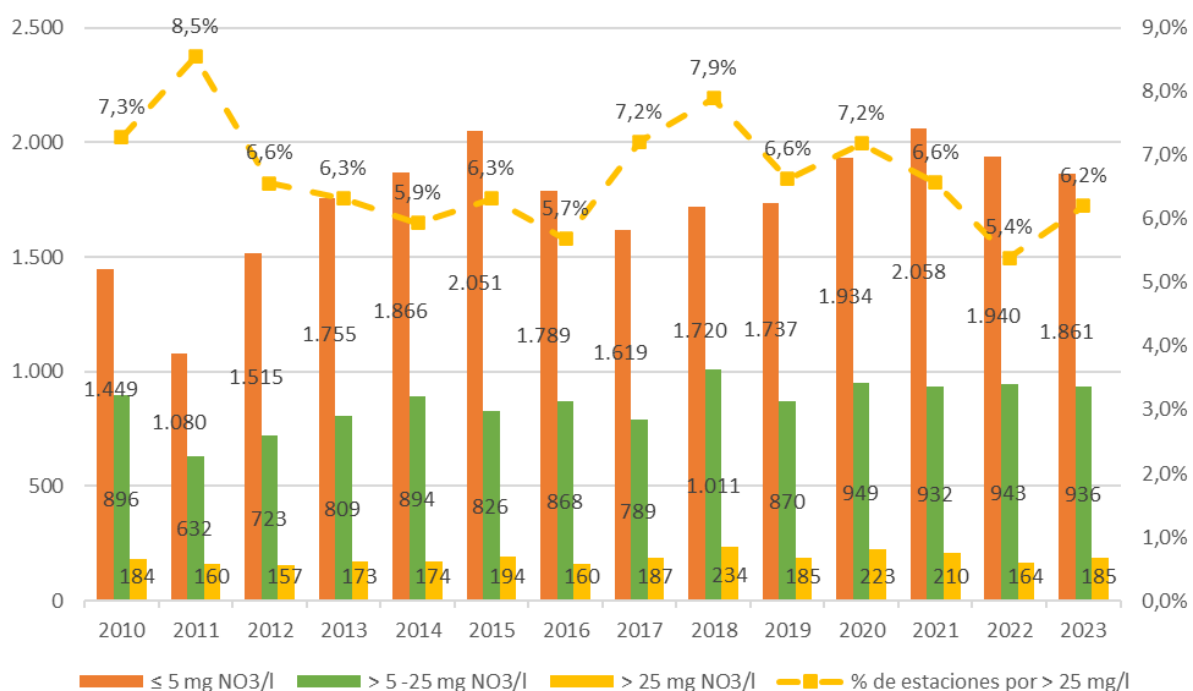
⁶⁴ [INFORME CALIDAD DE LAS AGUAS 2682024.pdf](#).

⁶⁵ [BOE.es - DOUE-L-1991-82066 Directiva del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.](#)

⁶⁶ [BOE-A-1996-5618 Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.](#)

⁶⁷ [BOE-A-2022-860 Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.](#)

Gráfica 24. N° de estaciones en cada categoría de concentración de nitratos en aguas superficiales 2010-2023.

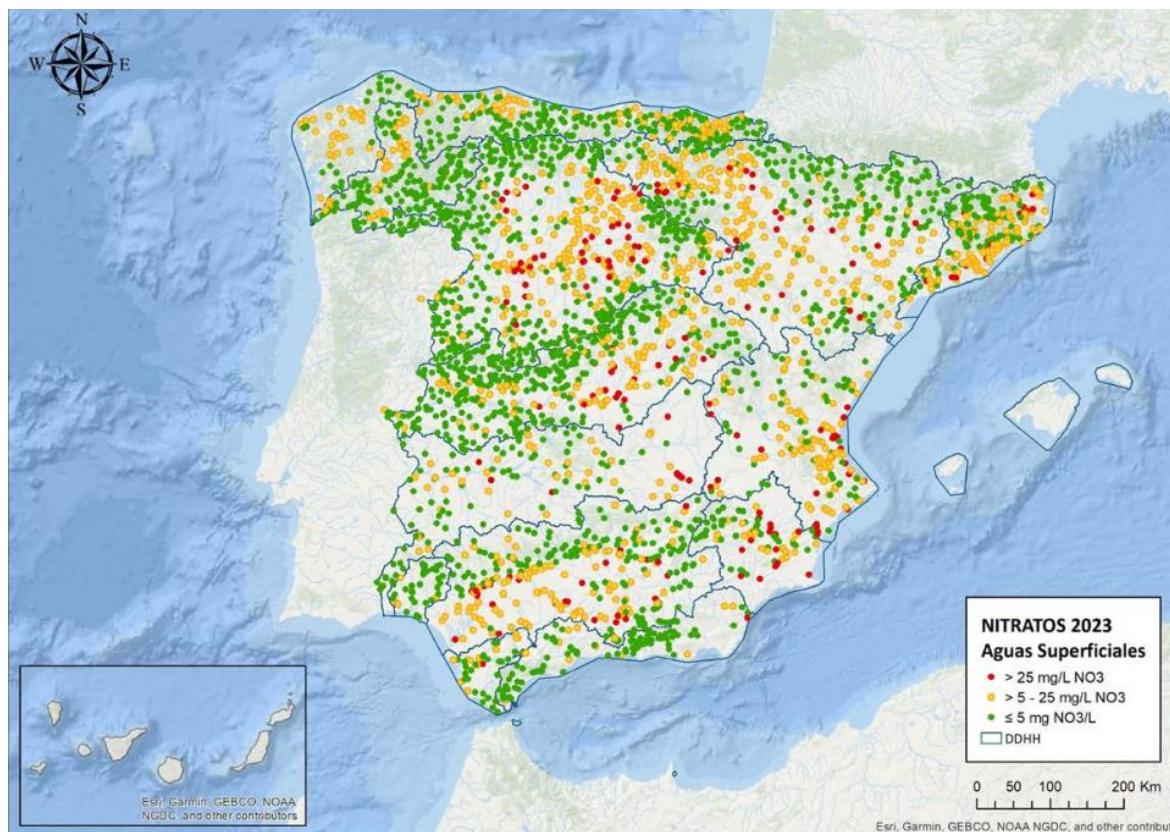


Fuente: elaboración propia en base a datos del MITERD: Estado de los nitratos en España.

Los datos de nitratos se han tomado del programa de seguimiento específicos para aguas superficiales, en concreto los datos se refieren al contenido de nitratos de origen agrario para el año 2023:

- En el caso de la demarcación del Cantábrico Oriental, Cantábrico Occidental, Miño-Sil, Galicia-Costa y Tinto, Odiel y Piedras, todas las estaciones evaluadas presentan concentraciones de nitratos inferiores o igual a 25 mg/l
- En el caso de las demarcaciones hidrológicas (DDHH) de Guadalete y Barbate; Cuencas Mediterráneas Andaluzas; Tajo; Duero; Guadalquivir; Ebro y Distrito Cuenca Fluvial de Catalunya, el porcentaje de estaciones superiores a 25 mg/l no supera el 10%.
- Las demarcaciones que presentan más del 10% de sus estaciones con concentraciones de nitratos superiores a los 25 mg/l son Guadiana, Júcar y Segura.

Figura 12. Contenido de nitratos de origen agrario en aguas superficiales (2023), MITERD.



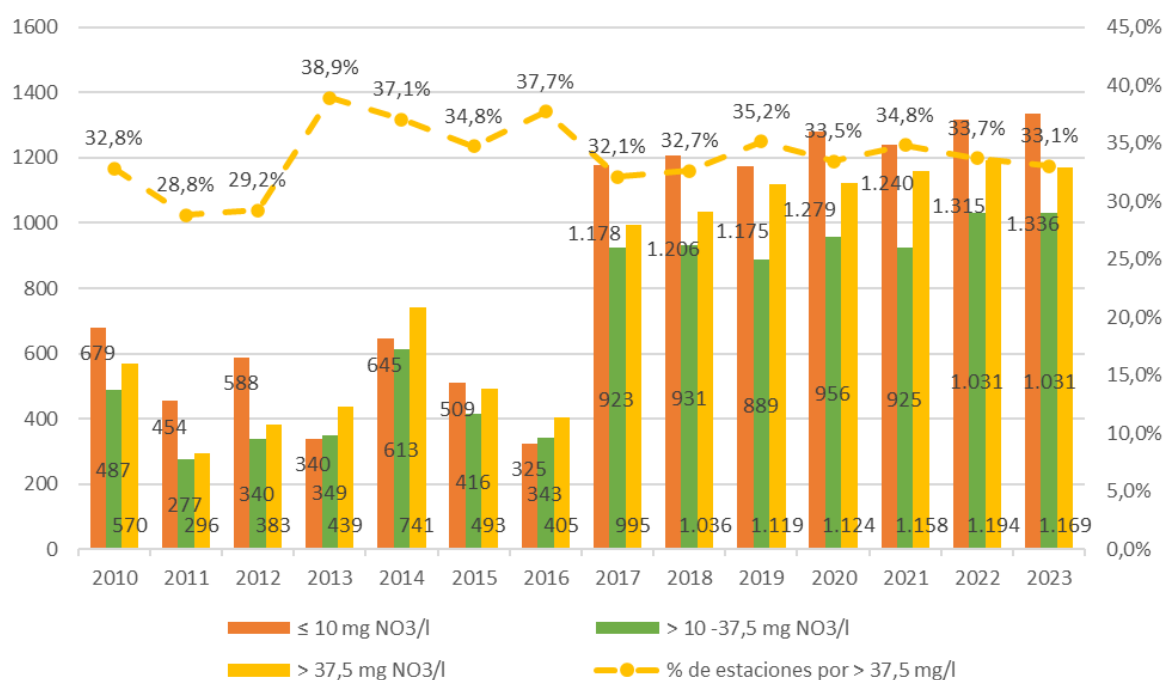
Fuente: contenido de nitratos de origen agrario (2023), MITERD.

- **Estado de los nitratos en aguas subterráneas**

Como se puede observar en la Gráfica 25, en aguas subterráneas, las concentraciones son más altas que en aguas superficiales (Gráfica 24), debido posiblemente a diversas fuentes de contaminación de origen agropecuario, como la utilización de fertilizantes agrarios nitrogenados o explotaciones ganaderas, y suponen un problema de contaminación debido a su continua acumulación en un número importante de masas de agua subterráneas.

El porcentaje de estaciones con valores superiores a los 37,5 mg/l se ha mantenido relativamente estable a lo largo del tiempo, oscilando entre el 28,8% en 2011 y un 38,9% en 2013. En 2023 permanece por debajo de la media (33,8% para 2010-2023), con un 33,1%, de las estaciones por encima de los 37,5 mg/l (Gráfica 25).

Gráfica 25. Nº de estaciones en cada categoría de concentración de nitratos en aguas subterráneas 2010-2023.



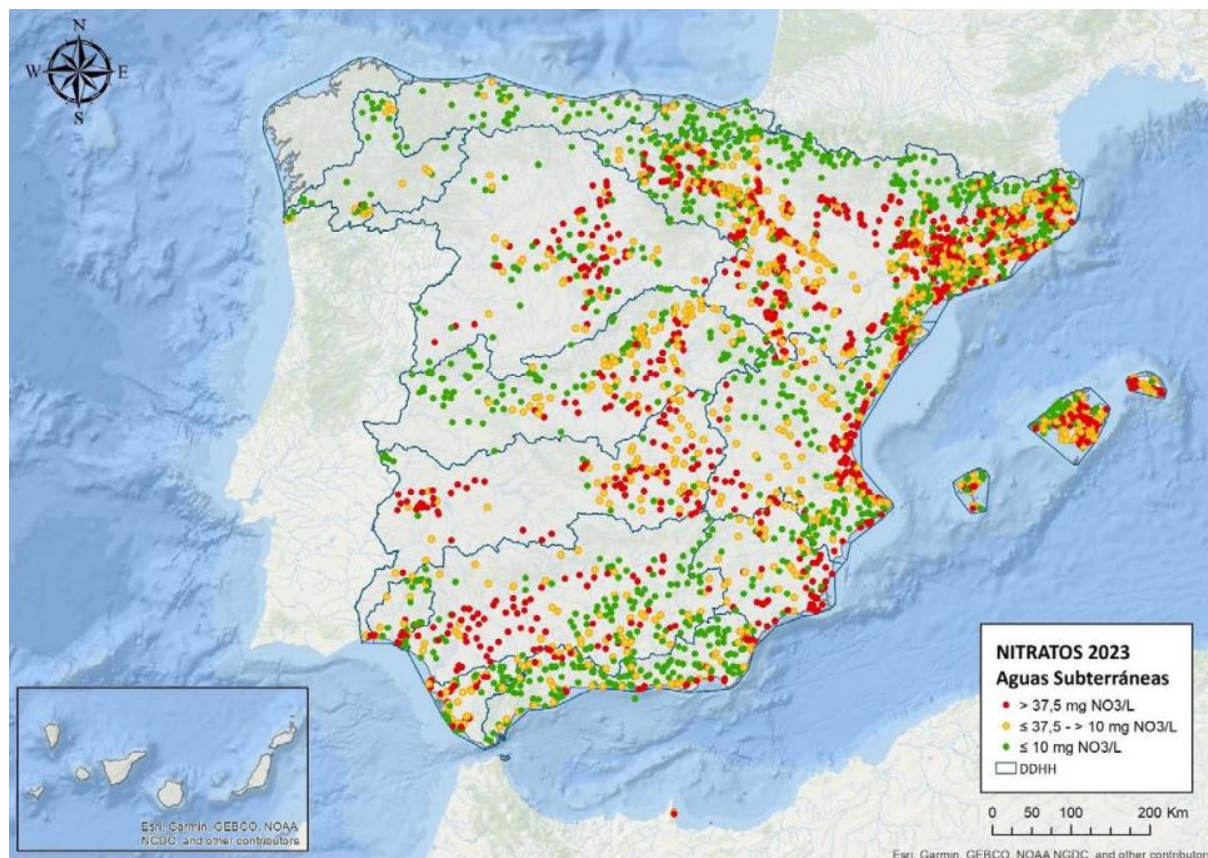
Fuente: elaboración propia en base a datos del MITERD: Estado de los nitratos en España.

Nota: en el caso de aguas subterráneas, para Galicia Costa no hay nueva información cargada en NABIA con resultados de 2023, así que se han tomado los mismos datos que en 2022 para no distorsionar la tendencia.

Del análisis sobre las concentraciones de nitratos que se presentan en la Figura 13, se deduce que la concentración de nitratos es claramente superior en aguas subterráneas, y dentro de éstas, las concentraciones más elevadas se localizan en diversos puntos de la geografía española, destacando el litoral levantino, la cuenca del Guadiana y las Islas Baleares, entre otras zonas.

- Tan solo en las demarcaciones hidrológicas del Cantábrico Oriental y Cantábrico Occidental presentan todas las estaciones con concentraciones de nitratos inferiores o igual a 37,5mg/l.
- Las DDHH del Miño-Sil, Cuencas Mediterráneas Andaluzas, Tajo, Guadalete-Barbarte y Tinto, Odiel y Piedras presentan menos del 30% de sus estaciones con valores superiores a 37,5 mg/l.
- El resto de DDHH muestran porcentajes comprendidos entre 30;4% (en la DH Júcar) y el 51,37% (en la DH Guadiana) de estaciones por encima del 37,5 mg/l de nitrato.

Figura 13. Contenido de nitratos de origen agrario en aguas subterráneas (2023), MITERD.



Fuente: contenido de nitratos de origen agrario (2023), MITERD.

El Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias señala que “la contaminación de origen difuso de las masas de agua superficial y subterránea es un problema muy extendido en la mayor parte de las cuencas españolas. En particular, este hecho se pone de manifiesto por las elevadas concentraciones de nitratos que se registran en determinadas masas de agua, consecuencia de los excedentes de productos inorgánicos u orgánicos usados como fertilizantes. Este hecho es especialmente preocupante cuando alcanza a aguas que se destinan o vayan a destinarse al abastecimiento de la población, reguladas por la Directiva 2020/2184, de 16 de diciembre, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano”.

Este real decreto, “tiene por objeto establecer las medidas necesarias para reducir la contaminación de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas, causada por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, y actuar preventivamente contra nuevas contaminaciones de esa clase”.

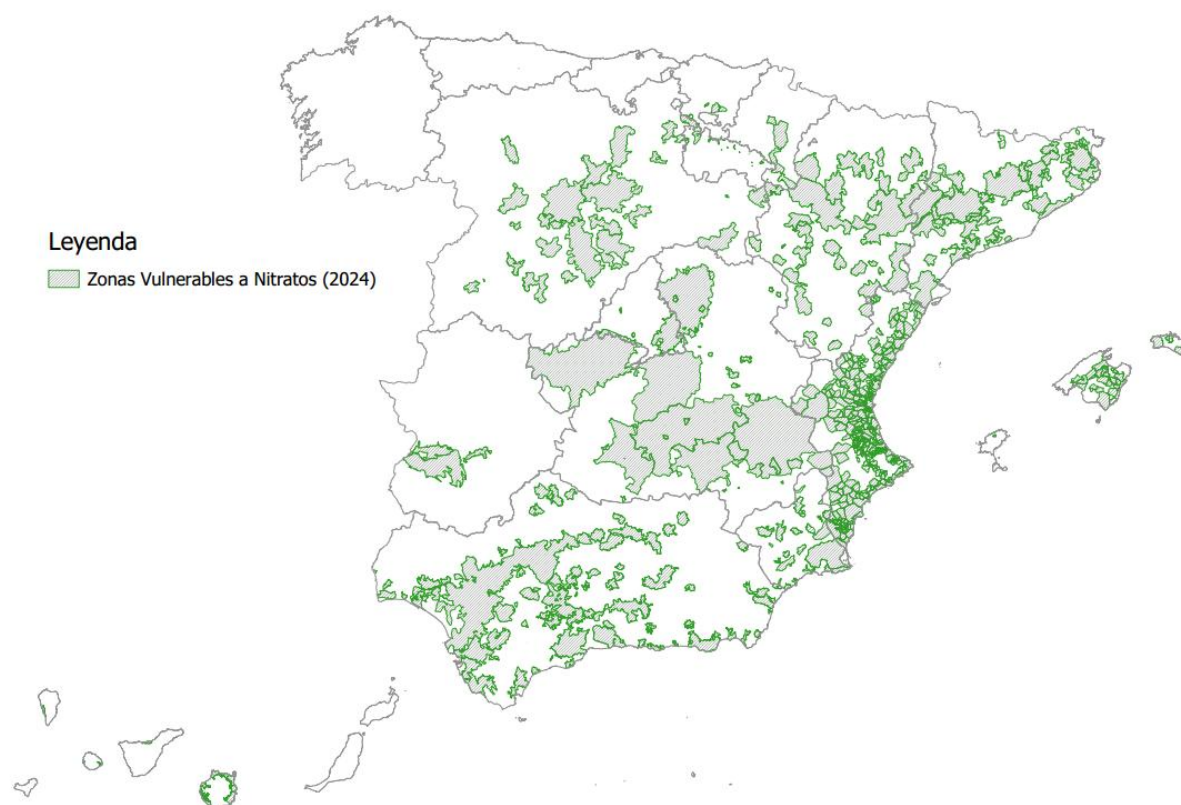
De acuerdo a este real decreto, las comunidades autónomas designarán como zonas vulnerables todas las superficies conocidas de su territorio cuya escorrentía fluya hacia las aguas contempladas en el artículo 3 y que contribuyan, aunque sea mínimamente, a su contaminación.

- Aguas superficiales continentales que presenten, o puedan llegar a presentar una concentración de nitratos superior a 25 mg/l o, cuando resulte más exigente, la que se haya en el anexo II del Real Decreto 817/2015⁶⁸.
- Aguas subterráneas cuya concentración de nitratos sea superior a 37,5 mg/l.
- Embalses, lagos naturales, charcas, estuarios y aguas de transición y costeras, que se encuentren en estado eutrófico o puedan eutrofizarse.

El plazo para la nueva designación o para la ampliación o revisión de las zonas vulnerables previamente designadas será como máximo de tres años, contados a partir de la publicación en el Boletín Oficial del Estado del real decreto.

A continuación, se presentan las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos en 2024 disponibles en el MITERD⁶⁹:

Figura 14. Zonas vulnerables a contaminación por nitratos 2024.



Fuente: elaboración propia a partir de la cartografía de las zonas vulnerables a nitratos de origen agrícola, 2024, del MITERD.

⁶⁸ [BOE-A-2015-9806 Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.](#)

⁶⁹ [Zonas vulnerables](#) (MITERD).

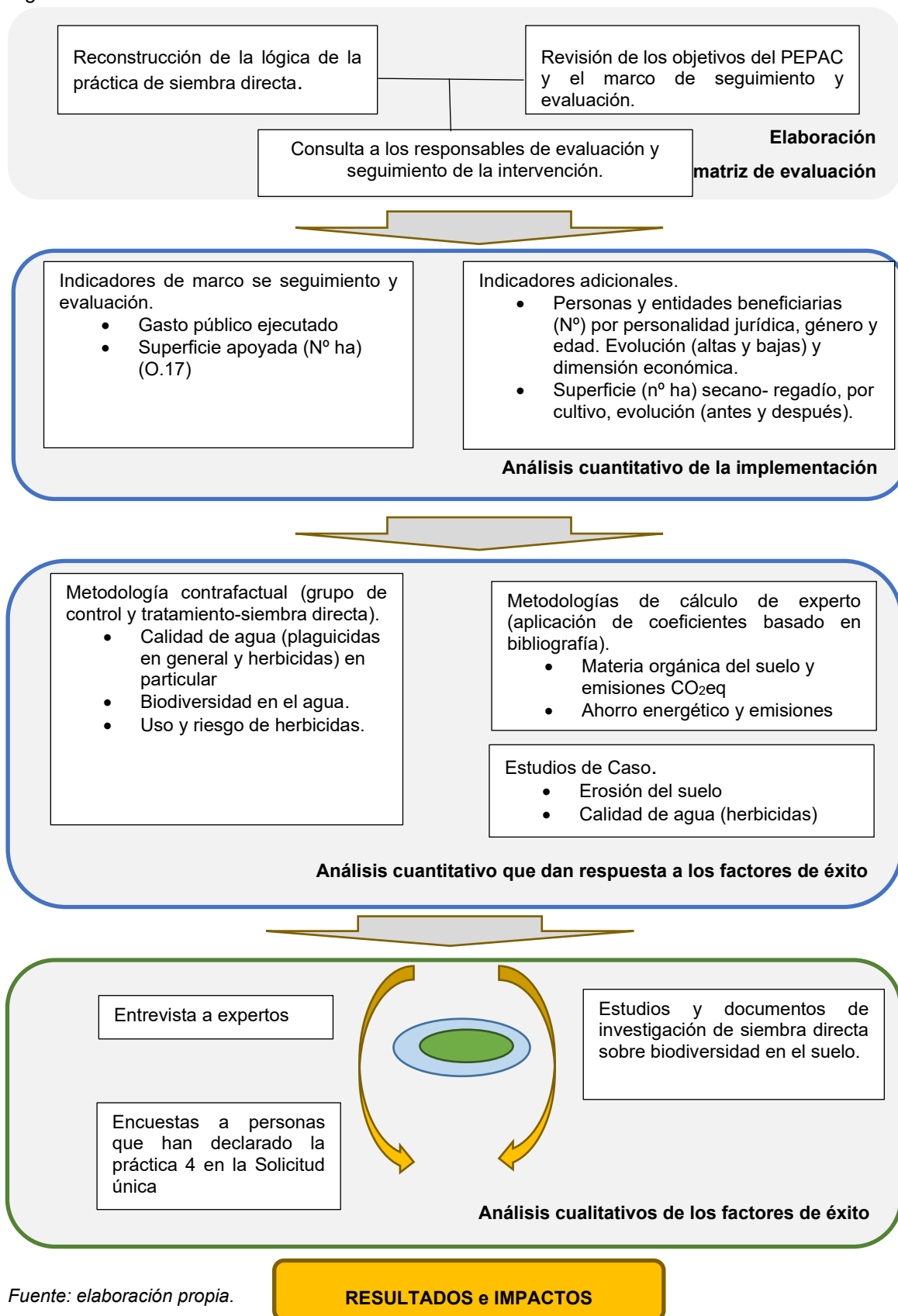
5. Metodología

5.1. Enfoque de la evaluación

El proceso de evaluación ha comenzado con la reconstrucción de la lógica de la intervención⁷⁰ y el diseño de la matriz de evaluación, detallada en el apartado siguiente, de forma que se atendieran las necesidades de conocimiento de la Autoridad de gestión. Los factores de éxito definidos en esta matriz han surgido de los objetivos previstos en el PEPAC y de las interacciones y relaciones de la práctica de siembra directa con los mismos, además de las necesidades de conocimiento detectadas en el diseño de la intervención en relación con los herbicidas.

⁷⁰ La lógica de la intervención está definida a priori en el PEPAC y es un modelo que guía la implementación de acciones en los planes y programas, articulando los objetivos operativos, resultados e impactos esperados.

Figura 15. Resumen del diseño de la Evaluación.



Fuente: elaboración propia.

Una vez reconstruida la lógica de la intervención y elaborada la matriz de evaluación, los siguientes pasos para establecer el diseño de esta evaluación han llevado a la elección de métodos para realizar una evaluación sólida que permita descubrir los logros atribuibles al PEPAC tanto en términos de resultados como de impactos, teniendo en cuenta la participación de los actores implicados (personas que han declarado la práctica en la Solicitud única y entidades de referencia) a través de entrevistas y sondeos de opinión.

Tras el análisis de los aspectos que debe tener una evaluación y analizadas las diferencias entre los diversos enfoques metodológicos, se ha considerado que lo más adecuado para evaluar la práctica de siembra directa del PEPAC es un diseño de evaluación cuasi-experimental, ya que se realiza sobre beneficiarios que han concluido sus acciones y la selección de los mismos para la concesión de ayudas no ha sido al azar. En el mismo se considera un enfoque mixto, combinando tanto métodos cuantitativos como cualitativos, entre los que se han considerado algunas técnicas participativas.

La evaluación ha comenzado definiendo una teoría del cambio para evaluar los efectos esperados o inesperados, principales y secundarios, positivos y negativos, a través de la cadena de resultados o la lógica de la intervención, lo que ha permitido el comienzo de un análisis cualitativo introductorio que se ha ido contrastando a lo largo de toda la evaluación.

Posteriormente se han formulado hipótesis para contrastar los efectos potenciales de la práctica de la siembra directa y relacionados con las preguntas de evaluación y los factores de éxito vinculados a ellas. A una vez, formuladas estas hipótesis se ha desarrollado el trabajo de comprobación de las mismas con métodos de inferencia causal (cuantitativos y cualitativos). Para ello, se han definido las variables que podían detectar los efectos de la siembra directa, bien de ejecución o de resultados, durante el periodo de aplicación de la práctica de siembra directa.

También se ha analizado la información disponible y la complejidad de los distintos métodos para priorizar los esfuerzos de la evaluación. En el análisis cuantitativo, al objeto de cuantificar el alcance y los logros atribuibles a la práctica de siembra directa en términos de resultados y de impacto se ha utilizado, cuando ha sido posible el análisis contrafactual. En este sentido se ha intentado encontrar grupos de control para poder aplicar una metodología contrafactual y se ha valorado la información necesaria y disponible. Principalmente esta metodología contrafactual se ha basado en un método Naïve, comparando el grupo de tratamiento con el grupo de control en su conjunto, aunque en los casos en los que ha sido posible, se han tenido en cuenta variables adicionales que permitan construir estos dos grupos de la forma más semejante posible, con la salvedad de la práctica de siembra directa aplicada. Esto ha llevado a diseñar estudios de caso en algunas situaciones.

Cuando ha sido posible se ha aplicado más de una técnica para cuantificar los resultados con la intención de triangular y contrastar los resultados, comprobando la coherencia de los mismos.

Además, antes de aplicar el análisis contrafactual a la práctica de siembra directa, se ha realizado el análisis cuantitativo con los datos resultantes de la declaración de las explotaciones en las que se incluye la práctica de la siembra directa en la Solicitud única y se

ha complementado con los resultados de las encuestas realizadas a los beneficiarios de determinadas ayudas y con entrevistas e información compartida en jornadas de actores relevantes.

El análisis cualitativo se ha utilizado para intentar obtener información de los mecanismos sobre cómo y porqué ha funcionado esta práctica agraria de la siembra directa y el contexto a través de los que se establecen las relaciones causales. De esta forma, la revisión de síntesis bibliográfica de los datos ensayos en campo y estudios en relación a los distintos factores de éxito y los indicadores que se relacionan; erosión de suelo, índice de biodiversidad, contenido de materia orgánica, etc., permite que la información cualitativa ayude a la triangulación de la información obtenida por las técnicas cuantitativas y la complementan.

Por último, en relación con el indicador adicional “Reducción del consumo energético”, se estima el ahorro de consumo de gasoil asociado a la siembra directa en comparación con el laboreo convencional.

5.2. Matriz de evaluación

El proceso de evaluación de la práctica de siembra directa se ha regido por la necesidad de responder a cada una de las preguntas de evaluación establecidas en la matriz de evaluación elaborada para tal fin.

La matriz de evaluación sirve de herramienta metodológica para evaluar los efectos de la siembra directa en los objetivos del PEPAC de reducción de la erosión del suelo, aumento de la fertilidad y de la capacidad de absorción de carbono, así como sobre la biodiversidad, teniendo en cuenta los efectos de los herbicidas, y además su repercusión en materia de competitividad, al objeto de proporcionar conocimiento que colabore en el diseño de la intervención en los casos en los que se observaran efectos negativos, tal y como contempla el Plan de evaluación. Esta se articula en torno a las preguntas que se quieren responder en la evaluación, que al objeto de poder juzgar los logros, se relacionan con factores de éxito.

Para cada uno de estos factores de éxito (Figura 16) se evalúan diferentes indicadores relacionados con las intervenciones de siembra directa. Las intervenciones de pagos directos consideradas en la evaluación son las siguientes, en concreto en relación a la práctica 4 de agricultura de conservación-siembra directa:

- 1PD31001803V1 Eco-régimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano".
- 1PD31001804V1 Eco régimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo".
- 1PD31001805V1 Eco régimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de regadío".

Los indicadores elegidos para el análisis de la contribución de estas intervenciones a los objetivos previstos, se diferencian entre:

- Indicadores comunes: son los indicadores programados en el PEPAC con las intervenciones de siembra directa, pueden ser indicadores output o de resultado.

- Indicadores adicionales equipo evaluador: son los indicadores adicionales propuestos por el equipo evaluador para una mayor evaluación de la matriz, pueden ser indicadores de impacto, de contexto o algunos planteados por el equipo. Como los relativos a la formación de la persona agricultura.
- Indicadores adicionales Autoridades PEPAC: son los indicadores adicionales propuestos para que las autoridades de gestión del PEPAC puedan recopilar la información en sus bases de datos, más allá de los indicadores comunes del marco de seguimiento y evaluación, pueden ser indicadores de resultado, de contexto, de impacto.

La información cuantitativa obtenida de las bases de datos se apoya con otra cualitativa procedente de la revisión bibliográfica que ofrece información relevante para analizar información de utilidad para atender los distintos factores de éxito y los indicadores que se relacionan.

Por último, en la matriz se ha considerado también información procedente de entrevistas con agentes implicados y encuestas a personas beneficiarias.

En la Figura 17 se muestra la matriz de evaluación final en la que se indican las preguntas de evaluación con sus factores de éxito y los indicadores y las fuentes que se han utilizado para dar respuesta a las preguntas de evaluación.

Figura 16. Matriz de evaluación.

Pregunta de evaluación	Factores de éxito	Indicadores comunes y adicionales	Información cualitativa/técnicas participativas
¿En qué medida el uso de herbicidas derivado de la práctica de la siembra directa en el marco del PEPAC (P4-Ecorregímenes) produce efectos en los objetivos de la PAC?	1. La siembra directa incide en la disminución de la utilización y el riesgo de los herbicidas químicos y la utilización de herbicidas más peligrosos.	O.8 Número de hectáreas o de unidades ganaderas para los eco regímenes (de siembra directa). R.24ER Uso sostenible y reducido de plaguicidas: porcentaje de superficie agrícola utilizada (SAU) objeto de compromisos específicos subvencionados que conducen a un uso sostenible de los plaguicidas para reducir sus riesgos e impacto, incluidas las fugas Indicador adicional: Número de aplicaciones de fitosanitarios	Proyecto Life Agromitiga ⁷¹ Entrevista a técnicos del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito ⁷² y Fincas Colaboradoras. Sondeo de opinión ⁷³
	2. La gestión de herbicidas en la siembra directa supone cambios en la biodiversidad, servicios ecosistémicos y hábitats.	I.18 Uso sostenible y reducido de plaguicidas: riesgos, uso y repercusiones de los plaguicidas C.49 Riesgo, uso e impactos de los pesticidas Indicador adicional: biodiversidad de la calidad de agua a través de los fitobentos. Indicador adicional: biodiversidad de la calidad de agua a través de los macroinvertebrados bentónicos. Indicador adicional: Detección del Riesgo por herbicidas.	Labouyrie et al., 2023 ⁷⁴ . Estudio de González Ortega y Fuentes Ponce (2022) ⁷⁵ Meta-análisis a escala global de Puissant et al. (2021) ⁷⁶ Meta-análisis mundial de Briones y Schmidt (2017) ⁷⁷ Entrevista AEACSV ⁷⁸ Proyecto SoilBIO ⁷⁹
	3. Gestión de herbicidas en la siembra directa incide en la calidad del agua.		

⁷¹ <https://lifeagromitiga.eu/el-proyecto/?lang=es>.

⁷² https://albaladejito.castillalamancha.es/sites/default/files/2024-09/CIAF_boletinInvierno_23-24.pdf

⁷³ Sondeo de opinión a las personas beneficiarias de la práctica de siembra directa. El resultado total de la encuesta está en el anexo IV

⁷⁴ Labouyrie, M., Ballabio, C., Romero, F., Panagos, P., Jones, A., Schmid, M. W., ... & Orgiazzi, A. (2023). Patterns in soil microbial diversity across Europe. *Nature Communications*, 14(1), 3311 (Patrones en la diversidad microbiana del suelo en Europa - PubMed)

⁷⁵ González Ortega, E., & Fuentes Ponce, M. H. (2022). Dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 38.

⁷⁶ Puissant, J., Villenave, C., Chauvin, C., Plassard, C., Blanchart, E., & Trap, J. (2021). Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 161, 108383.

⁷⁷ Briones, M. J. I., & Schmidt, O. (2017). Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global change biology*, 23(10), 4396-4419 [Global Change Biology | Environmental Change Journal | Wiley Online Library](#).

⁷⁸ Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV) <https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/reforma-de-la-pac/plan-estrategico-pac-post-2020/documentos/practicas-sostenibles-priman-nueva-pac.pdf>.

⁷⁹ SoilBIO. (coordinado por UPA y financiado en el marco del PRTR–NextGenerationEU a través de la Fundación Biodiversidad). <https://digital.csic.es/bitstream/10261/377121/1/226-v42n2-bioindicadoresybiodiversidaddefica.pdf>

Luna Medrano et al., (2025) Multiple Sustainable Practices Are Crucial for Enhancing the Provisioning of Agroecosystem Services Worldwide. *Ecology Letters* <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ele.70276>

Pregunta de evaluación	Factores de éxito	Indicadores comunes y adicionales	Información cualitativa/técnicas participativas
		Estudio de caso glifosato y AMPA (ácido aminometilfosfonil).	
¿En qué medida contribuye la siembra directa a la mitigación del cambio climático a través de la captura de carbono por los suelos agrícolas?	4. La siembra directa favorece el secuestro de carbono por los suelos.	O.8 Número de hectáreas o de unidades ganaderas para los eco regímenes (de siembra directa). I.11 Mejora del secuestro de carbono. C.40 Carbono orgánico del suelo en tierras agrícolas.	Meta-análisis global de 2018 ⁸⁰ Iniciativa 4 por mil ⁸¹ <i>Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027</i> ⁸² Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España ⁸³ Entrevista a técnicos del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras Entrevista AEACSV
¿En qué medida contribuye la siembra directa a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones procedentes de prácticas agrícolas?	5. La siembra directa incide en las emisiones de gases de efecto invernadero.	O.8 Número de hectáreas o de unidades ganaderas para los eco regímenes (de siembra directa). I.10 Contribución a la mitigación del cambio climático. C.44 Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura.	Iniciativa 4 por mil <i>Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027</i> Entrevista AEACSV IDAE ⁸⁴ Sondeo de opinión a personas que aplican la práctica
¿En qué medida contribuye la siembra directa en la mejora de la gestión y conservación de los suelos agrícolas?	6. La siembra directa reduce la erosión del suelo.	O.8 Número de hectáreas o de unidades ganaderas para los eco regímenes (de siembra directa). I.13. Reducción de la erosión del suelo. C.41 Porcentaje de tierras agrícolas con erosión del suelo moderada y severa	JRC, evidencias de las prácticas agrarias ⁸⁵ . Efectos de las técnicas de conservación del suelo en el control de la erosión hídrica: un análisis global ⁸⁶ . N. Mhazo, P. Chivenge, V. Chaplot ⁸⁷ . Sunn, Y. et al., 2015 ⁸⁸ <i>Boosting the European Green Deal in the crop production sector</i> ⁸⁹

⁸⁰ Li, Y., Chang, S. X., Tian, L., & Zhang, Q. (2018). Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 121, 50-58.

⁸¹ Iniciativa 4 por mil: El carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España (MITERD).

⁸² Informe "Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027", del Servicio de Evaluación de la PAC Helpdesk.

⁸³ Convenio MAPA-CSIC para el seguimiento y evaluación con base científica del plan estratégico de la PAC 2023-2027 de España.

⁸⁴ Estudio **Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación** (2009), IDAE, https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_Agr12_Agric_conservacion_A2009_1ef06e4a.pdf.

⁸⁵ https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/JRC_FP_EVIDENCE_LIBRARY/index.html.

⁸⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718326081>.

⁸⁷ [Tillage impact on soil erosion by water: Discrepancies due to climate and soil characteristics, N. Mhazo, P. Chivenge, V. Chaplot. 2016.](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718326081)

⁸⁸ No-tillage controls on runoff: A meta-analysis Yanni Sun, Yongjun Zeng, Qinghua Shi, Xiaohua Pan, Shan Huang (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198715000884>).

⁸⁹ *Boosting the European Green Deal in the crop production sector: Conservation Agriculture and the tools for its implementation in Denmark, France, Germany, Italy, Poland and Spain.*

Pregunta de evaluación	Factores de éxito	Indicadores comunes y adicionales	Información cualitativa/técnicas participativas
			Redes TECO- Red Cultivos ⁹⁰ Sondeo de opinión a personas que aplican la práctica
¿En qué medida contribuye la siembra directa en la mejora de calidad de los suelos agrícolas?	7. La siembra directa incide en la mejora de la calidad del suelo.	I.11 Mejora del secuestro de carbono. I.13 Reducción de la erosión del suelo. Indicador adicional: % de recintos coincidentes en rotación de cultivos (2023-2024). Indicador adicional: % de superficie en rotación de cultivos (2023-2024).	Proyecto SoilBIO ⁹¹ , Meta análisis Zander Samuel Venter 2016 ⁹² Meta análisis M.D. McDaniel 2014 ⁹³ JRC, evidencias de las prácticas agrarias ⁹⁴ . Entrevista AEACSV ⁹⁵ Entrevistas Cooperativas Agroalimentarias Entrevista a técnicos del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras Sondeo de opinión a personas que aplican la práctica Sondeo de opinión sobre los procesos a las unidades gestoras que gestionan la práctica
¿En qué medida contribuye la siembra directa en la calidad de las masas de agua?	8. La siembra directa incide en la mejora de las masas de agua.	Indicador adicional: Detección del Riesgo por Plaguicidas I.15 Mejora de la calidad del agua: Balance bruto de nutrientes en tierras agrícolas	Entrevista a técnicos del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras Entrevista AEACSV Estudios del IFAPA de Córdoba ⁹⁶
¿En qué medida ha contribuido la siembra directa en el marco del PEPAC a proteger la biodiversidad?	9. La siembra directa favorece la protección de la biodiversidad.	Indicador adicional: biodiversidad de la calidad de agua a través de los fitobentos. Indicador adicional: biodiversidad de la calidad de agua a través de los macroinvertebrados bentónicos	Labouyrie et al., 2023 ⁹⁷ . Meta-análisis llevado a cabo por Li et al. (2020) ⁹⁸ Meta-análisis global de 2018 ⁹⁹

⁹⁰ [Redes TECO- Red Cultivos](#), es un sistema de información de datos técnico-económicos, de los sistemas productivos de cultivos herbáceos e industriales en España, y cuyo objetivo es contribuir a lograr un mayor conocimiento sobre la realidad de los mismos.

⁹¹ [SoilBIO](#), (coordinado por UPA y financiado en el marco del PRTR–NextGenerationEU a través de la Fundación Biodiversidad)

⁹² The impact of crop rotation on soil microbial diversity: A meta-analysis, Zander Samuel Venter, Karin Jacobs, Heidi-Jayne Hawkins ([The impact of crop rotation on soil microbial diversity: A meta-analysis - ScienceDirect](#)).

⁹³ [¿La diversidad de cultivos agrícolas mejora la biomasa microbiana del suelo y la dinámica de la materia orgánica? Un metaanálisis - McDaniel - 2014 - Aplicaciones ecológicas - Biblioteca en línea de Wiley.](#)

⁹⁴ https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/JRC_FP_EVIDENCE_LIBRARY/index.html

⁹⁵ Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos

⁹⁶ Pedro González Fernández, IFAPA. Centro de Córdoba. Junta de Andalucía. La mejora de suelos en Siembra Directa y su correcta fertilización (https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AC/AC_2007_7_20_22.pdf)

⁹⁷ Labouyrie, M., Ballabio, C., Romero, F., Panagos, P., Jones, A., Schmid, M. W., ... & Orgiazzi, A. (2023). Patterns in soil microbial diversity across Europe. *Nature Communications*, 14(1), 3311 ([Patrones en la diversidad microbiana del suelo en Europa - PubMed](#))

⁹⁸ Li, Y., Song, D., Liang, S., Dang, P., Qin, X., Liao, Y., & Siddique, K. H. (2020). Effect of no-tillage on soil bacterial and fungal community diversity: A meta-analysis, (*Soil and Tillage Research*, 204, 104721. ([Effect of no-tillage on soil bacterial and fungal community diversity: A meta-analysis - ScienceDirect](#)))

⁹⁹ Li, Y., Chang, S. X., Tian, L., & Zhang, Q. (2018). Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 121, 50-58.

Pregunta de evaluación	Factores de éxito	Indicadores comunes y adicionales	Información cualitativa/técnicas participativas
			Meta-análisis global por Briones y Schmidt (2017) ¹⁰⁰ Meta-análisis realizado por Bowles et al. (2017) ¹⁰¹ Moos, Schrader y Paulsen (2017) ¹⁰² Meta-análisis a escala global de Puissant et al. (2021) ¹⁰³ Proyecto SoilBIO ¹⁰⁴ , Informe de la agricultura de conservación redactado por la <i>European Conservation Agriculture Federation (ECAAF)</i> ¹⁰⁵
¿En qué medida la siembra directa contribuye a la competitividad de la explotación?	10. La siembra directa mejora la competitividad de la explotación.	Indicador adicional: Reducción del consumo energético.	Entrevista AEACSV ¹⁰⁶ Román-Vázquez y col. (2023) ¹⁰⁷ Entrevista a técnicos del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito ¹⁰⁸ y Fincas Colaboradoras Agüera Vega, J., & Márquez García, F. (2012) ¹⁰⁹ Sondeo de opinión a personas que aplican la práctica IDAE ¹¹⁰

Fuente: elaboración propia.

HYPERLINK "<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.12815>" Bowles, T. M., Jackson, L. E., Loeher, M., & Cavagnaro, T. R. (2017). Ecological intensification and arbuscular mycorrhizas: a meta-analysis of tillage and cover crop effects. *Journal of Applied Ecology*

¹⁰¹ Bowles, T. M., Jackson, L. E., Loeher, M., & Cavagnaro, T. R. (2017). Ecological intensification and arbuscular mycorrhizas: a meta-analysis of tillage and cover crop effects. *Journal of Applied Ecology*, 54(6), 1785-1793.

//www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003807172100256X" Moos, J. H., Schrader, S., & Paulsen, H. M. (2017). Reduced tillage enhances earthworm abundance and biomass in organic farming: A meta-analysis. *Landbauforschung*, 67.

¹⁰³ Puissant, J., Villenave, C., Chauvin, C., Plassard, C., Blanchart, E., & Trap, J. (2021). Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 161, 108383.

¹⁰⁴ SoilBIO. (coordinado por UPA y financiado en el marco del PRTR–NextGenerationEU a través de la Fundación Biodiversidad)

¹⁰⁵ Román-Vázquez J., Moreno-García, M., Repullo-Ruibérriz de Torres, M.A., Veroz-González O., Agüera-de Pablo Blanco, B., Kassam, A., Basch G., González-Sánchez, E.J. 2023. *Conservation Agriculture: Moving towards*

¹⁰⁶ Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV).

¹⁰⁷ Informes de la Federación Europea de Agricultura de Conservación (EDAF) de: Román-Vázquez y col. (2023), sobre los efectos de la agricultura de conservación en la biodiversidad; y Holgado y col. (2023).

¹⁰⁸ https://albaladejito.castillalamancha.es/sites/default/files/2024-09/CIAF_boletinInvierno_23-24.pdf

¹⁰⁹ Agüera Vega, J., & Márquez García, F. (2012). Técnicas agrarias sostenibles mitigadoras del cambio climático. Proyecto Life + AGRICARBON: Agricultura sostenible en la aritmética del carbono (LIFE08/ENV/E/000129). ISBN: 978-84-695-6406-6 (https://agriculturadeconservacion.org/images/descargas/Fichas_Tecnicas/ficha%20tecnica%203.pdf)

¹¹⁰ Estudio **Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación** (2009), IDAE, https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_Agr12_Agric_conservacion_A2009_1ef06e4a.pdf.

5.3. Técnicas aplicadas

En primer lugar, **el análisis cuantitativo** se centra en la implementación de la práctica de siembra directa, para **conocer el alcance de la misma** a través de los indicadores que proporciona el sistema de seguimiento del PEPAC¹¹¹ y otras fuentes de información.

Para conocer los diferentes aspectos de la implementación de la práctica de siembra directa, se accede a la información del MAPA del **Registro de Solicitud Única (RSU)**¹¹² de 2022, 2023 y 2024, de la **Base de Datos de Explotaciones (BDEX)** del año 2022 y del **Sistema de Información de Explotaciones Agrarias (SIEX)**¹¹³ 2025. El cruce y análisis de estas fuentes de información facilita datos de superficie, personas beneficiarias, localización, ayuda solicitada, sexo, edad, Orientación Técnico Económica (OTE), Unidad de Dimensión Económica (UDE), algunos de los cuales incluyen indicadores de sistema de seguimiento del PEPAC, pero también proporcionan otros detalles como la localización cartográfica de la superficie.

Estos indicadores se presentan por anualidades, diferenciando entre los datos de 2022, 2023 y 2024, para observar la evolución de la implementación de esta práctica agraria durante el periodo de ejecución del PEPAC, así como en el año previo (2022) tanto a nivel explotación como de superficie.

Los análisis se han afrontado con el apoyo de softwares cartográficos basados en Sistemas de Información Geográfica (GIS), como ArcGis Pro y QGis, principalmente mediante la realización de consultas en lenguaje SQL a través de PostgreSQL.

La base de datos del RSU se ha tratado mediante métodos de programación y formatos de texto específicos para evitar las duplicidades en la información, la localización de los recintos pertenecientes a cada línea de declaración del RSU¹¹⁴ se ha conseguido gracias a la información extraída de SIGPAC¹¹⁵.

Además, con la información del Registro de Solicitud Única (RSU) de 2023 y 2024, se analiza el compromiso sobre la **rotación de cultivos** entre la primera y la segunda anualidad del PEPAC, en la superficie de siembra directa. Para ello, se vinculan las líneas de declaración de los recintos con el identificador del solicitante (NIF) asociado a cada una de ellas. De esta forma, los datos obtenidos hacen referencia a la combinación de campos (recinto asociado a un solicitante) aunque cuando se señalen en los títulos de las tablas y el texto sobre este aspecto se denomine como “recinto”.

La necesidad de tomar esta combinación de campos como unidad es doble. Por un lado, porque el compromiso lo adquiere el solicitante, pero la rotación se tiene que realizar sobre la

¹¹¹ [Seguimiento y evaluación del Plan Estratégico](#)

¹¹² [SGA | Portal Web del FEAGA](#).

¹¹³ [SIEX | Portal Web del FEAGA](#).

¹¹⁴ La línea de declaración del RSU se refiere a la superficie continua declarada por un agricultor dentro de un recinto SIGPAC, donde solicita una misma línea de ayuda.

¹¹⁵ [SIGPAC \(Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas\) | Portal Web del FEAGA](#).

misma superficie¹¹⁶. Por otro, porque el hecho de que un mismo solicitante pueda tener varias líneas de declaración, o una misma línea de declaración varios solicitantes, hace que un análisis guiado únicamente por una de estas variables pueda llevar a equívocos.

La rotación de cultivos se evalúa comprobando los códigos de cultivo declarados por aquellos que mantuvieron la continuidad difieren entre ambos años, 2023 y 2024.

Los resultados de la evolución de la ejecución de la práctica de siembra directa proporcionan información necesaria para la aplicación de la metodología contrafactual, a través de la cual se identifica un grupo de control (sin influencia de la siembra directa) que pueda compararse con el grupo de tratamiento, constituido por las explotaciones o superficie que sí aplican la práctica de siembra directa.

En el anexo I se ofrece un mayor detalle sobre la metodología aplicada para cada uno de los indicadores propuestos. A continuación, se expone un resumen de dicha metodología de cálculo de los indicadores utilizados, en función de la información disponible para este informe:

- Metodología contrafactual, que se ha basado en un método Naïve, comparando el grupo de tratamiento con el grupo de control en su conjunto, (diferencia entre los grupos).

Indicador	Resumen de la metodología
Indicador adicional: Número de aplicaciones de fitosanitarios. Mide la variación media del N° de pases de los diferentes fitosanitarios en los cultivos.	A partir de la información publicada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en la Redes - TECO (Red de Explotaciones Típicas)¹¹⁷, que constituyen un sistema de información de datos técnico-económicos de los sistemas productivos de cultivos herbáceos e industriales en España, se realiza una comparativa entre el número de tratamientos de los diferentes productos fitosanitarios (herbicidas, fungicidas e insecticidas) que se aplican a los cultivos en el sistema convencional y en el sistema de agricultura de conservación, siembra directa. Para ello, se accede a los informes de resultados de los cultivos de cereales, oleaginosas y proteaginosas (COP) y de los cultivos industriales durante el periodo 2019-2023, en concreto al anexo de tablas descriptivas de cada explotación y a los ciclos productivos de cada uno de los cultivos. Los datos obtenidos permiten identificar aquellos cultivos donde se práctica siembra directa de los que no, así como identificar los momentos en los que se realizan las diferentes labores de tratamientos fitosanitarios. En este caso los datos publicados no disponen de información sobre las dosis aplicadas, sino sobre los diferentes momentos de su realización tanto en convencional como en siembra directa, por lo que el indicador propuesto sólo recoge la diferencia en el número de aplicaciones de los tratamientos. • Diferencia en el número de tratamientos entre el grupo de explotaciones de tratamiento y el de control.

¹¹⁶ Ver Real Decreto 1048/2022 artículo 37.

¹¹⁷ [Redes TECO- Red Cultivos](#).

Indicador	Resumen de la metodología
I.18 Riesgo, uso e impactos de los pesticidas. Se compone de tres indicadores específicos que muestran el impacto potencial del uso y riesgo de los pesticidas en la agricultura • Ventas de pesticidas	A partir de la información del Registro Electrónico de Transacciones y Operaciones (RETO)¹¹⁸ de 2023 y 2024, de la RSU de 2023- 2024 así como los datos del Sistema de Información de Explotaciones Agrarias (SIEX), se crea una base de datos donde se identifican las explotaciones (NIF) que realizan siembra directa (grupo de tratamiento) de las que no (grupo de control). Para cada uno de los registros de cada grupo se calcula la dosis media de glifosato por hectárea de cultivo, para ello se utilizan las compras de 2023 y 2024 y la superficie de cultivos. • Se calcula la diferencia de dosis media de glifosato entre el grupo de explotaciones de tratamiento y el de control. Se realiza un análisis de varianza (Anova) de dos vías para evaluar el efecto de la dosis estimada de glifosato (l/ha) entre tratamientos (siembra directa) y control. Se utilizaron las pruebas de Shapiro-Wilks y Bartlett para evaluar los supuestos de normalidad y la homocedasticidad en la variable dependiente dosis. Ante la falta de normalidad y homocedasticidad en los datos, se procedió a realizar una transformación de la variable dependiente, dosis, por la técnica de normalización de cuantiles ordenados a través de la función bestNormalize. Todas las comparaciones de medias por pares se realizaron con la prueba post hoc de Bonferroni a un nivel de significación de $P < 0,05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software R Core Team (2024).

¹¹⁸ [Registro electrónico de transacciones y operaciones \(RETO\).](#)

- Metodología contrafactual, que se ha basado en un método Naïve, comparando el grupo de tratamiento con el grupo de control en su conjunto, en dos periodos de tiempo antes y después de la implementación del PEPAC (diferencia entre grupos y periodo, técnica diferencia en diferencia DID).

Indicador	Resumen de la metodología										
Detección del riesgo de plaguicidas , mide la variación en el riesgo de detección de plaguicidas en las aguas.	A partir de la información sobre el estado de los plaguicidas de aguas superficiales y subterráneas, del MITERD¹¹⁹ y de la superficie de siembra directa en 2023 (RSU), se identifican las estaciones influenciadas por la siembra directa (grupo de tratamiento), de las que no (grupo de control). Se accede a la información de MITERD, sobre el estado de los plaguicidas en España, en concreto sobre la variable cualitativa de concentración de plaguicidas para la anualidad 2020, 2022 y 2023¹²⁰ establecida en el Informe de Calidad de las Aguas 2010-2023 del MITERD¹²¹, según las categorías de calidad del agua superficiales (Real Decreto 817/2015) y subterráneas (Real Decreto 1514/2009). <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Categorías Estaciones (concentración de plaguicidas)</th></tr> <tr> <th>Aguas Superficiales</th><th>Aguas Subterráneas</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)</td><td>≥ 0,1 µg/L</td></tr> <tr> <td>> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)</td><td>> LQ y < 0,1 µg/L</td></tr> <tr> <td>≤ LQ¹²²</td><td>≤ LQ</td></tr> </tbody> </table> Esta información permite observar la variación en las categorías de concentraciones de plaguicidas en las aguas superficiales y subterráneas entre el grupo de control y tratamiento que se produce entre los dos periodos de estudio antes de PEPAC (2020 y 2022) y después del PEPAC (2023). La comparación se realiza sobre: • Categoría de fitosanitarios 2020 respecto a 2023 de las estaciones del grupo de tratamiento y control. • Categoría de fitosanitarios 2022 respecto a 2023 de las estaciones grupo de tratamiento y control. ○ Se calcula la variación en la categoría de calidad de las aguas (superficiales y subterráneas) en las estaciones antes y después de la implementación de la práctica de siembra directa (1º diferencia) y diferencia entre la variación de las estaciones de tratamiento y de control (2º diferencia). Por último, para detectar el efecto de la evolución temporal (año) en cada uno de los tratamientos (no siembra directa y siembra directa), se han llevado a cabo pruebas de comparaciones múltiples Post hoc sobre el modelo.	Categorías Estaciones (concentración de plaguicidas)		Aguas Superficiales	Aguas Subterráneas	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ 0,1 µg/L	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	> LQ y < 0,1 µg/L	≤ LQ ¹²²	≤ LQ
Categorías Estaciones (concentración de plaguicidas)											
Aguas Superficiales	Aguas Subterráneas										
≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ 0,1 µg/L										
> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	> LQ y < 0,1 µg/L										
≤ LQ ¹²²	≤ LQ										

¹¹⁹ Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITERD).

¹²⁰ A la hora de acceder a la información para aplicar la metodología de este indicador, se ha tenido problemas para acceder a los datos de la anualidad 2021, por lo que no se han utilizado la información de esta anualidad.

¹²¹ [INFORME CALIDAD DE LAS AGUAS 2682024.pdf](#).

¹²² LQ: En una determinación analítica, múltiplo constante del límite de detección que se puede determinar con un grado aceptable de exactitud y precisión.

Indicador	Resumen de la metodología
Detección del Riesgo por herbicidas, mide la variación en la concentración (LQ) de los principales herbicidas.	En primer lugar, con la información del Registro electrónico de transacciones y operaciones (RETO) y del Informe de Calidad de las Aguas 2010-2023 del MITERD, se identifican las sustancias herbicidas más utilizadas y con riesgo de ser detectadas en la aguas superficiales y subterráneas. A partir de las sustancias herbicidas detectadas en los programas de seguimiento del estado de las masas de agua de la Directiva Marco del Agua, del MITERD y de la superficie de siembra directa en 2023 (RSU), se identifican las estaciones influenciadas por la siembra directa (grupo de tratamiento), de las que no (grupo de control). Se accede a la información de MITERD sobre la variable cuantitativa de concentración de sustancias herbicidas (LQ) de las anualidades 2021 a 2024 tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas. De cada sustancia herbicida detecta en aguas superficiales y subterráneas, se calcula la concentración media en dos momentos de tiempo antes la práctica del PEPAC (2021-22) y después del PEPAC (2023-24) para las estaciones del grupo de control y de tratamiento. Se calcula la diferencia de concentración en los valores LQ medios de cada sustancia en 2021-22 y los detectados en 2023-24 (LQ medio de cada sustancia en 2023-24 menos las de 2021-22, 1º diferencia). Posteriormente, se calcula la diferencia de variación las estaciones del grupo de tratamiento y el de control (2º diferencia). Por último, para el análisis estadístico del glifosato, se ha aplicado un modelo lineal mixto para evaluar las diferencias de concentración a nivel de aguas superficiales y subterráneas de herbicida glifosato y de su metabolito AMPA entre tratamientos (puntos de detección en siembra directa y fuera de siembra directa) y año (2021, 2022, 2023 y 2024). Para ambas sustancias se lleva a cabo pruebas de comparaciones múltiples Post hoc. A su vez, con la información disponibles de MITERD, tanto para aguas superficiales como las subterráneas para analizar la evolución del glifosato en las aguas se realiza un estudio de caso entre dos estaciones de muestreo, una en superficie de siembra directa y otra sin superficie de siembra directa.

Indicador	Resumen de la metodología										
Biodiversidad en el agua mide la variación del estado biológico de bueno/moderado (B/M) de la población de fitobentos y macroinvertebrados bentónicos.	A partir de la información sobre los indicadores biológicos de calidad de aguas superficiales (MITERD) y de la superficie de siembra directa en 2023 (RSU), se identifican las estaciones influenciadas por la siembra directa (grupo de tratamiento), de las que no (grupo de control). Se accede a la información de MITERD, sobre los indicadores biológicos de los fitobentos y de los macroinvertebrados bentónicos, en concreto sobre la variable cualitativa del estado bueno y moderado (B/M) establecida en el Informe de Calidad de las Aguas 2010-2023 del MITERD, para las anualidades 2020 a 2023. <table border="1" data-bbox="608 577 1273 763"> <thead> <tr> <th colspan="2">Categorías (Métricas IPS, DIATMIB)</th></tr> <tr> <th>Fitobentos</th><th>Macroinvertebrados bentónicos</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">≤ Valor frontera B/M</td></tr> <tr> <td colspan="2">> Valor frontera B/M</td></tr> <tr> <td colspan="2">Sin Valoración</td></tr> </tbody> </table> Esta información permite observar la variación en las categorías de bueno y moderado (B/M) en ambas poblaciones fitobentos y macroinvertebrados entre los dos periodos de estudio: antes de PEPAC (2020-21-22) y después del PEPAC (2023). Para el análisis se consulta la información de las estaciones de seguimiento en 2023 en las que se dispone de información de la categoría de indicador biológico correspondientes, pero también de la situación antes del PEPAC. Para ello, se revisan los datos correspondientes a la anualidad 2022, seguidos de los de 2021 y, finalmente, los de 2020, con el objetivo de disponer de información del mayor número de estaciones de muestreo en 2023 con información de la situación anterior al PEPAC (2022, 2021 o 2020). Finalmente se compara la variación en la categoría observada en el grupo de tratamiento con el de control, con los datos de las estaciones seleccionadas. Se calcula la variación en la categoría de calidad de las aguas (superficiales y subterráneas) de fitobentos y macroinvertebrados bentónicos en las estaciones antes (2020.2021 y 2022) y después (2023) de la implementación de la práctica de siembra directa (1º diferencia) y diferencia entre la variación de las estaciones de tratamiento y de control (2º diferencia). De manera complementaria, para el análisis estadístico de la biodiversidad en las aguas superficiales (fitobentos y macroinvertebrados bentónicos), se ha aplicado un modelo de regresión lineal mixto para evaluar las diferencias de la categoría de valoración de la biodiversidad (< Valor frontera B/M y > Valor frontera B/M) en las aguas superficiales de fitobentos y macroinvertebrados bentónicos entre tratamientos (puntos de detección en siembra directa y fuera de siembra directa) y años (2020, 2021, 2022 y 2023).	Categorías (Métricas IPS, DIATMIB)		Fitobentos	Macroinvertebrados bentónicos	≤ Valor frontera B/M		> Valor frontera B/M		Sin Valoración	
Categorías (Métricas IPS, DIATMIB)											
Fitobentos	Macroinvertebrados bentónicos										
≤ Valor frontera B/M											
> Valor frontera B/M											
Sin Valoración											

Indicador	Resumen de la metodología										
I.15 Calidad del agua, en concreto el subindicador 3. nitratos en las aguas subterráneas, mide por los valores actuales y las tendencias en las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas y los ríos.	A partir de la información sobre estado de los nitratos de aguas superficiales y subterráneas (MITERD) y de la superficie de siembra directa en 2023 (RSU), se identifican las estaciones influenciadas por la siembra directa (grupo de tratamiento), de las que no (grupo de control). A su vez, se accede a la información sobre las zonas vulnerables a contaminación por nitratos de España (MITERD), para poder identificar las estaciones que están dentro y fuera de estas zonas. Se accede a la información de MITERD sobre la variable cuantitativa de concentración de nitratos de las anualidades 2021 a 2024 tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas. Para las aguas superficiales y subterráneas, se calcula la concentración media en dos momentos de tiempo antes la práctica del PEPAC (2021-22) y después del PEPAC (2023-24) para las estaciones del grupo de control y de tratamiento que se localizan fuera y dentro de las zonas vulnerables a contaminación de nitratos. - Se calcula la diferencia de concentración media de las estaciones de 2021-22 y las de 2023-24 (concentración media de nitratos en 2023-24 menos las de 2021-22). Posteriormente, se calcula la diferencia de variación las estaciones del grupo de tratamiento y el de control (2º deferencia), dentro de las zonas de vulnerables y también fuera de las mismas). Por otro lado, para estas cuatro situaciones (estaciones dentro y fuera de zonas vulnerables a contaminación por nitratos que están o no en superficie de siembra directa), también se realiza una comparativa clasificando las estaciones según las categorías del vigente Real Decreto 47/2022, que establece los límites de aguas afectadas de 37,5 mg de NO₃/l en aguas subterráneas y 25 mg de NO₃/l en aguas superficiales. - Se observa la variación de categoría de calidad de las estaciones de 2021-22 a 2023-24. Posteriormente, se observa la diferencia de porcentaje de estaciones del grupo de tratamiento y el de control que mantienen, mejoran o empeoran es calidad, dentro de las zonas de vulnerables y también fuera de las mismas). <table border="1" data-bbox="529 1335 1350 1529"> <thead> <tr> <th colspan="2">Categorías Estaciones (concentración nitratos)</th></tr> <tr> <th>Aguas superficiales</th><th>Aguas subterráneas</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>> 25 mg NO₃ /l</td><td>> 37,5 mg NO₃ /l</td></tr> <tr> <td>> 5 - 25 mg NO₃ /l</td><td>> 10 - 37,5 mg NO₃ /l</td></tr> <tr> <td>≤ 5 mg NO₃ /l</td><td>≤ 10 mg NO₃ /l</td></tr> </tbody> </table>	Categorías Estaciones (concentración nitratos)		Aguas superficiales	Aguas subterráneas	> 25 mg NO ₃ /l	> 37,5 mg NO ₃ /l	> 5 - 25 mg NO ₃ /l	> 10 - 37,5 mg NO ₃ /l	≤ 5 mg NO ₃ /l	≤ 10 mg NO ₃ /l
Categorías Estaciones (concentración nitratos)											
Aguas superficiales	Aguas subterráneas										
> 25 mg NO ₃ /l	> 37,5 mg NO ₃ /l										
> 5 - 25 mg NO ₃ /l	> 10 - 37,5 mg NO ₃ /l										
≤ 5 mg NO ₃ /l	≤ 10 mg NO ₃ /l										

- Metodología contrafactual, que se ha basado en un método que modeliza y compara la situación antes sin siembra directa respecto a una posterior con siembra directa.

Indicador	Resumen de la metodología
I.13 Reducción de la erosión del suelo evalúa la pérdida de suelo mediante procesos de erosión hídrica:	A partir de la información sobre los puntos de muestreo del Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES)¹²³ del MITERD y de la superficie de siembra directa en 2023 (RSU), se identifica un conjunto de puntos del INES que se localizan en la superficie de siembra directa. La selección de los puntos de muestreo del INES (agrícolas) se basa en tres variables: la primera, la situación del punto, tiene que ser representativa de la distribución de la superficie de siembra directa y para ello se utiliza la información de provincia, segundo, la técnica de cultivo (secano o regadío), y, por último, la pendiente. En función de estas variables se realiza una selección aleatoria de los puntos de INES a estudiar. El riesgo de pérdida de suelo se calcula utilizando la ecuación de RUSLE. Partiendo del supuesto de que el único factor de esta ecuación ($A = R \times K \times LS \times C \times P$)¹²⁴ que cambia en el tiempo es el factor C, sobre el manejo y cubierta del suelo, se calcula esta ecuación para todos los puntos seleccionados. De esta forma, a través de la diferencia del valor de riesgo de erosión del dato obtenido por el INES en ese punto y del valor estimado con la técnica de siembra directa se valora el cambio de riesgo de erosión del suelo de los puntos seleccionados. Para calcular el factor C de cada punto se ha recurrido a la información del número de las labores realizadas en cada cultivo en siembra directa generada a través de la Red Cultivos (Red de Explotaciones Típicas), para el sector de los Cultivos Herbáceos Extensivos. En concreto para cada uno de los puntos de estudio se seleccionan los datos de la provincia que corresponde, así como del cultivo que indica el INES observado en el mismo. Por último, con los datos seleccionados en secano y en regadío se calcula la media aritmética para obtener la variación del I.13.1 <u>tasas estimadas de pérdida de suelo por erosión hídrica ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$)</u>. A su vez con la superficie de acogida a la práctica de siembra directa del PEPAC se estima la variación total de pérdida de suelo en tonelada por año.

¹²³ [Inventario Nacional de Erosión de Suelos](#).

¹²⁴ En el anexo de metodología se incluye un detalle mayor de esta ecuación y el significado de las letras, tal y como se han descrito en la metodología del INES.

- Metodologías basadas en los resultados de estudios de investigación, para establecer un coeficiente que permita estimar la variación producida por la aplicación de la siembra directa.

Indicador	Resumen de la metodología
I.10 – Contribución a la mitigación del cambio climático. Se compone de siete indicadores específicos que presentan las emisiones y absorciones antropogénicas procedentes de la agricultura y el uso de la tierra. • Emisiones y absorciones de GEI provenientes del UTCUTS (en inglés LULUCF)	La cuantificación de los logros de la práctica de siembra directa se estima a través de dos metodologías: • A partir de información del documento “Iniciativa 4 por mil: El carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España”¹²⁵, publicado por el MITERD en 2018. Este documento constituye una revisión de artículos científicos referidos al papel del Carbono Orgánico del Suelo (COS) en los ecosistemas agrarios y el potencial de secuestro de carbono en los ecosistemas agrícolas. En este documento se estima el coeficiente 0,85 de aumento de COS (t ha⁻¹ año⁻¹) en el suelo en siembra directa (I.11.1). Este dato se ha establecido en el informe 4 por mil, en base a los valores indicados en González-Sánchez et al. (2012), valor medio de los estudios realizados con datos de fijación hasta 10 años, en base a 29 referencia sobre estudios realizados en el territorio nacional. Con la relación de pesos moleculares del CO₂ y C (44/12), que resulta en 3,67, se estima el CO₂ correspondiente (I.10.3).
I.11 Mejora del secuestro de carbono Se compone de tres indicadores específicos para estimar el contenido total de carbono en los suelos de tierras agrícolas. • Estimación del contenido total de carbono orgánico en suelos de tierras agrícolas • Contenido medio de carbono orgánico en tierras agrícolas	Por otro lado, para estimar la variación del contenido medio de COS (I.11.2 (g de C/kg)), a partir de los datos de contenido total, se considera el valor medio de la densidad aparente en las tierras de cultivo de 1,10 g/cm³ recogida en el mapa del carbono orgánico del suelo en España del MITERD¹²⁶. • En segundo lugar, se ha empleado el informe <i>“Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027”</i>, ofrecido por el <i>European Evaluation Helpdesk for the CAP</i>, que desarrolla una metodología para la estimación del COS basada en la información disponible en los Planes Estratégicos de la PAC aprobados por la Comisión en diciembre de 2022. Se aplica el valor medio de coeficiente COS considerado para la práctica S2X Cobertura del suelo – General (-770,00 kg CO₂eq/ha/año), en relación con la agricultura convencional. Para convertir el CO₂eq/ha/año, la estimación de COS se realiza con la relación de pesos moleculares del CO₂ y C (44/12) para obtener t C/año. Para esta evaluación se utiliza el coeficiente medio establecido en el <i>Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027</i>. En esta fuente se cita que los coeficientes se han obtenido mediante metarrevisiones de artículos científicos estableciéndose coeficiente inferior, medio y superior para establecer un intervalo de confianza del 95%. Como se detalla en la metodología, el Helpdesk centra el enfoque en los posibles efectos positivos de las prácticas agrícolas apoyas mediante las intervenciones de la PEPAC y la buenas condiciones agrarias y medioambientales (BCAM). No constituye una evaluación del impacto adicional del PEPAC en las emisiones actual de la agricultura y el sector LULUCF en

¹²⁵ [Séptima Comunicación Nacional de España; NIPO: 013-18-014-7 \(en línea\).](#)

¹²⁶ <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/cos-descargas.html>.

Indicador	Resumen de la metodología
	comparación con una situación hipotética sin la PAC ni con la situación anterior a 2023. Tampoco se considera el incentivo de prácticas agrícolas con impactos ambientales negativos. Por último, para estimar el efecto neto del PEPAC, ya que en el momento de la implementación del PEPAC¹²⁷ el 27,5% de la superficie de cultivo de 2023, y el 26,6% de la superficie de 2024 ya realizaba siembra directa, se calculan los coeficientes, tanto los indicados en la “Iniciativa 4 por mil: El carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España”, como los recogidos en la “Estimación de los impactos a través del <i>Rough estimate of climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027</i>”, de manera diferenciada para la superficie en la que se aplicaba la siembra directa antes de la implementación del PEPAC y para aquella correspondiente a la nueva superficie impulsada por el PEPAC.
Indicador adicional “Reducción del consumo energético” mide la reducción de gasóleo que se produce al comparar la práctica de laborero convencional con la de siembra directa.	Este indicador se estima a partir del estudio Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación (2009)¹²⁸, que trata sobre los consumos energéticos y de gasóleo de las prácticas de agricultura de conservación elaborado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). El análisis realizado por IDAE, se centra en los consumos de gasóleo por hectárea de las operaciones y establece una comparación entre la practicas convencionales y la práctica de siembra directa. A partir de las diferencias observadas en cada cultivo entre ambas prácticas se puede estimar la reducción de gasóleo y transformar este dato a emisiones de CO₂eq con el factor de emisión del gasóleo B (empleado en la agricultura) de las instalaciones fijas publicado por el MITERD, 2,737 kg CO₂eq/litro. Por último, ya que en el momento de la implementación del PEPAC el 27,5% de la superficie de cultivo de 2023, y el 26,6% de la superficie de 2024 ya realizaba la siembra directa, se estiman las emisiones de la reducción de CO₂eq reales de la categoría 1A4C del inventario nacional de gases de efecto invernadero a partir de los cálculos de superficie de laboreo de manera diferenciada con la superficie en la que se aplicaba la siembra directa antes de la implementación del PEPAC y por otro lado, aquellas relativas a la nueva superficie impulsada por el PEPAC.

¹²⁷ Hay que tener en cuenta la limitación 3 del apartado 6, relativa a la superficie de siembra directa que existía de manera previa al PEPAC.

¹²⁸ [Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación](#).

- Técnicas participativas

Técnica	Agentes implicados
Sondeo de opinión	Se ha invitado a participar a 26.918 personas que han declarado la práctica de la siembra directa en la Solicitud única de 2023 o 2024. Han aportado sus respuestas 995 personas que aplican la siembra directa y 110 que, aun estando identificada esta práctica en su Solicitud única, finalmente no la han aplicado (3,7% de respuesta). El plazo de respuesta ha abarcado desde el 1 de octubre 2025 hasta el 16 de octubre de 2025. Sondeo de opinión sobre los procesos de gestión a las unidades gestoras de la ayuda.
Entrevistas	Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV). Técnicos del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras. Cooperativas Agroalimentarias.

6. Limitaciones o condicionantes del enfoque

Entre los condicionantes de la evaluación cabe destacar los aspectos relacionados con **la disponibilidad de datos**:

1. La naturaleza viva de la base de datos del RSU, que contiene la información de las declaraciones de la Solicitud única, con actualizaciones progresivas, promueve que existan ligeras discrepancias entre versiones, por lo que los resultados de la versión disponible para esta evaluación (de septiembre 2024) en ocasiones no coinciden con los publicados en el balance de la PAC disponible en la Web¹²⁹. La complejidad de la base de datos y la forma de su consulta, que se proporciona en xml limita el trabajo con la misma y necesita un tiempo de procesado extenso.
2. En la declaración de la intervención en la solicitud única pueden darse dos situaciones:
 - En la primera situación, la persona titular solicita la ayuda correspondiente a la práctica de siembra directa, lo que implica que la explotación se acoge a dicha intervención (superficie de acogida) y percibe la ayuda económica. Además, se especifican los recintos concretos en los que se aplica la práctica (no laboreo, rotación de cultivos y sembrar directamente sobre el rastrojo, manteniendo el mismo), determinando así la superficie efectiva. La superficie de acogida, con la información disponible para esta evaluación se ha estimado en un 20% superior a la superficie efectiva para 2023, pero no se dispone de información suficiente para 2024.
 - En la segunda situación, existen explotaciones que aplican la práctica de siembra directa, y así lo indican en su solicitud, pero no solicitan la ayuda correspondiente. Esta superficie se ha estimado en alrededor de un 19% adicional a la superficie efectiva.

Esta complejidad en la declaración, unida a la dificultad de las consultas sobre la base de datos RSU y sus sucesivas actualizaciones, supone una limitación adicional, junto con las mencionadas anteriormente, **para determinar con precisión la superficie exacta en la que se aplica la práctica y por tanto conocer con exactitud aspectos como la superficie acogida con y sin ayuda, así como la plurianualidad y la rotación de cultivos.**

3. Existe una dificultad en la cuantificación de la práctica de la siembra directa en años anteriores a 2023, que dificulta el seguimiento de la evolución de la superficie objeto de la misma, dado que sólo se dispone información en ESYRCE (985.111 ha en 2022), que pierde su trazabilidad, al ser el último año en el que aporta información y en el RSU (583.111 ha año 2022), en la que se cuenta con información de la práctica, aportada de manera voluntaria en la declaración de superficie de la Solicitud única ya que en este año no se apoyaba con el ecorrégimen y en la que no se consideraba el

¹²⁹ [balance-pac-2023.pdf](#) y [balance-pac-2024.pdf](#)

barbecho, además de no existir la obligación de relacionar determinados cultivos. Con este contexto, la información proporcionada en RSU para 2022 no es exactamente comparable con la del ecorrégimen ya que en esta, declarada en el RSU 2023 y 2024, también computan los barbechos, que suponen alrededor de un 10% en 2023 y un 12,6% en 2024, de la superficie acogida además de la superficie de otros cultivos que podían realizar siembra directa en 2022 pero no tenían la obligación de declararla. Estas limitaciones dificultan la cuantificación del efecto neto atribuible al PEPAC, que al objeto de esta evaluación se ha estimado con la superficie de 2022 del RSU por mantener la misma fuente que en 2023 y 2024 y podría estar sobreestimado en caso de que la superficie existente en 2022 fuera superior. No obstante, los resultados cuantificados se deben a la siembra directa en general, aunque no se produzcan por efecto del PEPAC.

4. La trazabilidad en la Solicitud única (RSU) de las superficies entre 2022 y la aplicación del PEPAC tiene limitaciones ya que en 2022 la práctica no se acogía a la ayuda del ecorrégimen por lo que su declaración era voluntaria, además de no incluir los barbechos, que ya se han incluido en 2023 y 2024 en la proporción indicada en el apartado anterior. No obstante, ante la ausencia de otra fuente comparable, se ha optado por esta para estimar la contribución de la práctica a los objetivos cuantificados.
5. La Base de Datos de Explotaciones (BDEX) ha podido explotarse hasta el año 2022, último año en el que se ha actualizado y tras ella se ha trabajado con el Sistema de Información de Explotaciones (SIEX), actualizado en el año 2025, por lo que las dos anualidades de estudio, 2023 y 2024, no están sólidamente contempladas en estos registros de explotaciones. Por otro lado, SIEX ha dejado de contemplar la identificación de la dimensión económica de las explotaciones (UDE) por lo que este indicador ha dejado de tener trazabilidad y aplicabilidad en los análisis que se lleven a cabo, hasta su nueva incorporación a SIEX.
6. La naturaleza de las bases de datos empleadas, con objetivos distintos, hace que no todas las explotaciones se encuentren en todas las fuentes, por lo que en los cruces entre ellas se pierde información de un gran número de ellas como, por ejemplo, es el caso del Registro Electrónico de Transacciones y operaciones de fitosanitarios (RETO) y SIEX o el RSU.
7. Los retrasos en la aplicación del cuaderno digital de explotación han impedido el acceso a información detallada, con la que se pensaba que se iba a contar cuando se diseñó inicialmente la evaluación, sobre el plan de abonado y otros aspectos que se recogen en el mismo como los tratamientos fitosanitarios.
8. La dispersión de los datos entre distintas unidades de la administración dificulta el acceso a los mismos y supone un esfuerzo inicial importante para la Autoridad de gestión y retrasos para el equipo evaluador, que restan tiempo de análisis.
9. El desarrollo de estudios recientes, que no han dado lugar a publicaciones en revistas científicas, hace que sea necesario esperar a estos resultados para tener evidencias adicionales del impacto de esta práctica, como por ejemplo es el caso del carbono

retenido en el suelo, la biodiversidad, etc. No obstante, los equipos que los han desarrollado han adelantado alguna información que se ha incluido en esta evaluación, a la espera de los resultados oficialmente publicados por sus autores.

La aplicación de algunas metodologías se ha adaptado al contexto de esta evaluación (en función de los datos disponibles o las limitaciones existentes), por lo que en algunos casos se ha optado por la opción más conservadora, como por ejemplo en la metodología propuesta por el Helpdesk, en la que se han considerado los coeficientes para una de las prácticas (siembra directa) ignorando el compromiso de rotación, a efectos de no duplicar o sobredimensionar el efecto resultante.

Con la voluntad de cumplir los plazos de ejecución previstos para esta evaluación, **el alcance de los estudios sobre herbicidas, se ha focalizado sobre el glifosato** como sustancia principalmente apuntada por las personas con experiencia en la materia. Por ello, otras sustancias que también se emplean con carácter minoritario, como se ha ido exponiendo en la literatura, y que al mezclarlas con el glifosato permiten reducir las dosis empleadas de este, como son aclonifen, tribenuron, biathlon (florasulam y tritosulfuron), 2,4-D, MCPA, etc., no han podido ser analizadas específicamente en esta evaluación.

Otra cuestión a tener en cuenta es el **poco tiempo transcurrido para la aplicación de la práctica de siembra directa con el PEPAC**, ya que los dos años de aplicación que se han desarrollado hasta el momento de esta evaluación, resultan insuficientes para poder atribuir determinados impactos a la práctica, al necesitar un periodo más largo de estudio. Es el caso de la erosión, para la que la propia Comisión aclara que, para evaluar los cambios en la erosión del suelo a lo largo del tiempo, debe tenerse en cuenta un análisis durante un periodo de tiempo de, al menos, 15-20 años. El intervalo de tiempo de 6 años del cual hay datos disponibles (2010-2016) es limitado y las diferencias podrían deberse principalmente a los cambios en la cobertura terrestre (como indica Corine Land Cover¹³⁰). En el caso del impacto sobre la calidad del agua, puede considerarse la misma cuestión, teniendo en cuenta, además, la reciente incorporación de nuevos puntos de muestreo de calidad de aguas. **En consecuencia, los resultados y conclusiones obtenidos deben ser interpretados con cautela.**

7. Análisis de la ejecución

En este apartado se incluye un resumen del análisis detallado incluido en el anexo II a este documento. La siembra directa comenzó a aplicarse antes de la entrada en vigor de la PAC 2023-2027, a veces incentivada con ayudas de desarrollo rural y en otras ocasiones a iniciativa propia de las personas beneficiarias.

El análisis de las declaraciones de las explotaciones incluidas en la Solicitud única de 2022, 2023 y 2024 muestra **un descenso del 11% en el número de explotaciones que realizan**

¹³⁰ [CORINE Land Cover — Copernicus Land Monitoring Service](#).

siembra directa con la entrada en vigor del PEPAC, producido por el balance de las personas que venían aplicando la práctica en 2022 y han dejado de hacerlo, y aquellas otras que se han incorporado, motivadas por la nueva ayuda asociada a la práctica. En cifras absolutas se pasa de **22.656 explotaciones en 2022**, 20.533 explotaciones en 2023 y **20.199 en 2024**, registrándose un descenso del 1,63% de la acogida de la ayuda durante el periodo de aplicación del PEPAC. Esto supone un nivel de acogida en el 2,2% de las explotaciones existentes en el Censo Agrario 2020.

En cuanto a la superficie, ésta registra una evolución en la práctica de la siembra directa opuesta a la del número de explotaciones, incrementándose de **583.311 ha en 2022 a 1.392.501 ha en 2023 y 1.402.760 ha en 2024**, con un notable aumento impulsado por la ayuda a la práctica en el nuevo periodo de programación. No obstante, aunque el incremento de superficie en siembra directa ha sido muy relevante, hay 184.053,50 ha en las que se aplicaba la práctica en 2022 pero que han dejado de declararse bajo la ayuda de siembra directa con la entrada del PEPAC. Esto supone un alcance de aproximadamente el 6% de la SAU registrada en la Estructura de Explotaciones Agrícolas (EEA 2023).

El incremento de superficie bajo la práctica de la siembra directa no se ha producido de la misma forma en todas las regiones, como se muestra en la siguiente tabla (Tabla 10).

Tabla 7. Evolución de la superficie en la que se declara siembra directa antes (2022) y después del PEPAC (2023 y 2024). Hectáreas.

CCAA	2022*	2023**	2024***	% variación
01. Andalucía	51.655	16.514	16.636	-68%
02. Aragón	224.913	271.001	313.135	39%
03. Principado de Asturias	-	20	20	-
04. Illes Balears	2.244	715	528	-76%
06. Cantabria	-	448	425	-
07. Castilla-La Mancha	85.030	127.717	148.391	75%
08. Castilla y León	131.052	776.258	690.647	427%
09. Catalunya	33.056	120.465	148.306	349%
10. Extremadura	716	8.133	8.164	1040%
11. Galicia	3.090	230	156	-95%
12. Comunidad de Madrid	-	8.879	8.328	-
13. Región de Murcia	9.874	1.122	764	-92%
14. Comunidad Foral de Navarra	28.354	50.521	57.414	102%
15. Euskadi	344	2.947	2.234	549%
16. La Rioja	1.976	5.097	5.531	180%
17. Comunitat Valenciana	11.007	2.435	2.081	-81%
Total	583.311	1.392.501	1.402.760	140%

Fuente: elaboración propia con información de la BBDD del RSU 2022, 2023 y 2024. Nota: *en 2022, al no existir los Ecorregímenes, únicamente existía la obligación de declarar la superficie en siembra directa en determinados cultivos, así, por ejemplo, no existía obligación en los barbechos sin labrar que se han podido acoger a esta ayuda en 2023 y 2024. **La superficie de barbecho incluida en el total supone aproximadamente el 10% de la superficie

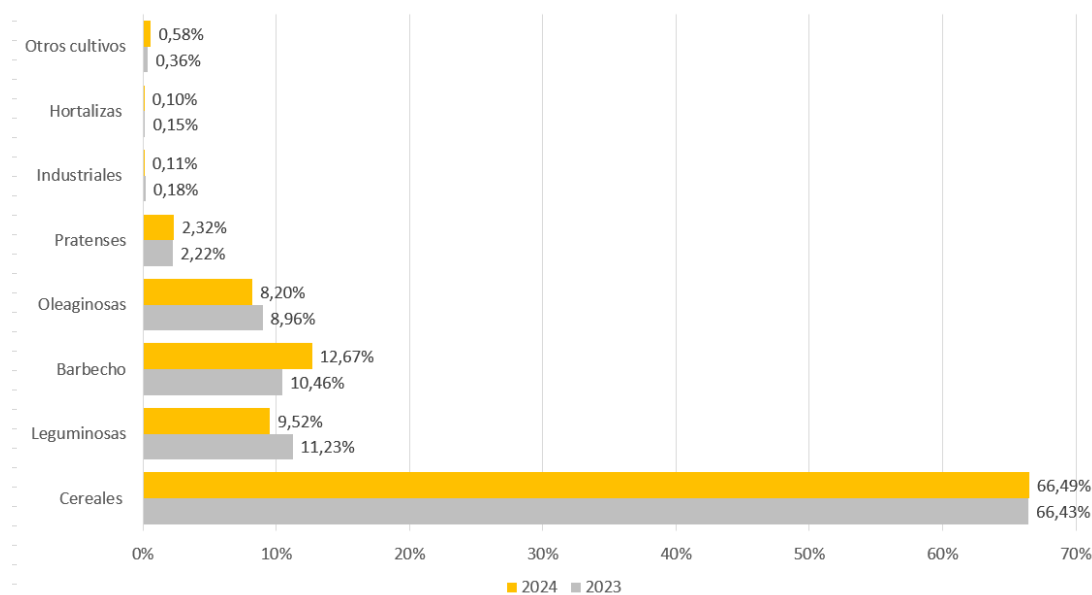
de 2023. A esta superficie acogida al ecorrégimen en 2023 habría que sumarle alrededor de un 19% adicional de superficie en la que se aplica la siembra directa pero no se acoge a ayudas. La superficie de 2023 es aquella donde efectivamente se aplica la práctica. ***La superficie de barbecho incluida en el total supone alrededor del 12,6% en 2024. La superficie 2024 es la superficie de acogida, es decir, aquella por la que se percibe la ayuda al estar la explotación acogida a la ayuda.

Las regiones en las que mayor grado de acogida ha tenido la práctica, fomentada a través de los apoyos a ecorregímenes con el PEPAC han sido Castilla y León, Aragón, Castilla-La Mancha, Catalunya y Navarra. En las regiones en las que ha existido un nivel importante de abandono con la entrada del PEPAC, entendido este como la ausencia de declaración de la práctica de siembra directa, han sido Andalucía, Illes Balears, Galicia, Murcia y la C. Valenciana.

La mayor cantidad de explotaciones que han considerado la inclusión de la práctica tienen una dimensión económica de entre 25 a 500 UDE, aunque se aplica en todos los rangos de dimensión económica, con distinta proporción.

La siembra directa se aplica predominantemente en seco, y fundamentalmente en cereales, como se obtiene del detalle de la acogida a las intervenciones de la práctica de siembra directa y en el análisis de los cultivos declarados.

Gráfica 26. Porcentaje de la Superficie (ha) de cultivos en Siembra directa en los años 2023 y 2024.



Fuente: elaboración propia con información de la BBDD RSU 2023 y RSU 2024.

Al analizar los detalles de las declaraciones de la práctica, tanto a nivel de explotación como en el nivel de recintos, en 2023, la superficie de acogida, es decir, aquella por la que se percibe la ayuda al estar la explotación acogida a la ayuda, es alrededor de un 20% superior a la superficie efectiva o aquella donde se ha indicado en la declaración que se aplica realmente la práctica de siembra directa. Además, existe alrededor de un 19% de superficie (respecto a la efectiva) en la que se aplica la siembra directa pero no se acoge a ayudas. Esta información no se dispone para el 2024 ya que, aunque la superficie efectiva también se estima en un

18% inferior a la de acogida, el resto de superficie en la que se aplica la siembra directa no se puede calcular al estar el campo vacío para una comunidad autónoma en la versión de la base de datos del RSU que ha servido de base para la evaluación.

Rotación

El análisis de la rotación entre 2023 y 2024, se expone en la Tabla 8 que presenta la frecuencia de recintos¹³¹ acogidos a siembra directa por año y comunidad autónoma. En las columnas “sólo 2023” y “sólo 2024” se muestran los casos que solicitaron la siembra directa únicamente ese año, pudiendo entender la columna de 2023 como bajas y la de 2024 como altas. La columna 2023 y 2024 se corresponde con aquellos recintos que han mantenido la continuidad entre ambos años. De esta forma, para el total de España hubo 302.829 recintos en los que se declaró la práctica de la siembra directa en 2023 y no continuaron en 2024, 333.243 recintos que no practicaron la siembra directa en 2023 pero sí en 2024 y 610.913 recintos que se mantuvieron ambos años.

Tabla 8. Resultados del análisis de la caracterización de las superficies en siembra directa, en cuanto a rotación, teniendo en cuenta la titularidad de cada recinto en las campañas 2023 y 2024. N° de recintos (vinculados a un titular) y porcentaje de rotación de cultivo en los recintos coincidentes en 2023 y 2024.

CCAA	Recintos declarados sólo en 2023	Recintos declarados sólo en 2024	Recintos declarados en 2023 y 2024	% Rotación de los recintos 2023-2024*
01. Andalucía	1.207	1.684	1.388	88,4%
02. Aragón	37.530	61.153	128.717	85,6%
03. Principado de Asturias	54	27	0	
04. Illes Balears	204	162	139	82,7%
06. Cantabria	315	228	795	90,3%
07. Castilla-La Mancha	14.769	31.166	77.466	88,7%
08. Castilla y León	209.461	151.628	256.118	74,5%
09. Catalunya	25.327	66.249	112.577	76,7%
10. Extremadura	413	563	488	93,0%
11. Galicia	128	127	146	19,9%
12. Comunidad de Madrid	877	1.283	3.962	88,1%
13. Región de Murcia	387	168	199	74,4%
14. Comunidad Foral de Navarra	6.943	11.662	23.388	86,4%
15. Euskadi	1.216	2.283	219	80,8%
16. La Rioja	3.534	4.637	4.730	86,0%
17. Comunitat Valenciana	464	223	581	81,8%
Total Nacional	302.829	333.243	610.913	79,8%

Fuente: elaboración propia a partir de la información de la RSU 2023-2024. Nota: *Porcentaje de los recintos coincidentes en 2023-2024 que rotan de cultivo.

¹³¹ En el contexto de esta evaluación, el término recinto se refiere a la vinculación de las líneas de declaración de los recintos del RSU con el identificador de solicitante asociado a cada una de ellas, es decir, hacen referencia a esta combinación de campos (recinto asociado a un solicitante) aunque en los títulos y el texto se condense como “recinto”.

Al analizar los códigos de cultivo declarados por aquellos que mantuvieron la continuidad entre ambos años, se obtiene que, del total de España, **en un 79,8% de los 610.913 recintos se produjo la rotación de cultivo tal y como se declaró en la Solicitud única.**

Si esta información se analiza en términos de superficie, la vinculada a los recintos anteriores, se obtiene que **el 66,1% de la superficie nacional en la que se practicó siembra directa durante 2023 tuvo continuidad en 2024.** En este aspecto, es necesario tener en cuenta que para cada recinto tenemos dos valores de superficie (2023 y 2024) que no siempre son coincidentes por lo que se obtienen resultados distintos en función de las superficies declaradas en 2023 o en 2024. Teniendo en cuenta lo anterior, en la siguiente tabla, la superficie de 2023 que continua en 2024, se ha incluido en la columna 2023. En la columna 2024 se incluye la superficie declarada en 2024 que ya aplicaba siembra directa 2023.

Tabla 9. Superficie (ha) acogida a siembra directa, porcentaje de la misma que mantiene la continuidad y porcentaje de la superficie que se mantiene con rotación de cultivos. 2023-2024.

CCAA	Total (ha)	2023		2024	
		% ha continúa*	% ha rota**	% ha continúa*	% ha rota**
01. Andalucía	15.334	49,9%	94,2%	45,1%	95,2%
02. Aragón	271.119	80,0%	87,0%	69,5%	86,9%
03. Principado de Asturias	20	0,0%		0,0%	
04. Illes Balears	666	42,5%	83,2%	59,3%	82,9%
06. Cantabria	442	70,6%	67,8%	73,0%	68,0%
07. Castilla-La Mancha	762.255	78,5%	91,1%	67,3%	91,1%
08. Castilla y León	126.727	56,4%	74,5%	62,9%	74,8%
09. Catalunya	123.347	83,5%	77,9%	67,0%	77,8%
10. Extremadura	7.953	55,6%	90,9%	55,2%	90,1%
11. Galicia	230	37,2%	14,3%	54,4%	14,3%
12. Comunidad de Madrid	8.711	70,5%	93,1%	72,0%	93,5%
13. Región de Murcia	1.061	44,0%	60,1%	53,1%	60,1%
14. Comunidad Foral de Navarra	50.902	76,9%	89,3%	66,9%	89,3%
15. Euskadi	2.833	13,8%	81,1%	9,5%	84,3%
16. La Rioja	5.128	57,6%	82,0%	52,8%	82,9%
17. Comunitat Valenciana	2.417	63,9%	80,5%	78,6%	82,6%
Total Nacional	1.379.145	66,1%	80,6%	65,1%	80,8%

Fuente: elaboración propia a partir de la información de la RSU 2023-2024. Nota: *Porcentaje de superficie en siembra directa en los recintos coincidentes en 2023-2024. ** Porcentaje de superficie en siembra directa en los recintos coincidentes en 2023-2024 que rotan de cultivo.

De igual manera para el año 2024, el peso de la superficie que también se declaró bajo la práctica en 2023 supone el 65,1% del total, identificada a través de su localización o recintos.

Plurianualidad

En cuanto a la plurianualidad, en 2023 **el 82,6% de los recintos marcaron su intención de atender este compromiso, con una superficie de 1.159.218,1 ha.** Las frecuencias y los porcentajes de continuidad para aquellos que declararon “Sí” y “No” se muestran en la Tabla

10 (los recintos que faltan son valores nulos en este campo). **El 73,5% de los recintos que declararon “Sí” a la plurianualidad en 2023 continuaron en 2024.**

Tabla 10. Continuidad de los recintos de 2023 en función de su declaración de plurianualidad. Frecuencias y porcentajes.

Continuidad / Plurianualidad	Sí	% Sí	No	% No
Declarados sólo en 2023	200.879	26,5%	101.691	64,3%
Declarados en 2023 y 2024	555.745	73,5%	56.405	35,7%

Fuente: elaboración propia a partir de la información de la RSU 2023-2024.

La Tabla 11 hace referencia al mismo concepto de continuidad, pero considerando la suma de hectáreas declaradas en 2023.

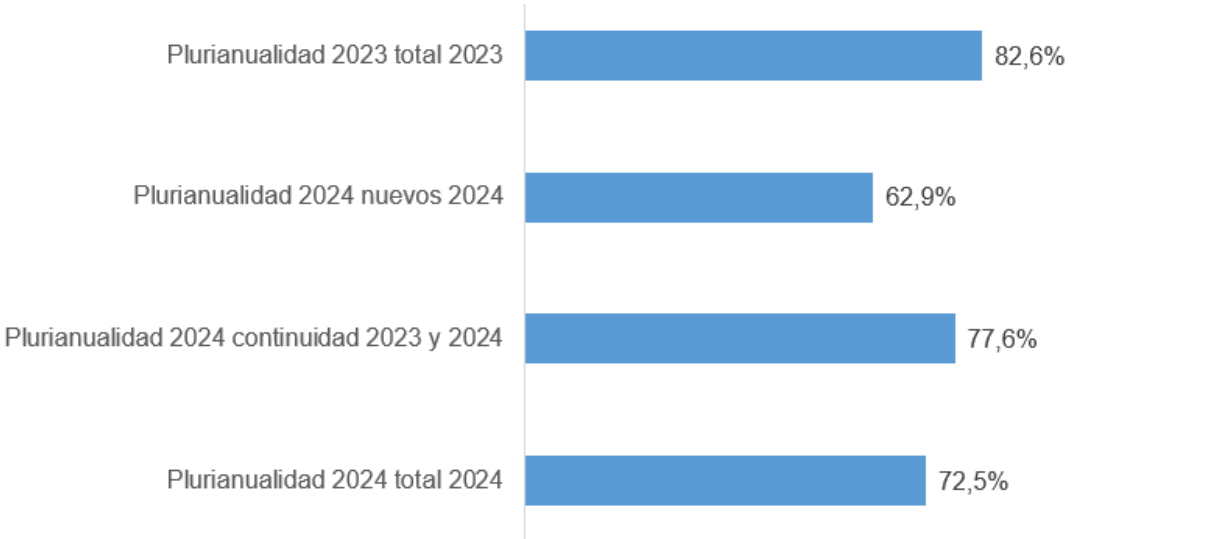
Tabla 11. Continuidad de la superficie 2023 en función de su declaración de plurianualidad en los recintos. Hectáreas declaradas en 2023.

Continuidad / Plurianualidad	Sí	% Sí	No	% No
Declarados sólo en 2023	320.026,3	27,6%	149.581,7	64,9%
Declarados en 2023 y 2024	839.191,8	72,4%	80.767,4	35,1%

Fuente: elaboración propia a partir de la información de la RSU 2023-2024.

En la siguiente gráfica se muestra que, además del porcentaje de recintos de 2024 que marcan plurianualidad se reduce respecto a la campaña anterior, de un 82,6% a un 72,5%, el 62,9% de los recintos que se incorporan a la práctica en 2024 marcan plurianualidad y el 77,6% de los recintos que se han declarado bajo la práctica simultáneamente en 2023 y 2024 han marcado plurianualidad en 2024.

Gráfica 27. Proporción de recintos que declaran SI en la plurianualidad en las campañas 2023 y 2024.



Fuente: elaboración propia a partir de la información de la RSU 2023-2024. Plurianualidad 2023 total 2023: Plurianualidad declarada en 2023 para el total de los recintos, los que aparecen sólo en 2023 y los que continúan en 2024. Plurianualidad 2024 nuevos 2024: Plurianualidad declarada en 2024 para los recintos que aparecen sólo en 2024. Plurianualidad 2024 continuidad 2023 y 2024: Plurianualidad declarada en 2024 para los recintos que aparecen en 2023 y en 2024. Plurianualidad 2024 total 2024: Plurianualidad declarada en 2024 para el total de los recintos, los que aparecen sólo en 2024 y los que continúan desde 2023.

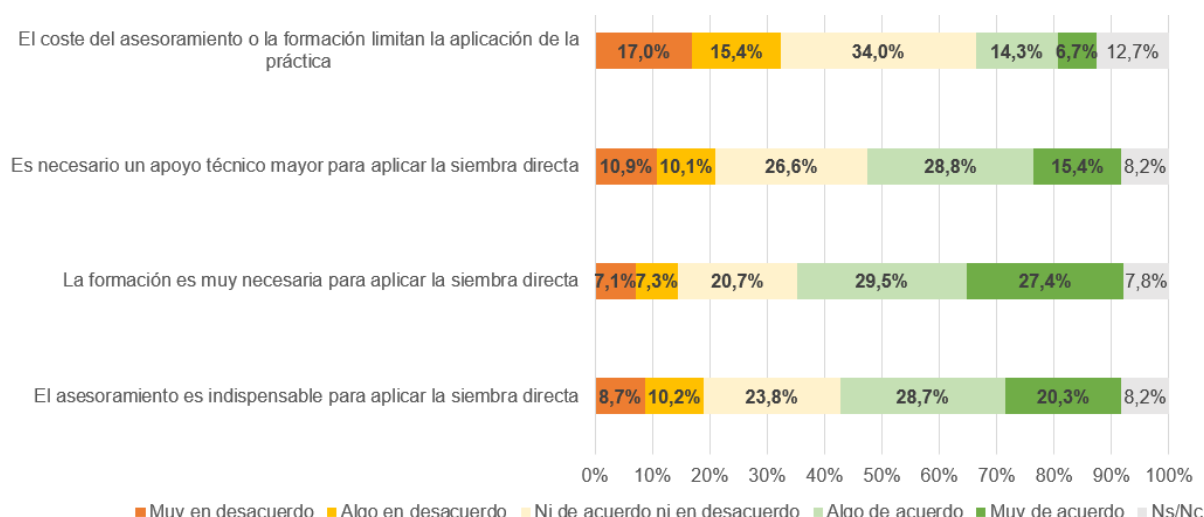
Formación

Según la información recogida en la Solicitud única, entre los titulares predomina la formación adquirida sólo de la experiencia práctica, seguido de aquellas personas que han recibido formación agraria a través de cursos. La formación profesional agraria y los estudios universitarios tienen, en cambio, una presencia minoritaria.

Según la información recogida en el sondeo de opinión¹³², aproximadamente la mitad de las personas piensan que el asesoramiento (49%) o la formación (57%) son necesarias o indispensables para aplicar la siembra directa, frente a un 18,9% que opina que no está de acuerdo con este aspecto en relación con el asesoramiento y el 14,5% en el caso de la formación, a pesar del bajo nivel formativo de un porcentaje elevado de personas.

Un 44% indica que es necesario un mayor apoyo técnico para aplicar la práctica y un 21% señala que el coste de este apoyo, bien a través del asesoramiento o de la formación suponen una limitación.

Gráfica 28. Proporción opiniones sobre el asesoramiento y la formación.



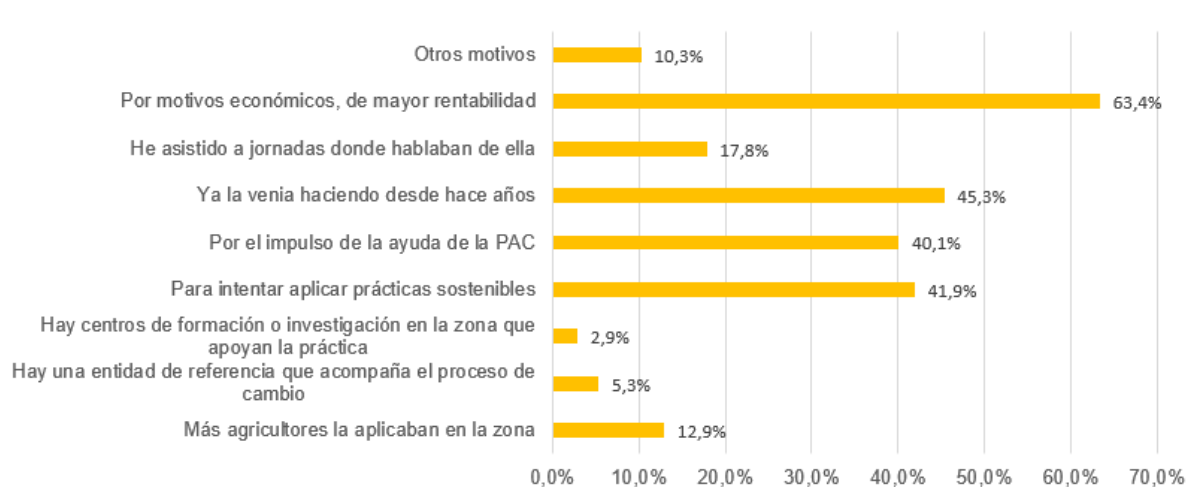
Fuente: sondeo de opinión realizado a las personas que han declarado la siembra directa en 2023 y 2024.

Finalmente, según se señala por aquellas personas que han respondido al sondeo de opinión, la formación y la divulgación son importantes para motivar la aplicación de la práctica, como se observa en la siguiente gráfica, más allá de que la principal motivación reside en los motivos económicos, como se señala en el 63,4% de los casos. No obstante, en el 45,3% de las respuestas se indica que la motivación tiene su origen en la experiencia de aplicar la práctica antes de la aplicación del PEPAC, ligeramente por encima de la motivación que ha supuesto la ayuda del PEPAC para el 40,1% de las personas. Las jornadas han tenido un efecto positivo para considerar la práctica en casi el 18% de las personas y la observación de otras

¹³² Para más detalle del contenido completo consultar el anexo IV

explotaciones han supuesto un efecto motivador en casi el 13%. Las entidades de referencia han sido importantes para aplicar la práctica en el 5.3% de las respuestas.

Gráfica 29. Motivación para aplicar la práctica basada en la formación y la divulgación.



Fuente: sondeo de opinión realizado a las personas que han declarado la siembra directa en 2023 y 2024.

Por otro lado, las comunidades autónomas están impulsando la formación desde la intervención de desarrollo rural (7201) como es el caso de Aragón, que ha impulsado una jornada corta, en la que han participado 47 personas, sobre siembra directa: agricultura de conservación en cultivos extensivos.

De manera complementaria, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación ha impulsado un convenio¹³³ con la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV), para la promoción de la agricultura de conservación en el marco del Plan Estratégico de la PAC 2023-2027, cuyo objetivo es fomentar la adopción de prácticas de Agricultura de Conservación, específicamente siembra directa y cubiertas vegetales, a través de acciones de formación, demostración y comunicación, desde el año 2023, que está previsto renovar por otros dos años, hasta el 2027.

El mismo parte de la base de que la correcta implementación de estas prácticas definidas en el PEPAC necesita formación especializada para su correcta implementación, así como acompañamiento técnico y seguridad en el proceso de transición. La capacitación se convierte en un elemento clave para que las personas que ejercen la agricultura adopten estas prácticas con garantías.

En el marco del Convenio se han acometido las siguientes acciones:

Formación online

- 4 Webinars temáticos (2 de siembra directa y 2 de cubiertas).
- 2 cursos online de 25 h cada uno (siembra directa y cubiertas).

¹³³ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-19315

- Pensado para quienes no pueden asistir presencialmente.

Formación presencial

- 10 cursos formativos en distintas CCAA.
- 2 días por curso ~30 alumnos.
- Teoría + visitas a campo.
- 5 cursos de siembra directa 5 de cubiertas vegetales.

Jornadas demostrativas

- 6 jornadas de campo en total.
- 3 sobre siembra directa 3 sobre cubiertas.
- Enfoque 100% práctico para ver las técnicas en acción.

Comunicación y divulgación

- Portal web con materiales y recursos técnicos (repositorio).
- Actualización continua de contenidos.
- Material divulgativo para cursos y jornadas de campo.

La participación acumulada ha implicado a 2.038 asistentes, de las que el 25% son mujeres, y ha tenido una alta demanda en modalidades prácticas y online. Se han llevado a cabo 16 eventos presenciales en 9 comunidades autónomas, asegurando diversidad de condiciones agronómicas y acceso equitativo a la formación.

Se ha cuantificado un impacto en comunicación de 734.660 personas alcanzadas a través de los distintos canales de comunicación utilizados.

El curso sobre siembra directa (5 unidades) con 2 ediciones, ha tenido una valoración muy alta, con el 98% satisfacción en contenido y claridad. Las fortalezas del mismo han sido la estructura, el enfoque agronómico y la claridad. Las mejoras detectadas apuntan a los test de autoevaluación, material descargable, optimización de la plataforma.

De manera complementaria se han realizado 3 jornadas sobre siembra directa,

Figura 17. Resumen de las jornadas sobre siembra directa realizadas por la AEACSV en el marco del convenio con el MAPA.

Jornadas de Siembra Directa		
Provincia	Fecha	Cultivos
Albacete	Septiembre 2024	Rotaciones cereal-leguminosa en secano.
Huesca	Septiembre 2024	Rotaciones cereal-leguminosa en secano.
Valladolid	Septiembre 2025	Rotaciones cereal-leguminosa-oleaginosa en secano.

Fuente: resumen ejecutivo sobre el convenio.

De manera complementaria, la Red PAC ha organizado un ciclo de jornadas gratuitas sobre ecorregímenes a nivel nacional¹³⁴, de las que específicamente se han dirigido a la siembra directa 4 de ellas, celebradas en Navarra, Cuenca, Aragón y Cantabria.

Figura 18. Jornadas sobre ecorregímenes a nivel nacional llevadas a cabo por la Red PAC.

Lugar	Fecha	Ecorrégimen	Superficie	Prácticas
Navarra (Olite)	7 de mayo	Rotaciones y siembra directa	Tierras de cultivo de regadío	Rotación de cultivos con especies mejorantes
Extremadura (Trujillo)	20 de mayo	Pastoreo extensivo, siega y biodiversidad	Pastos mediterráneos	Pastoreo extensivo
Islas Baleares (Menorca)	22 de mayo	Pastoreo extensivo, siega y biodiversidad	Pastos mediterráneos	Pastoreo extensivo
Castilla La Mancha (Cuenca)	28 de mayo	Rotaciones y siembra directa	Tierras de cultivo de secano	Rotación de cultivos con especies mejorantes
Galicia (Lugo)	5 de junio	Pastoreo extensivo, siega y biodiversidad	Pastos húmedos	Pastoreo extensivo
Aragón (Teruel)	3 de junio	Rotaciones y siembra directa	Tierras de cultivo de secano	Rotación de cultivos con especies mejorantes
Castilla y León (Burgos)	2 de octubre	Pastoreo extensivo, siega y biodiversidad	Pastos húmedos	Islas de biodiversidad y siega sostenible
Cantabria (Muriedas)	8 de octubre	Rotaciones y siembra directa	Pastos húmedos	Islas de biodiversidad y siega sostenible
Andalucía (Carmona)	29 de octubre	Espacios de biodiversidad	Tierras de cultivo y cultivos permanentes	Opciones generales y específicas de cultivos bajo agua
Comunidad Valenciana (Sueca)	30 de octubre	Espacios de biodiversidad	Tierras de cultivo y cultivos permanentes	Opciones generales y específicas de cultivos bajo agua

Fuente: página web de la Red PAC.

8. Análisis de la teoría del cambio

Para llevar a cabo el análisis de la teoría del cambio se han tenido en cuenta tanto las especificaciones para las tres intervenciones en las que se incluye la siembra directa en el apartado 5.1 del PEPAC¹³⁵ como la descripción del impulso a los logros planificados en los objetivos específicos, del apartado 2, en el marco de la definición de la estrategia de intervención.

¹³⁴ <https://redpac.gob.es/noticia/la-red-pac-organiza-un-ciclo-jornadas-sobre-ecorregimenes-nivel-nacional>

¹³⁵ [El Plan Estratégico de la PAC de España.](#)

Por un lado, en el diseño de las intervenciones, el capítulo 5.1, se describen las particularidades de los ecorregímenes se incluye la siembra directa en 3 intervenciones:

- 1PD31001803V1 - Eco-régimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano.
- 1PD31001804V1 - Eco régimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo".
- 1PD31001805V1 - Eco régimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de regadío"

Se contempla en el diseño de las mismas que todas contribuyan al Objetivo Específico 4 (OE4) y al Objetivo Específico 5 (OE5)¹³⁶. En el caso de las dos primeras intervenciones, en las que no se contempla el regadío, las necesidades que según su diseño no se atenderán también se fundamentan en la minimización de emisiones GEI, el aumento de la captura de carbono y la calidad de los suelos. Para la siembra directa en regadío también se prevé que dé respuesta a la necesidad de reducción de la contaminación agraria del agua.

¹³⁶ OE4- Contribuir a la adaptación al cambio climático y a su mitigación, también mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorando la captura de carbono, así como promover la energía sostenible.

OE5- Promover el desarrollo sostenible y la gestión eficiente de recursos naturales como el agua, el suelo y el aire, en particular mediante la reducción de la dependencia química, y a los ámbitos de actuación sobre mitigación de emisiones y aumento de los depósitos de carbono y sobre la prevención de la degradación del suelo, la recuperación del suelo, mejora de la fertilidad y gestión de nutrientes.

Tabla 12. Esquema de la lógica de intervención planificada en el PEPAC para la siembra directa.

OBJETIVO GENERAL	Apoyar y reforzar la protección del medio ambiente, incluida la biodiversidad, y la acción por el clima y contribuir a alcanzar los objetivos medioambientales y climáticos de la Unión, entre ellos los compromisos contraídos en virtud del Acuerdo de París.		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	OE4- Contribuir a la adaptación al cambio climático y a su mitigación, también mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorando la captura de carbono		OE5- Promover el desarrollo sostenible y la gestión eficiente de recursos naturales como el agua, el suelo y el aire, en particular mediante la reducción de la dependencia química.
ÁMBITOS DE ACTUACIÓN DE LA PAC	AOA-A mitigación del cambio climático, en particular la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de las prácticas agrícolas, así como el mantenimiento de los depósitos de carbono existentes y el aumento de la captura de carbono		AOA-D prevención de la degradación del suelo, recuperación del suelo, mejora de la fertilidad del suelo y gestión de los nutrientes [y la biota del suelo]
INTERVENCIONES	1PD31001803V1 - Eco-régimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano".	1PD31001804V1 - Eco-régimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo".	1PD31001805V1 - Eco-régimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de regadío".
Necesidades	04.01-Minimizar emisiones GEI. 04.02- Aumentar la captura de carbono. 05.02- Reducción de la contaminación agraria del agua. 05.05- Calidad de los suelos.		
			05.02- Reducción de la contaminación agraria del agua.

Fuente: PEPAC, versión 3.3.

De manera complementaria, en la lógica de la intervención del PEPAC, se añaden detalles sobre cómo se contribuirá a paliar las necesidades, tal y como se recoge en la siguiente tabla.

Tabla 13. Detalles adicionales de la forma en la que se prevé en el PEPAC la contribución a las necesidades, según la lógica de la intervención.

Necesidad	Detalles de su contribución
04.01-Minimizar emisiones GEI	Mejora de la fertilidad de los suelos, reduciéndose los aportes de fertilizantes y por tanto las emisiones de N ₂ O asociadas. Este hecho se ve incrementado incluyendo en la rotación las leguminosas.
04.02- Aumentar la captura de carbono	Mejora del estado de los suelos, aumentando su capacidad de captar carbono atmosférico.
05.02. Mejorar la calidad del agua, reduciendo la contaminación procedente de fuentes agrarias	En siembra directa de regadío, se exige la gestión sostenible de insumos.
05.05. Mejorar la gestión y la conservación de la calidad de los suelos	-

Fuente: PEPAC, versión 3.3.

Más allá de esta lógica de intervención planificada, el diseño de la práctica prevé que se promueva un mejor aprovechamiento del agua, el incremento de materia orgánica y el secuestro de carbono por el suelo, el mantenimiento/recuperación del suelo y la reducción de

la erosión del mismo, contribuyendo, por tanto, a atender la necesidad de aumentar la capacidad sumidero del suelo. También se pretende impulsar un efecto prolongado en el tiempo de captura de carbono, incentivando económicamente compromisos de plurianualidad.

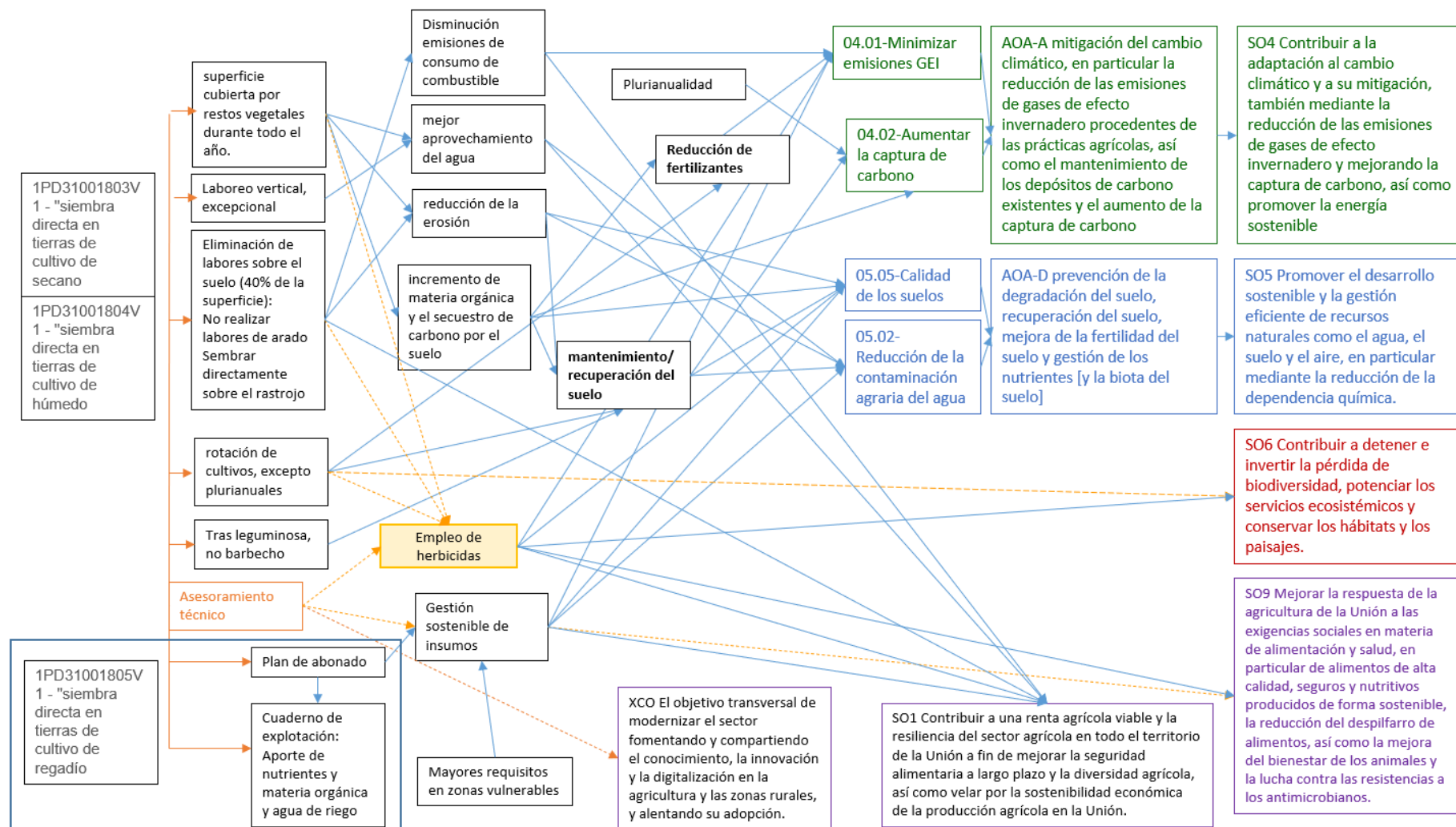
Teniendo en cuenta lo anterior, además de los compromisos establecidos para la ayuda, se ha diseñado un esquema de cadena causal que permita relacionar cada uno de los detalles técnicos planificados en el diseño de la intervención en una secuencia de causas y efectos, hasta relacionarlos con los objetivos previstos para el PEPAC. Aunque en la lógica de la intervención no se explicita, también se ha incluido en la cadena causal la aplicación de herbicidas, que motiva la evaluación que se está llevando a cabo y el compromiso establecido con el sector, reflejado en el diseño de la ayuda a través del siguiente texto:

“También respecto a esta práctica, en el año 2025, en relación al uso de herbicidas, se llevará a cabo una evaluación con la información disponible hasta el momento de sus efectos, con el fin de poder modificar sus condiciones y requisitos si se observan efectos negativos”.

Esto ha llevado al equipo evaluador a incluir algunos detalles que complementarían la cadena de resultados (Figura 19) que muestra de manera explícita el diseño, incluyendo otras relaciones con otros objetivos específicos como, por ejemplo, **la relación con el OE1, OE6, el OE9 y el objetivo transversal, aunque estos no estén relacionados a priori en la planificación.** Estas contribuciones se producirán adicionalmente a lo planificado y, por lo tanto, no serán objetivos principales ni estarán consideradas en el marco de rendimiento ni cuantificadas por los indicadores de resultado comunes.

No obstante, a efectos de la evaluación es necesario analizar la repercusión completa de las intervenciones, más allá de lo planificado y es de utilidad considerar la cadena causal íntegra, completando aquellos huecos posibles que permitan comprender de forma holística cómo se producen los efectos en los objetivos, si las intervenciones se aplican conforme a lo previsto.

Figura 19. Esquema de cadena causal completa elaborada tras el análisis de los aspectos planificados y la valoración técnica de los compromisos.

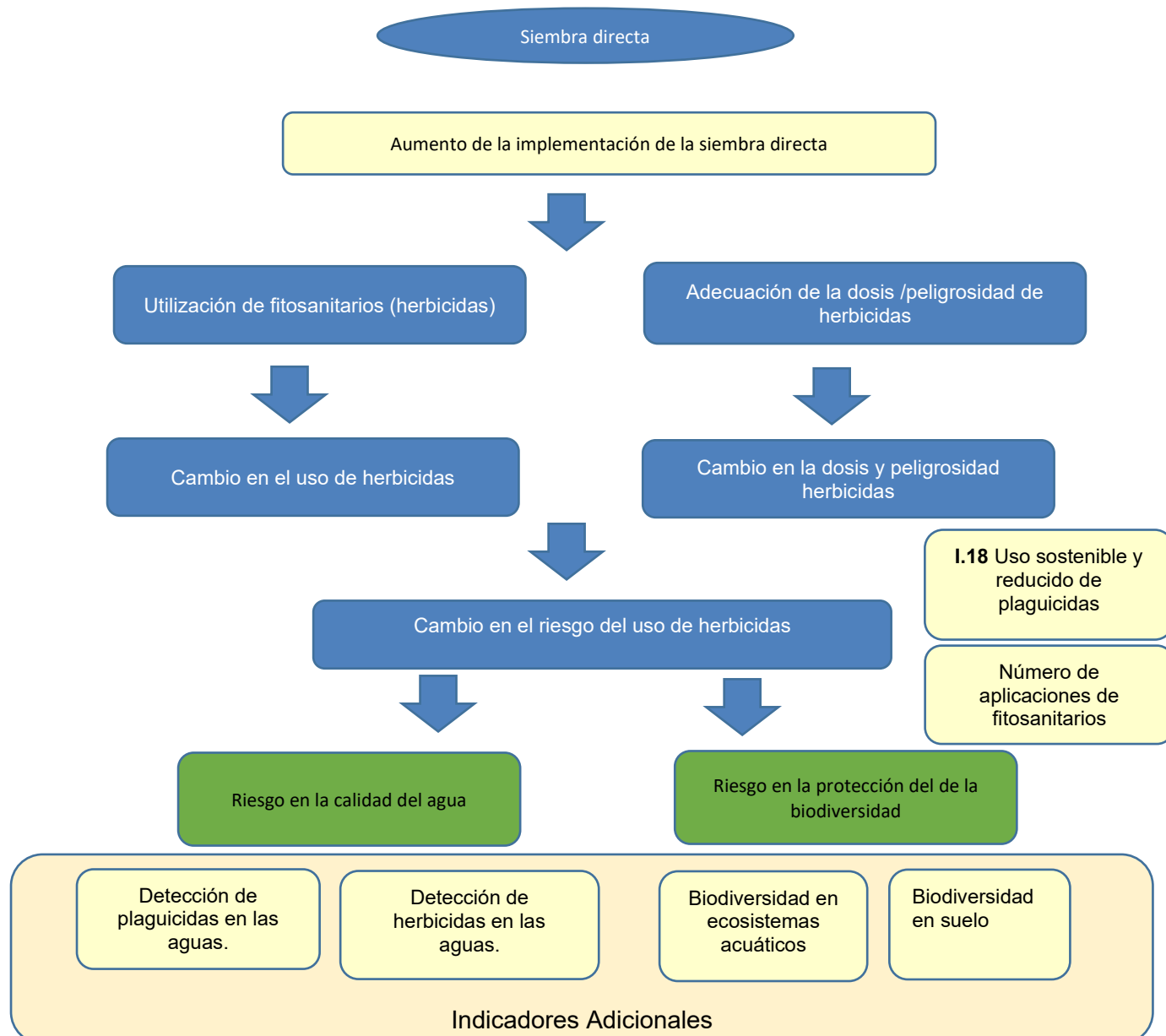


Fuente: elaboración propia a partir de planificación de las intervenciones en la V3.3 del PEPAC.

Con el apoyo de la teoría del cambio reconstruida, esquematizada con la cadena causal anterior, las respuestas a las preguntas de evaluación tienen como base la sección de la misma relacionada con los objetivos sobre los que focalicen.

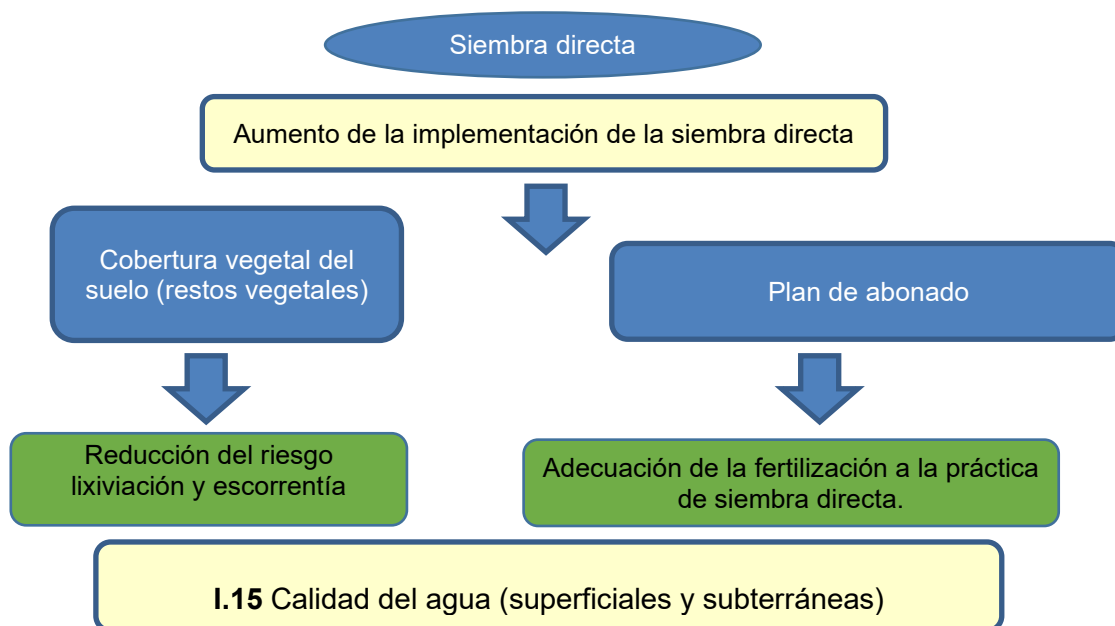
En este caso, se recogen aquellas secciones empleadas en indagar en las respuestas a las preguntas de evaluación, por grandes temáticas.

Figura 20. Esquema de la cadena causal para dar respuesta a la pregunta relacionada con la calidad de agua vinculada al uso de herbicidas y su relación con distintos ámbitos.



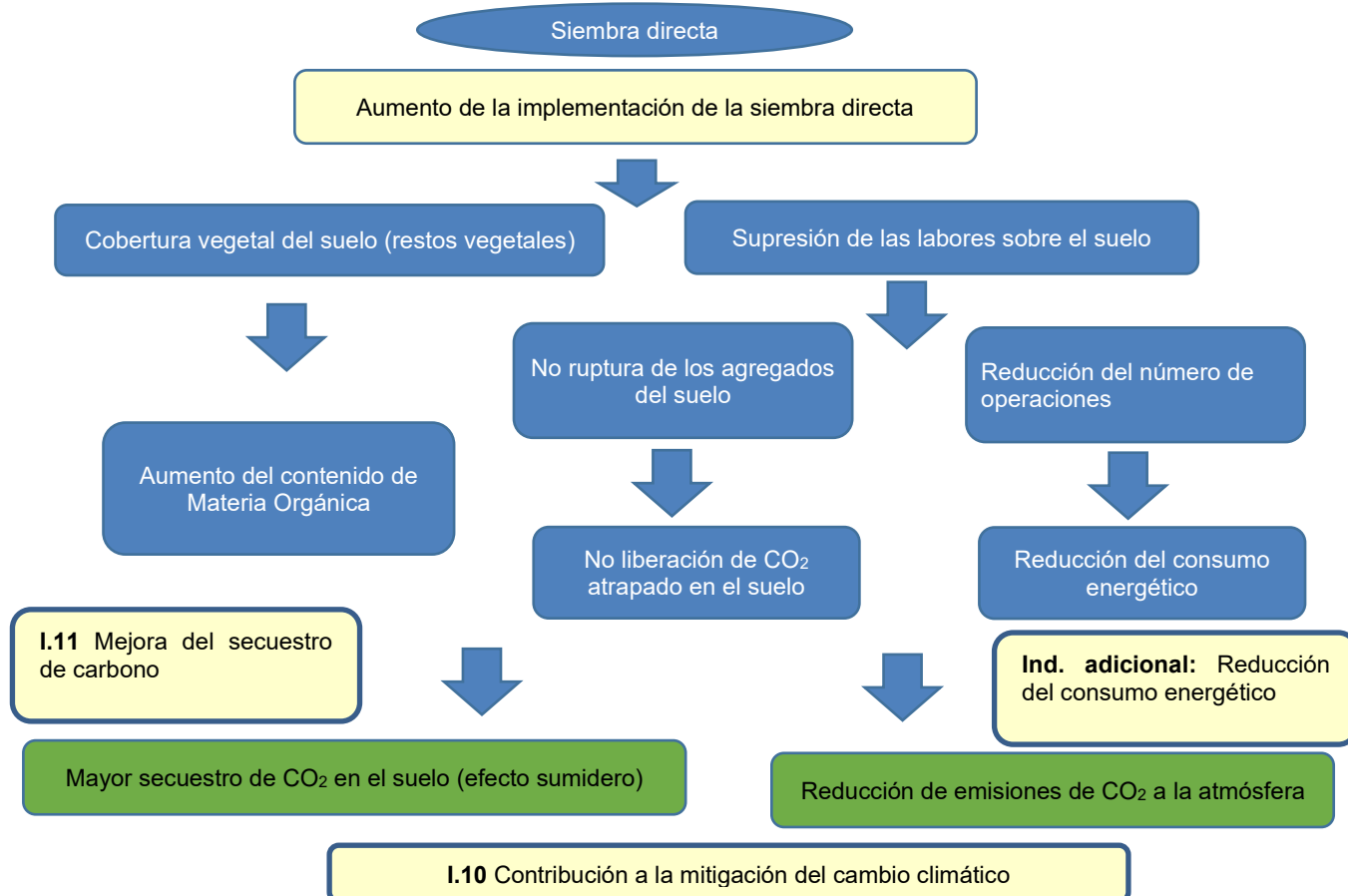
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Esquema de la cadena causal para dar respuesta a la pregunta relacionada con la calidad del agua vinculada a la gestión de fertilizantes.



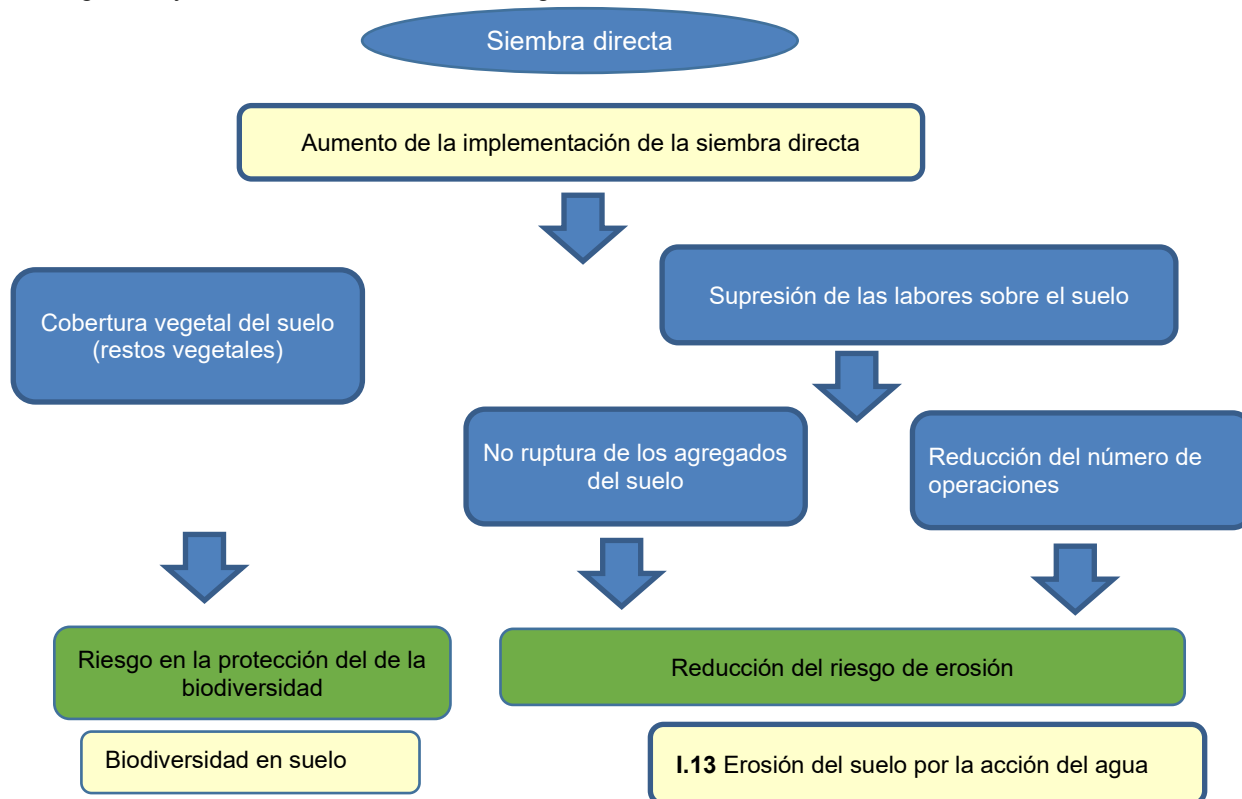
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Esquema de la cadena causal para dar respuesta a la pregunta relacionada con la mejora del secuestro de carbono por los suelos y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Esquema de la cadena causal para dar respuesta a la pregunta relacionada con la mejora de la gestión y conservación de los suelos agrícolas.



Fuente: elaboración propia.

9. Respuestas a las preguntas de evaluación

9.1. EFICACIA: ¿En qué medida el uso de herbicidas derivado de la práctica de la siembra directa en el marco del PEPAC (P4-Ecorregímenes) produce efectos en los objetivos de la PAC?

9.1.1. Factor de Éxito 1: La siembra directa incide en la disminución de la utilización y el riesgo de los herbicidas químicos y la utilización de herbicidas más peligrosos.

Los análisis realizados permiten llegar a las conclusiones siguiente:

- Con la siembra directa se consumen entre 1 y 3 aplicaciones de herbicida más que en el laboreo convencional.
- El mayor empleo de herbicidas genera cierta dependencia y resistencias en plantas adventicias.
- Sistemas alternativos con el mínimo laboreo o el laboreo en líneas palía la aparición de resistencias a los herbicidas y disminuye el uso de herbicidas, aunque contribuyen de manera similar al incremento de materia orgánica en el suelo y la paliación de la erosión.

El objetivo de este factor de éxito consiste en dar respuesta a en qué medida la práctica de la siembra directa tiene incidencia o efecto sobre el grado de utilización de herbicidas químicos y, en el riesgo asociado a estos.

Según la información proporcionada por el proyecto Life Agromitiga¹³⁷ durante el tiempo que transcurre entre la cosecha de un cultivo y el siguiente, considerado en la rotación, es necesario que el suelo se mantenga libre de malas hierbas. Parte de ese control lo realizan los mismos restos de cosecha del cultivo anterior presentes en el suelo, pero no exime de realizar tratamientos con herbicidas residuales antes de la siembra.

Según se indica en este proyecto, lo habitual en siembra directa es realizar una aplicación de herbicidas antes de la siembra tras las lluvias de otoño en el caso de cultivos de invierno y de una a dos aplicaciones en el caso de cultivos de primavera. Las aplicaciones a utilizar suelen ser una mezcla compuesta por herbicidas de amplio espectro, a dosis no mayores de 1-1,5 l/ha junto con herbicidas de tipo hormonal a dosis entre 0,5 a 0,75 l/ha. Esta información coincide con la referencia del proyecto Life Agromitiga y las aportaciones en las entrevistas realizadas, en las que se proporciona una media de entre 1 a 3 tratamientos adicionales respecto al laboreo convencional, dependiendo de la complejidad del año climático.

Los tratamientos realizados tras la siembra no difieren mucho de los que se realizan en un sistema convencional, pudiendo ser necesaria la aplicación de un herbicida de preemergencia en los cultivos de primavera, para prevenir la germinación de malas hierbas posteriores a la siembra. En este aspecto también coinciden las aportaciones de los técnicos especialistas del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito (IRIAF), en Cuenca.

Una vez que el cultivo ha nacido satisfactoriamente, es conveniente realizar un seguimiento de su desarrollo, para tomar las decisiones oportunas sobre los tratamientos necesarios a realizar, ya sea para controlar las malas hierbas o para controlar las plagas y enfermedades, cuya incidencia dependerá de cada campaña agrícola.

De manera complementaria, se ha realizado un análisis exhaustivo de los datos provenientes de las Redes-TECO¹³⁸, que constituyen un sistema de información de datos técnico-económicos de los sistemas productivos de cultivos herbáceos e industriales en España, cuyo objetivo es contribuir a lograr un mayor conocimiento sobre la realidad de los mismos. Está basado en el concepto de Explotación Típica¹³⁹ y Paneles abarcando tanto explotaciones de secano como de regadío y mixtas.

De este sistema se extrae información en cuanto al tipo de cultivo de cada explotación (cereales, oleaginosas, leguminosas, industriales o pratenses), la técnica de cultivo (siembra directa o convencional), el mes de las distintas técnicas de manejo y el número de pases en cuanto a fitosanitarios se refiere, con el objetivo de realizar una comparativa naïve del uso de

¹³⁷ <https://lifeagromitiga.eu/el-proyecto/?lang=es>.

¹³⁸ [Redes TECO](#).

¹³⁹ Una explotación típica representa el sistema de producción más común en una región en cuanto a parámetros técnico-económicos: tamaño, sistema productivo, rendimientos, ingresos y costes. Tiene como punto de partida los registros contables de explotaciones reales de características similares cuyas particularidades son tipificadas. Se construye y valida por los **Paneles Regionales y Nacionales** (productores, técnicos, investigadores, industria, etc.).

plaguicidas en general, y herbicidas en particular, entre la técnica de cultivo de siembra directa y la agricultura convencional, en una serie temporal comprendida entre 2019 y 2023.

Para ello, de todos los cultivos con información en siembra directa y convencional, se recoge el número de aplicaciones de cada tipo de pesticida y se calcula el promedio para cada anualidad diferenciando por técnica de cultivo (siembra directa frente a agricultura convencional) y por tipo de fitosanitario. Como se observa en la Tabla 14, en términos generales, el uso total promedio de fitosanitarios muestra cierta variabilidad entre 1 y 1,7 aplicaciones de media por anualidad y tipo de fitosanitario. **El promedio total de aplicaciones revela que los herbicidas son los productos más aplicados durante este periodo, con su máximo en la técnica de siembra directa, con un valor medio de 1,65 aplicaciones por año (1,57 en convencional),** mientras en convencional tiene un mayor número de pases medio en los fungicidas (1,64) y los insecticidas (1,42).

Tabla 14. Promedio de aplicaciones de cada tipo de pesticida dependiendo del tipo de técnica de cultivo para cada anualidad.

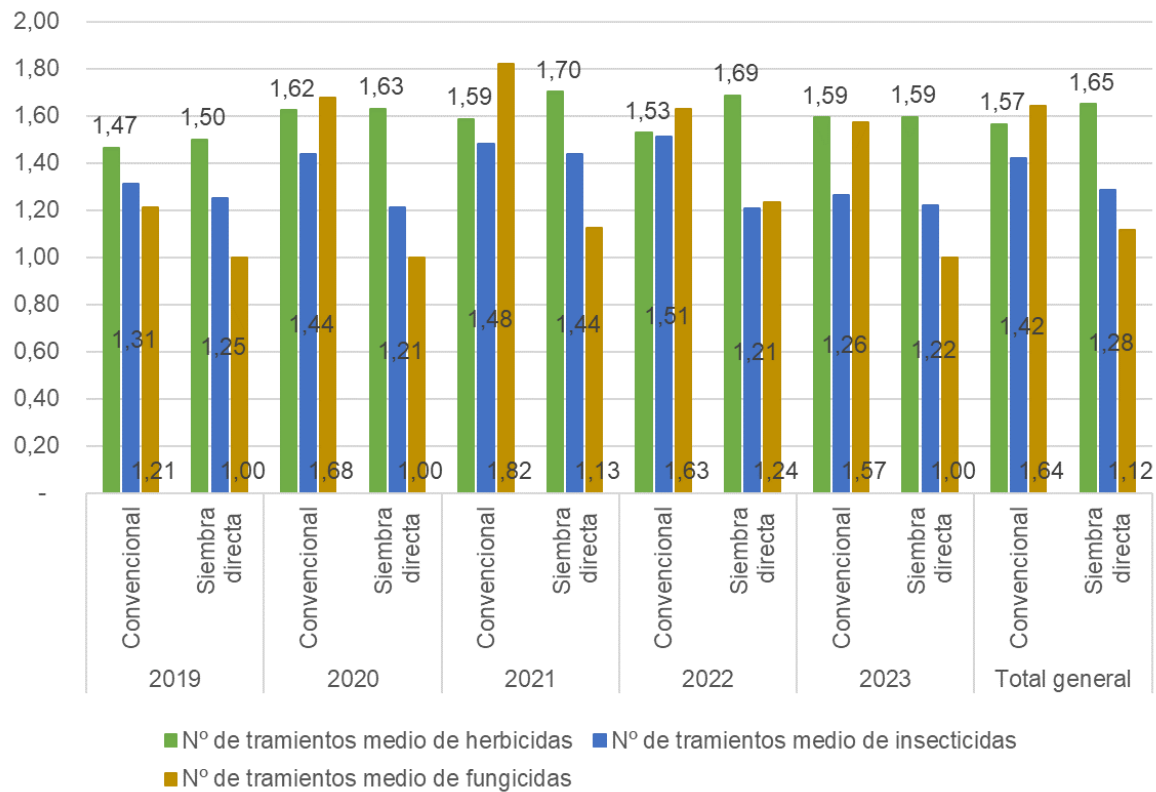
Nº medio de aplicaciones			
Año	Herbicidas	Insecticidas	Fungicidas
2019	1,47	1,30	1,17
Convencional	1,47	1,31	1,21
Siembra directa	1,50	1,25	1,00
2020	1,63	1,35	1,52
Convencional	1,62	1,44	1,68
Siembra directa	1,63	1,21	1,00
2021	1,62	1,47	1,62
Convencional	1,59	1,48	1,82
Siembra directa	1,70	1,44	1,13
2022	1,58	1,41	1,52
Convencional	1,53	1,51	1,63
Siembra directa	1,69	1,21	1,24
2023	1,59	1,26	1,48
Convencional	1,59	1,26	1,57
Siembra directa	1,59	1,22	1,00
Total general	1,59	1,38	1,51
Convencional	1,57	1,42	1,64
Siembra directa	1,65	1,28	1,12

Nota: los cultivos con datos de siembra directa y convencional son cereales, leguminosas, oleaginosas, prateses y cultivos industriales.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Redes-TECO.

A lo largo de los cinco años, el sistema convencional muestra un mayor número de aplicaciones en insecticidas y fungicidas en comparación con siembra directa. Los herbicidas, en cambio, presentan un uso mayor en siembra directa en prácticamente en todas las anualidades excepto 2023 que la media de tratamientos es igual.

Gráfica 30. Tendencia del número medio de aplicaciones de cada grupo de fitosanitarios por anualidad del periodo 2019-2023.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Redes TECO.

Si se analizan de forma comparativa los tratamientos fitosanitarios por grupos de cultivos se observa que, en cereales, leguminosas y oleaginosas, de media, se realiza un mayor número de tratamientos herbicidas en la práctica de siembra directa, de 0,07 en oleaginosas, 0,24 en cereales y 0,58 en leguminosas más que el convencional. Mientras que en prateses y cultivos industriales esta tendencia se invierte. No obstante, en el caso de cultivos industriales la baja disponibilidad de datos está limitando la comparativa.

En cuanto al número de tratamientos de fungicidas e insecticidas lo habitual es que en el laboreo convencional se realicen más tratamientos, con una diferencia media en el número de aplicaciones que oscila entre las 0,05 en caso de insecticidas en cereales y 1,71 de tratamientos más en los fungicidas en prateses. No obstante, en los cultivos industriales, así como en oleaginosas la media en el número de tratamientos insecticidas es superior en la práctica de siembra directa.

Tabla 15. Promedio de aplicaciones de cada tipo de pesticida dependiendo del tipo de técnica de cultivo para cada grupo de cultivo (2019-2023).

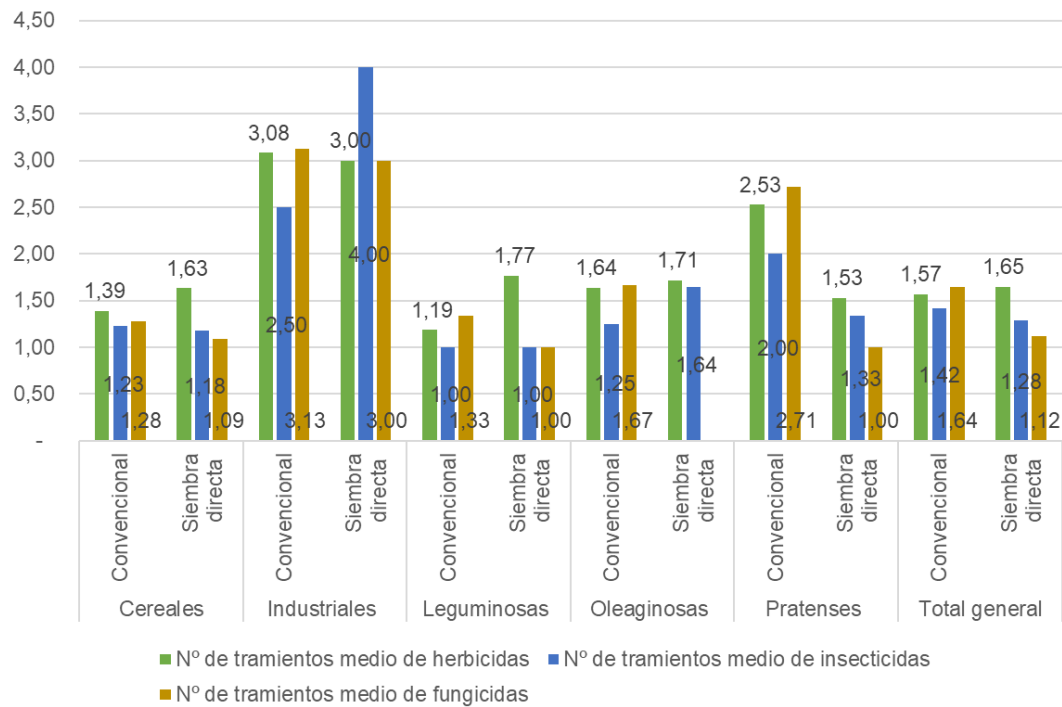
Nº medio de aplicaciones			
Grupo de cultivo	Herbicidas	Insecticidas	Fungicidas
Cereales	1,45	1,21	1,22
Convencional	1,39	1,23	1,28
Siembra directa	1,63	1,18	1,09
Industriales	3,08	2,57	3,13
Convencional	3,08	2,50	3,13

Nº medio de aplicaciones			
Grupo de cultivo	Herbicidas	Insecticidas	Fungicidas
Siembra directa	3,00	4,00	3,00
Leguminosas	1,38	1,00	1,20
Convencional	1,19	1,00	1,33
Siembra directa	1,77	1,00	1,00
Oleaginosas	1,65	1,35	1,67
Convencional	1,64	1,25	1,67
Siembra directa	1,71	1,64	
Pratenses	2,03	1,87	2,50
Convencional	2,53	2,00	2,71
Siembra directa	1,53	1,33	1,00
Total general	1,59	1,38	1,51
Convencional	1,57	1,42	1,64
Siembra directa	1,65	1,28	1,12

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Redes TECO.

En los diferentes grupos de cultivos a excepción de las oleaginosas y las pratenses, el sistema convencional muestra una mayor frecuencia de aplicaciones en insecticidas y fungicidas en comparación con siembra directa. Los herbicidas, en cambio, presentan un uso mayor en siembra directa en la mayoría de los grupos de cultivos sobre todo en aquellos con un mayor número de registros disponible para la comparación. Los cultivos pratenses registran el número medio de tratamientos de los tres fitosanitarios más alto en convencional. Así mismo, los cultivos de oleaginosas presentan el número medio de tratamientos insecticidas más alto en siembra directa.

Gráfica 31. Promedio del número medio de aplicaciones de cada grupo de fitosanitarios por grupo de cultivo (2019-2023).

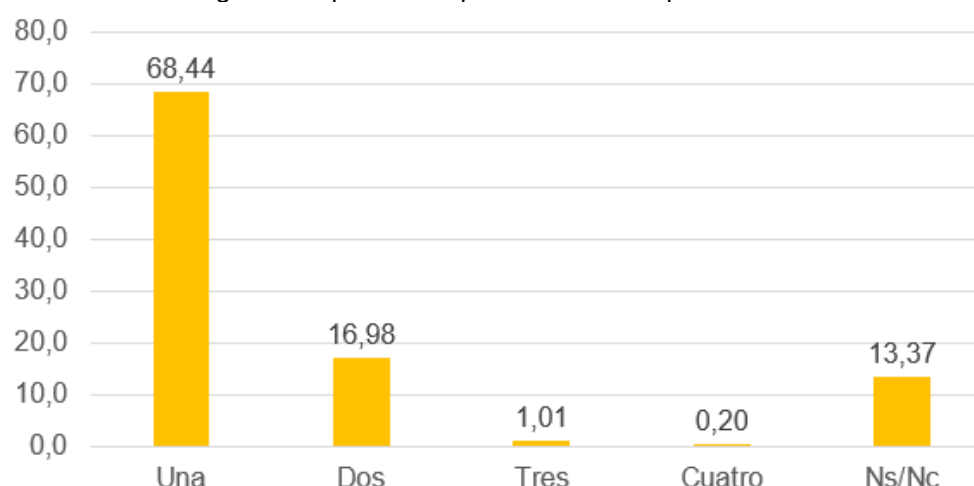


Fuente: elaboración propia a partir de datos de Redes TECO.

Según estos resultados (Gráfica 30 y Gráfica 31), aparentemente **el sistema de cultivo de siembra directa muestra menos número de aplicaciones de fitosanitarios en insecticidas y fungicidas con respecto al convencional, y una tendencia a un mayor uso de herbicidas en la siembra directa, como también se ha confirmado en las restantes fuentes analizadas.**

En coherencia con lo anterior, en el sondeo de opinión a las personas que declaran aplicar la técnica de siembra directa (anexo IV), se observa que en un año normal (Gráfica 32), el **68,4% de los encuestados indica que realiza un solo tratamiento con glifosato de manera previa a la siembra, el 17,0% aplica dos tratamientos y menos del 2,0% tres o más veces.**

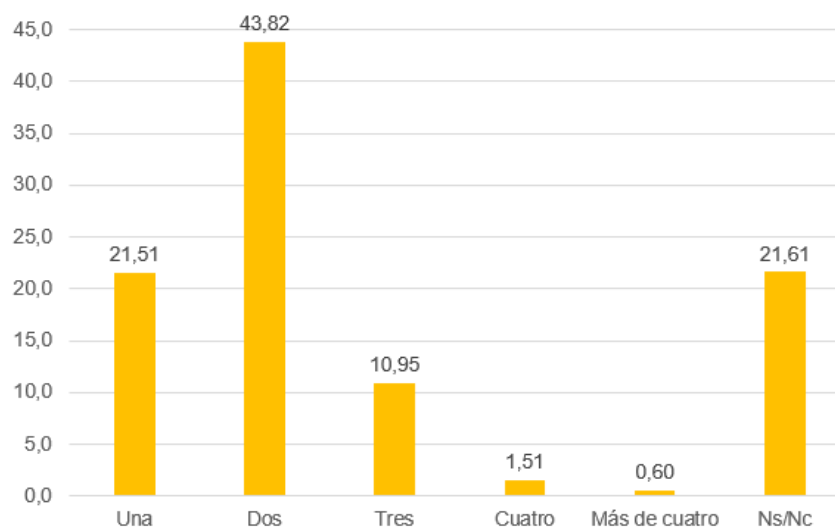
Gráfica 32. Porcentaje (%) de respuestas a la pregunta: En un año normal, ¿Nos puede indicar el número de tratamientos de glifosato que suele aplicar de manera previa a la siembra?



Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta.

Los años con condiciones climáticas adversas (Gráfica 33), la necesidad de tratamientos aumenta, ya que el 43,8% afirma realizar 2 tratamientos con glifosato, frente al 21,5% de personas que sigue aplicando tan sólo 1 tratamiento y casi un 11,0% llega a aplicar hasta 3 tratamientos de manera previa a la siembra.

Gráfica 33. Porcentaje (%) de respuestas a la pregunta: En un año complejo, ¿Nos puede indicar el número de tratamientos de glifosato que suele aplicar de manera previa a la siembra?



Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta.

Por su incidencia en los tratamientos fitosanitarios, en la encuesta realizada se ha consultado la vinculación de la práctica de siembra directa con la agricultura ecológica. En este caso, la mayoría de las personas que han respondido no gestionan la siembra directa bajo los principios de la agricultura ecológica (84,5%), pero existe un 11,6% que sí aplica esta forma de gestionar el cultivo. En concreto, en el 6,9% de las respuestas se aplica agricultura ecológica pero no en toda la superficie, y el 4,6% en toda la superficie, lo que representa un porcentaje menor, pero importante, debido a la complejidad que supone este solapamiento, al no poder gestionar el control de malas hierbas con herbicidas.

Las opiniones recogidas en la encuesta a las personas que han declarado la práctica destacan como **principal punto débil de la siembra directa su dependencia de los herbicidas**. Además, señalan la **rigidez de la práctica de siembra directa del ecorrégimen en cuanto a no permitir algunas labores superficiales para contribuir al control de las malas hierbas**, sin que ello suponga la pérdida de la ayuda. Por último, inciden en la **necesidad de mayor investigación sobre herbicidas alternativos o biológicos que hagan posible la siembra directa sin glifosato**.

De manera complementaria, la información aportada por los técnicos del IRIAF Albaladejito de Cuenca, apunta a que estas dosis de tratamiento de glifosato pueden estar en torno a los 1-2 l/ha durante los primeros años, pero conforme pasa el tiempo y las malas hierbas desarrollan resistencia, se han observado casos en los que, aunque se dupliquen las dosis no son tratamientos 100% efectivos. En este contexto, especies como la coniza y la grama presentan una especial complejidad para su control. Cuando estas dos especies se instalan, hay personas que se plantean el control de las hierbas con una labor superficial (2-3 cm) con un apero específico, o en el caso de la grama con el laboreo convencional, en algunos casos. Se observa que los tratamientos han ido evolucionando y han pasado a mezclar el glifosato (1,5-2 l/ha para controlar la hoja estrecha) con 2,4D (0,5-0,6 l/ha) y MCPA. El control de malas hierbas es algo complejo en leguminosas al haberse prohibido herbicidas que eran eficaces y se empleaban en estos cultivos.

Según la opinión de estos técnicos, esta práctica funciona bien generalmente durante los 10 primeros años, pero en este periodo la compactación del terreno y la incidencia de malas hierbas hacen necesaria una labor que permita “*resetear*” o comenzar con un nuevo ciclo. La alternativa al incremento de dosis de herbicidas, muy por encima del laboreo convencional podría consistir en la adopción de prácticas como el mínimo laboreo o incluso el laboreo en líneas. Estas dos técnicas de cultivo permitirían la conservación del suelo y no aplicar dosis tan elevadas de herbicidas como en algunas ocasiones están requiriendo las malas hierbas que han generado resistencia, según su experiencia.

Tabla 16. Tratamientos de los distintos cultivos gestionados en función de distintas técnicas. Campaña 2023/24.

TRATAMIENTO FITOSANIATRIO CEBADA						
TÉCNICA DE LABOREO	APLICACIÓN	FECHA	RENDIMIENTO (HORAS/Ha)	CONSUMO (L/HORA)	CONSUMO (L/Ha)	TOTAL CONSUMO (L/Ha)
LABOREO TRADICIONAL	Biatlon	18/03/2024	0,18	6,51	1,17	1,17
MÍNIMO LABOREO	Glifosato	19/09/2023	0,15	6,36	0,95	2,28
	Biatlon	18/03/2024	0,20	6,61	1,32	
SIEMBRA DIRECTA	Glifosato	19/09/2023	0,15	6,36	0,95	3,38
	Glifosato	13/11/2023	0,15	6,36	0,95	
	Biatlon	18/03/2024	0,22	6,71	1,48	
TRATAMIENTO FITOSANIATRIO GIRASOL						
TÉCNICA DE LABOREO	APLICACIÓN	FECHA	RENDIMIENTO (HORAS/Ha)	CONSUMO (L/HORA)	CONSUMO (L/Ha)	TOTAL CONSUMO (L/Ha)
MÍNIMO LABOREO	Glifosato + 2-4 D	21/09/2022	0,15	6,36	0,95	3,54
	Glifosato	07/11/2022	0,20	6,31	1,26	
	Tribenuron	28/06/2023	0,20	6,61	1,32	
SIEMBRA DIRECTA	Glifosato + 2-4 D	21/09/2022	0,15	6,36	0,95	4,95
	Glifosato	07/11/2022	0,20	6,31	1,26	
	Glifosato	02/06/2023	0,20	6,31	1,26	
	Tribenuron	28/06/2023	0,22	6,71	1,48	
TRATAMIENTO FITOSANIATRIO YEROS						
TÉCNICA DE LABOREO	OPERACIÓN	FECHA	RENDIMIENTO (HORAS/Ha)	CONSUMO (L/HORA)	CONSUMO (L/Ha)	TOTAL CONSUMO (L/Ha)
LABOREO TRADICIONAL	Aclonifen 60%	05/04/2024	0,18	6,50	1,17	1,17
MÍNIMO LABOREO	Glifosato	13/11/2023	0,15	6,70	1,01	2,18
	Aclonifen 60%	05/04/2024	0,18	6,50	1,17	
SIEMBRA DIRECTA	Glifosato	13/11/2023	0,15	6,70	1,01	2,18
	Aclonifen 60%	05/04/2024	0,18	6,50	1,17	

Fuente: IRIAF Albadalejito. Avance de resultados de la campaña 2023-2024.

Nota: los datos sobre l/hora y l/ha en estas tablas se refieren al consumo de combustible de las operaciones, del estudio técnico-económico IRIAF. Se incluyen para reflejar evidencias sobre la diferencia en el número de tratamientos de herbicidas entre convencional, mínimo laboreo y siembra directa en los cultivos.

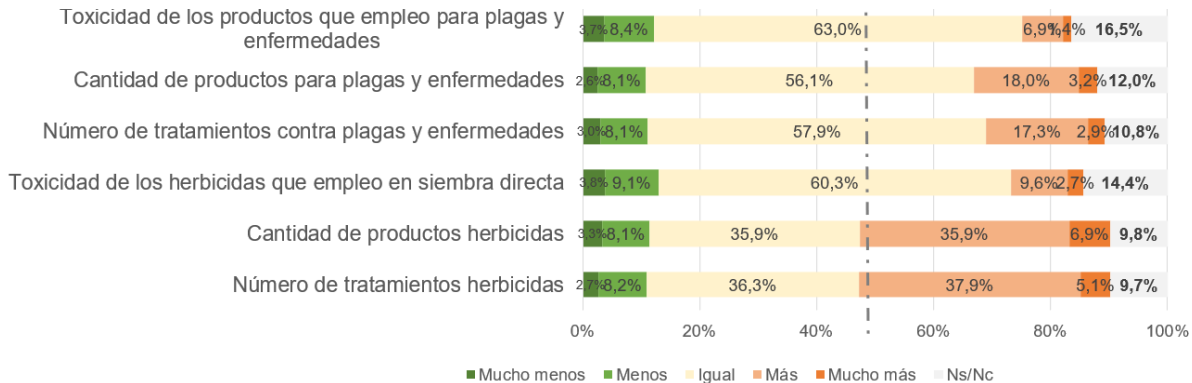
Además, las publicaciones que realizan desde este IRIAF, con los avances de resultados de la experimentación agraria muestran las diferencias de los tratamientos fitosanitarios utilizados entre los distintos tipos de cultivos y prácticas. En la Tabla 15 se puede observar las diferencias en el número de tratamientos herbicidas entre los tres sistemas de gestión: laboreo convencional, siembra directa y mínimo laboreo. Se puede apreciar que la siembra directa es de las más exigentes en cuanto al tratamiento de herbicidas, con un mayor número de ellos, respecto a los otros dos sistemas.

Respecto a este aspecto también han manifestado su opinión las personas que han declarado la práctica de siembra directa en 2023 y 2024, en el sondeo realizado en octubre 2025. Como se puede observar en la Gráfica 34 se percibe que la toxicidad de los productos empleados sigue prácticamente igual y no ha sufrido cambios al aplicar la práctica, con el 60,3% de las

respuestas en el caso de los herbicidas y el 63% en fitosanitarios empleados para plagas y enfermedades. No obstante, existe un 12,4% de respuestas que apuntan a mayor toxicidad de los herbicidas, y un 21,2% de los fitosanitarios.

El 43% de las respuestas apunta a un mayor número de tratamientos herbicidas y el 42,8% a una mayor cantidad en su empleo.

Gráfica 34. Percepción sobre los cambios tras aplicar la siembra directa en materia de fitosanitarios. Porcentaje (%) de respuestas.



Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta.

En general, las personas que aplican la práctica no llegan a percibir los efectos negativos de los herbicidas en el agua o en el suelo, con el 32,3% y 44,8% de las respuestas respectivamente.

Por otro lado, en el estudio de caso realizado para analizar el consumo de glifosato, a través del indicador proxy detallado en la metodología¹⁴⁰, obtenido con la información del Registro Electrónico de Transacciones y Operaciones (RETO), se ha analizado la información de las compras de glifosato de las personas que aplican la siembra directa y se ha comparado con la información de las personas que no han declarado la siembra directa en las campañas 2023 y 2024, al objeto de comparar las dosis medias por hectárea que teóricamente emplearon en estas dos anualidades.

Los resultados muestran, como se observa en la Tabla 17, un efecto significativo (P <0,05) de los factores tratamiento y comunidad autónoma, así como de la interacción entre ambos. Por tanto, el análisis apunta a que la dosis de glifosato consumida en explotaciones bajo siembra directa es significativamente mayor (2,5 veces aproximadamente) que aquellas situadas fuera de siembra directa.

¹⁴⁰ El grupo de tratamiento está integrado por las personas que aplican siembra directa los años 2023 y 2024 y el porcentaje de siembra directa supera el 90% de la superficie total de la explotación y el grupo de control incluye explotaciones en las que no se ha aplicado siembra directa ni en 2023 ni 2024. En ambos grupos la OTE es COP o cultivos extensivos, de aquellas comunidades autónomas en las que la siembra directa ha tenido mayor acogida, es decir, Castilla y León, Aragón, Catalunya, Castilla-La Mancha y Navarra. Se han eliminado las explotaciones en las que el proxy excede de una dosis media de 20l/ha. Se realizó un análisis de varianza (Anova) de dos vías para evaluar el efecto de la dosis estimada de glifosato (l/ha) entre tratamientos (siembra directa y control) y comunidad autónoma.

Tabla 17. Resultados del Anova de dos vías ejecutado para la variable dependiente dosis de glifosato (l/ha).

Variables	Df	F-test	P-valor
Tratamiento	1	2417,2	< 0,001
CCAA	4	140,2	< 0,001
Interacción	1	5,0	< 0,001

Fuente: elaboración propia.

Además, los resultados muestran que la dosis varía significativamente por comunidades autónomas, mostrando Navarra y Catalunya dosis medias de glifosato más elevadas que Castilla-La Mancha, Castilla y León y Aragón (Tabla 18).

Tabla 18. Resultados promedio de la dosis de glifosato (l/ha) estimado de las compras por tratamiento (siembra directa y control) y comunidad autónoma. Se ha incluido también el resultado de las comparaciones múltiples post-hoc (P-valor) para la variable tratamiento en función de la Comunidad autónoma y la OTE.

CCAA	CONTROL	SD	P-valor	Media
Aragón	1,27	3,02	< 0,001	1,52 a
Castilla y León	1,15	2,97	< 0,001	1,38 ab
Castilla-La Mancha	1,01	2,67	< 0,001	1,12 a
Catalunya	2,03	2,37	< 0,001	2,05 bc
Navarra	2,12	4,06	< 0,001	2,36 c
Media	1,22	3,00	< 0,001	1,43

Fuente: elaboración propia. Para cada comunidad autónoma, las diferentes letras minúsculas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) en la prueba posthoc de Bonferroni.

Estos resultados muestran unas dosis de consumo ligeramente más elevadas a las apuntadas en las entrevistas o en la bibliografía, como empleadas en la siembra directa, que se encontraban entre 1 ó 2 l/ha por término medio, aunque se elevaban en los casos de explotaciones en las que surgen resistencias en las adventicias. No obstante, como se ha indicado, es un proxy de consumo, que muestra comparaciones entre explotaciones en condiciones similares.

En conclusión, **la siembra directa emplea, al menos, entre 1 y tres aplicaciones adicionales de herbicida en comparación con el laboreo convencional** lo que, en opinión de algunas personas que la aplican genera cierta dependencia de los herbicidas en general y del glifosato en particular. En opinión de las personas consultadas, en ocasiones se generan resistencias difíciles de resolver si no se apoya del laboreo. La toxicidad de los herbicidas empleados no cambia respecto al laboreo convencional, pero sí el número de tratamientos.

Los resultados del consumo de glifosato realizados en esta evaluación muestran que existen diferencias en la dosis consumida (en l/ha) entre la práctica de la siembra directa y el laboreo convencional (2,5 veces aproximadamente mayor en siembra directa) y entre el consumo de glifosato entre explotaciones de distintas comunidades autónomas.

La experiencia técnica resultante de los ensayos muestra que la realización de labores superficiales aplicadas en un régimen de mínimo laboreo o de laboreo en líneas, podría ofrecer resultados similares en cuanto al mantenimiento de la materia orgánica y la reducción de la erosión, pero contribuirían a reducir la aplicación de herbicidas y a

controlar el desarrollo de resistencias en las malas hierbas. Esta flexibilización de las labores también favorecería a que la siembra directa se aplicara en el cultivo del girasol, que actualmente tiene dificultades para gestionarse bajo esta práctica, ya que, en determinadas condiciones de suelo, en las explotaciones bajo el régimen de siembra directa se tiene que comenzar un nuevo ciclo interrumpiendo con laboreo ya que la compactación del suelo y la resistencia de las adventicias puede resultar limitante.

9.1.2. Factor de Éxito 2: La gestión de herbicidas en la siembra directa supone cambios en la biodiversidad, servicios ecosistémicos y hábitats

Las actividades realizadas en el contexto de esta evaluación llevan a las siguientes conclusiones:

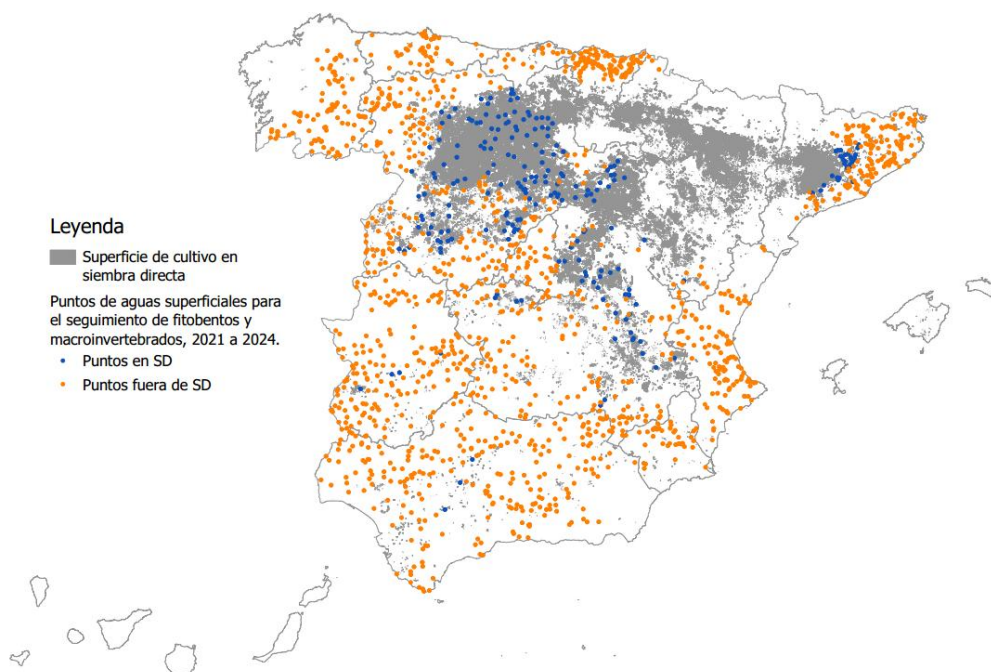
- Los resultados en biodiversidad dependen de multitud de factores como las prácticas agrarias, las propiedades edáficas y las condiciones climáticas, entre otros. Por ello, los efectos de los herbicidas, no pueden observarse de manera aislada.
- Los efectos del empleo de herbicidas en la siembra directa en la biodiversidad asociada a la calidad del agua muestran una mayor estabilidad en las estaciones de tratamiento, respecto a la agricultura convencional.
- El proyecto SoilBIO muestra que, aunque se emplee más herbicida en la siembra directa respecto a la agricultura convencional, el resto de prácticas aplicadas como son la anulación del laboreo, el mantenimiento de la cubierta vegetal y del rastrojo y la rotación de cultivos, están compensando un posible efecto negativo. Con la **siembra directa aumenta la abundancia, riqueza y diversidad de la mesofauna en los suelos de climas mediterráneos.**

Este factor de éxito tiene como objetivo analizar cómo afecta el uso de herbicidas en la siembra directa a la biodiversidad, en relación al cultivo convencional, considerando las cantidades empleadas y la toxicidad de los mismos.

Para ello, se han **empleado indicadores biológicos de calidad de las aguas superficiales** que ofrecen la clasificación de los puntos de detección en función de las categorías asignadas en función del contenido de fitobentos y macroinvertebrados bentónicos, como se ha explicado en la metodología (Apartado 5.3 y Anexo I. Metodología. Técnicas aplicadas), teniendo en cuenta aquellos puntos que tienen información antes y después de la aplicación del PEPAC y diferenciando los puntos de detección asociados a la siembra directa (grupo de tratamiento) respecto a aquellos que no están influenciados por la misma (grupo de control).

En el siguiente mapa se puede observar la distribución de los puntos respecto a la superficie de siembra directa.

Figura 24. Puntos de seguimiento de aguas superficiales de fitobentos y macroinvertebrados bentónicos en siembra directa y fuera (2023).



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: fitobentos y macroinvertebrados, MITERD y RSU (2023).

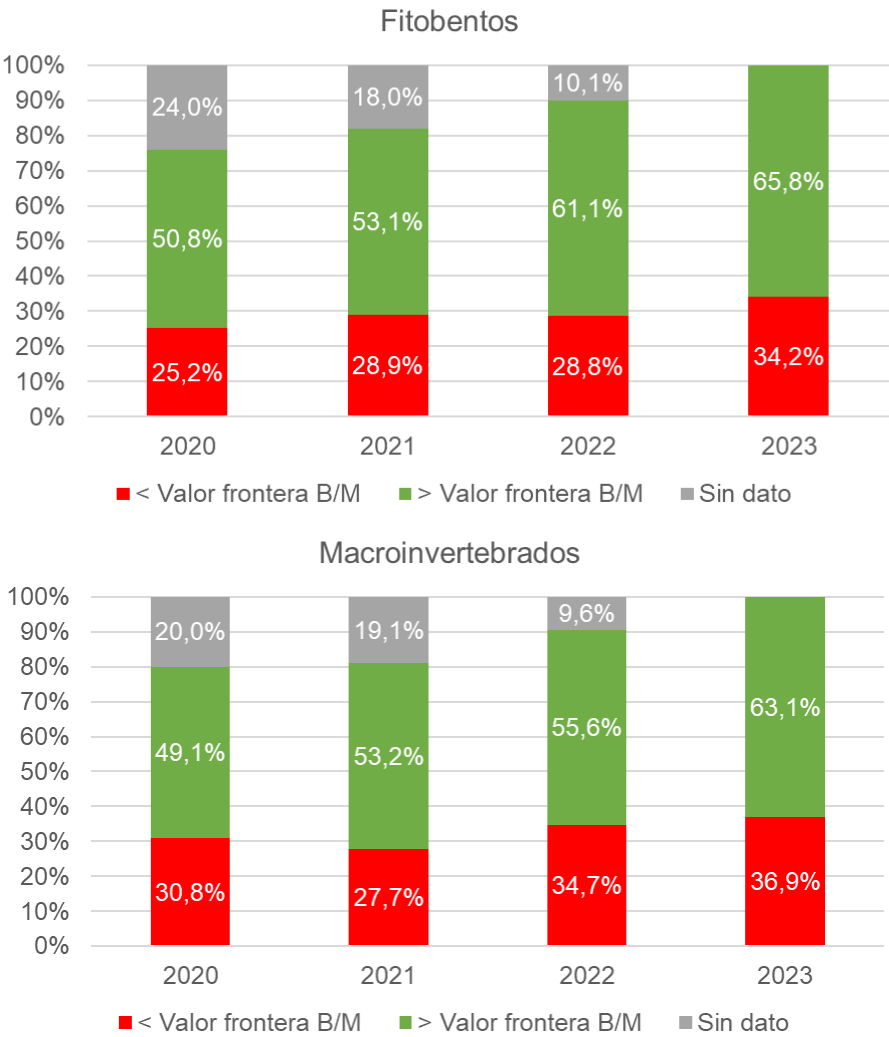
De manera total se dispone de 1.353 puntos de seguimiento para fitobentos y 1.278 para macroinvertebrados, aunque de manera conjunta se cuenta con 1.387 puntos de seguimiento con datos referentes a ambos grupos, aunque existen casos donde solo se dispone de información para sólo uno de ellos (fitobentos o macroinvertebrados).

Como se recoge en la Gráfica 35, en todas las anualidades de estudio, se observa mayor proporción de estaciones con valores superiores al valor frontera de fitobentos y macroinvertebrados bentónicos y, por lo tanto, con buen estado.

Considerando tan solo las estaciones con información disponible para todas las anualidades, en el 65% de ellas para el indicador biológico de fitobentos, se observa una buena - moderada calidad (por encima del valor frontera). No obstante, los datos de 2023 son algo más desfavorables para este indicador que para el año previo, ya que el porcentaje de estaciones por debajo del valor frontera es algo superior a los años anteriores, exceptuando el 2021.

Para el indicador biológico de macroinvertebrados, sin tener en cuenta las estaciones sin datos de 2020 a 2022, con el promedio de todas las anualidades, el 63% de las estaciones se observa buena o moderada calidad en los indicadores biológicos. Para este indicador, los datos de 2023 son algo más favorables que para el año previo, aunque se sitúan en la media del periodo, ya que el porcentaje de estaciones por debajo del valor frontera es algo (Gráfica 36).

Gráfica 35. Porcentaje de estaciones con datos de fitobentos y macroinvertebrados bentónicos en 2020-2023 según categorías.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: fitobentos y macroinvertebrados bentónicos, MITERD.

Para llevar a cabo la comparativa entre ambos periodos temporales (2020-22 y 2023) se compara la clasificación de 2023 de los indicadores biológicos con los datos de la última anualidad disponible del periodo 2020-2022.

Los resultados que se muestran en la tabla siguiente, señalan que en el 79,7% de las estaciones de fitobentos y el 71,9% de las de macroinvertebrados se mantiene la clasificación (color amarillo). De igual manera, El 66% en el primer indicador y el 63% en el segundo se mantiene por encima del valor frontera en ambos indicadores y, por lo tanto, en buen estado.

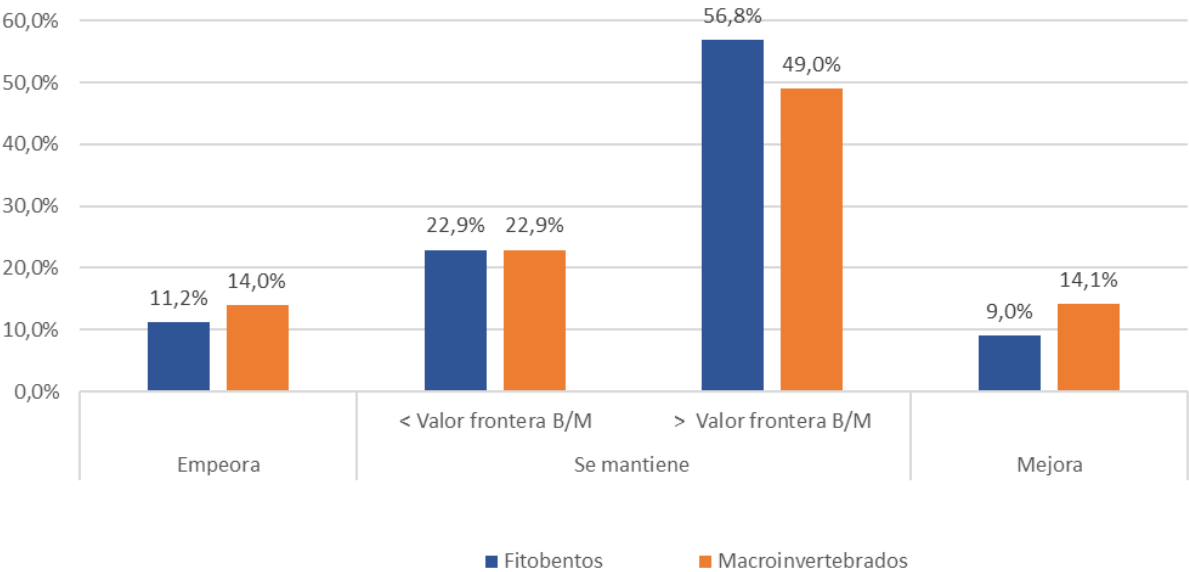
Tabla 19. Cambio de clasificación en las estaciones de seguimiento de fitobentos y macroinvertebrados en aguas superficiales al comparar el periodo 2020-2022 con 2023.

			2023		TOTAL
			< Valor frontera B/M	> Valor frontera B/M	
Periodo 2020 a 2022			Fitobentos		
	Fitobentos	< Valor frontera B/M	310	122	432
		> Valor frontera B/M	152	768	920
		TOTAL	462	890	1.352
			Macroinvertebrados bentónicos		
	Macroinvertebrados bentónicos	< Valor frontera B/M	293	180	473
		> Valor frontera B/M	179	626	805
		TOTAL	472	806	1.278

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: fitobentos y macroinvertebrados bentónicos, MITERD.

En el caso de los fitobentos, el 11,2% de las estaciones empeoran su calidad (color rojo) y el 9% mejoran su calidad (color verde). En el indicador de los macroinvertebrados hay un 14% de las estaciones en las que se empeora la calidad y un 14,1% en las que se mejora la misma (Gráfica 36).

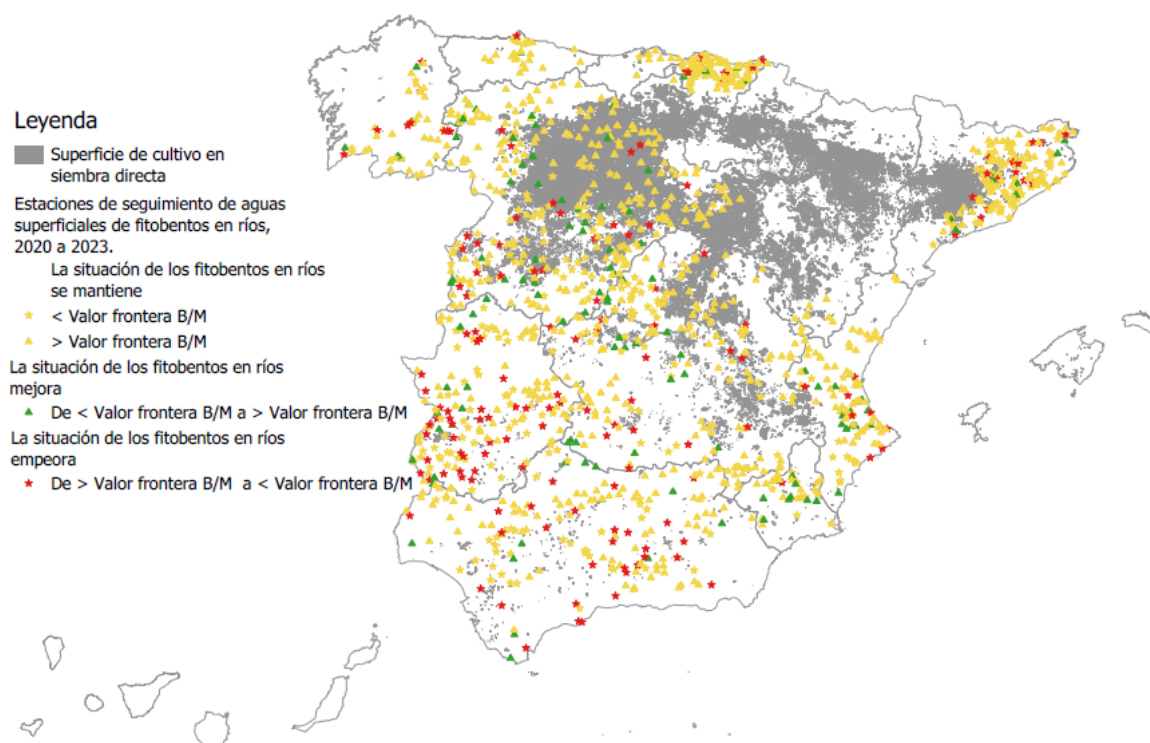
Gráfica 36. % de estaciones de fitobentos y macroinvertebrados en función de la evaluación de la clasificación de la calidad en el periodo 2020-2022 con 2023.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: fitobentos y macroinvertebrados bentónicos, MITERD.

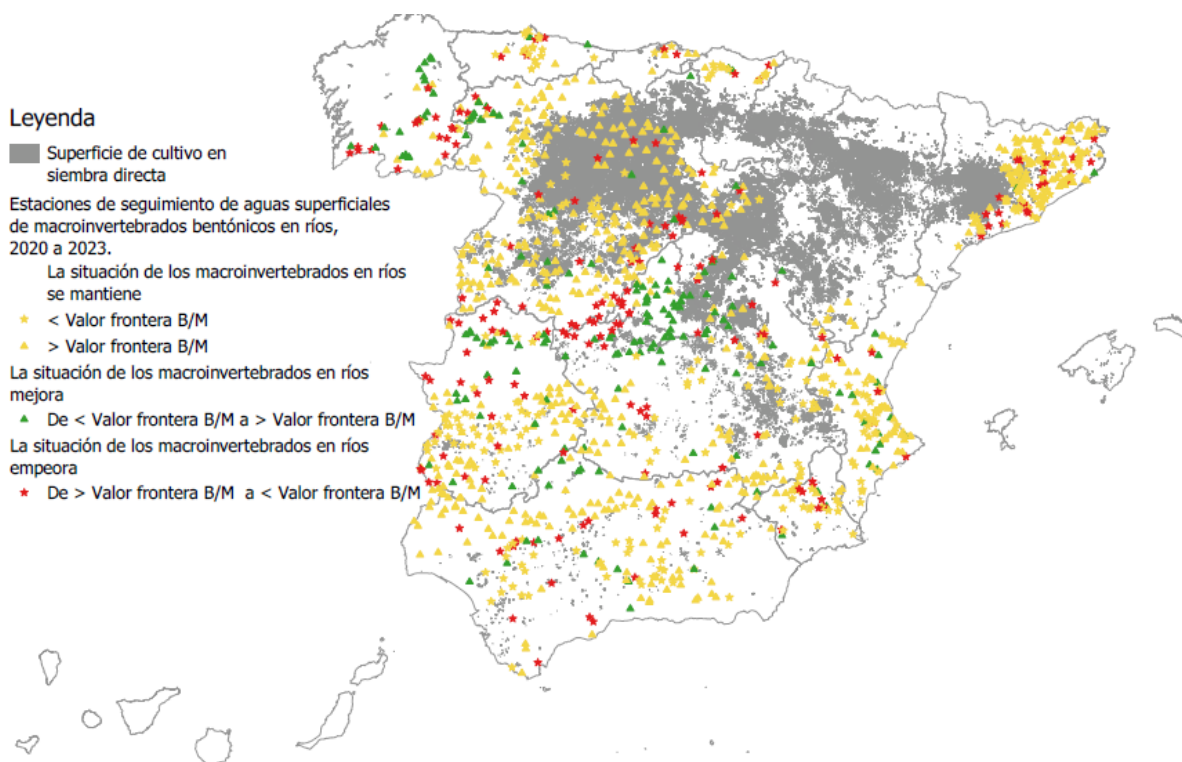
Diferenciando las estaciones en relación a la práctica de siembra directa, de las 1.353 estaciones de seguimiento de fitobentos, 206 se sitúan en superficie de siembra directa y en el resto se considera que la relación con la siembra directa es poco significativa o nula. En el caso de los macroinvertebrados, de las 1.278 estaciones, 208 se sitúan en superficie de siembra directa, considerando el resto sin relación significativa con esta práctica.

Figura 25. Cambio de categoría en las estaciones de seguimiento de fitobentos al comparar 2020-2022 con 2023.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: fitobentos, MITERD y RSU (2023).

Figura 26. Cambio de categoría en las estaciones de seguimiento de macroinvertebrados bentónicos al comparar 2020-2022 con 2023.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: macroinvertebrados bentónicos, MITERD y RSU (2023).

La evolución del indicador biológico de fitobentos en las aguas superficiales (Figura 25 y Tabla 20), **muestra que en los puntos de seguimiento influenciados por la superficie de siembra directa existe un porcentaje mayor de estaciones que mantienen sin cambios el estado de calidad biológico** (84% color amarillo) frente al resto de estaciones (79%). De entre todas las estaciones, el 64,1% de aquellas de siembra directa frente al 55,5% del resto, han mantenido su calidad con un buen estado (> Valor frontera B/M). Además, el 72,8% de las estaciones de siembra directa se encuentran en buen estado, bien porque lo hayan mantenido o lo hayan mejorado (color verde), frente al 64,6% en aquellos puntos no influenciados por la siembra directa.

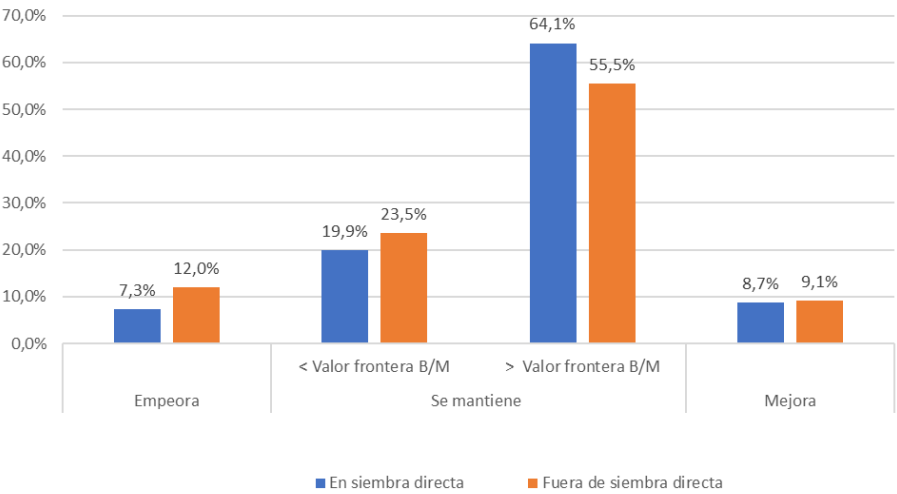
Tabla 20. Cambio de clasificación en las estaciones de seguimiento de fitobentos en función a la superficie de siembra de directa.

		2023 Fitobentos		
		< Valor frontera B/M	> Valor frontera B/M	TOTAL
2020 a 2022 Fitobentos	En siembra directa			
	< Valor frontera B/M	41	18	59
	> Valor frontera B/M	15	132	147
	Total	56	150	206
	Fuera de siembra directa			
	< Valor frontera B/M	269	104	373
	> Valor frontera B/M	137	636	773
	Total	406	740	1.146

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: fitobentos, MITERD. En verde, se mejora la calidad entre 2020 y 2023; amarillo se mantiene igual; rojo empeora la calidad

En relación con los cambios observados en la comparativa entre los dos tipos de prácticas, los datos reflejan que hay un menor porcentaje de porcentaje de puntos influenciados por la siembra directa que evolucionan hacia una mejora del estado de las aguas (8,7% frente 9,1% en convencional) y también una menor proporción de puntos que empeoran su calidad (7,3% frente 12%) (Gráfica 37, Tabla 20).

Gráfica 37. % de estaciones de fitobentos que mejoran, empeoran o se mantienen en superficie de siembra directa o no.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: fitobentos, MITERD.

El indicador biológico de macroinvertebrados (Figura 26 y Tabla 21) en las aguas superficiales presenta una evolución que refleja que aquellos puntos de seguimiento de la superficie de siembra directa presentan un porcentaje superior de estaciones que mantienen el estado de calidad biológico (76,4%) frente al resto de estaciones (71%). A su vez, el 59,6% de las estaciones de directa presentan un buen estado (> Valor frontera B/M) frente al 46,9% del resto.

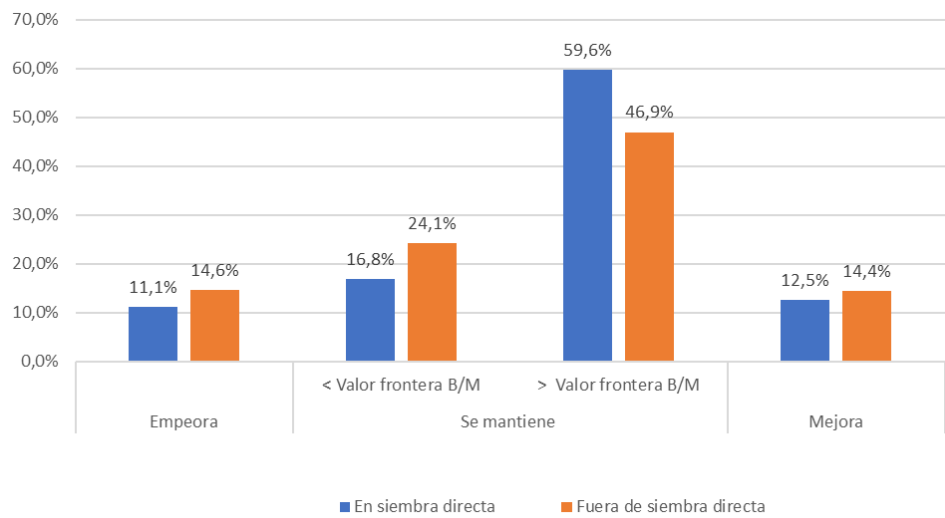
Tabla 21. Cambio de clasificación en las estaciones de seguimiento de macroinvertebrados bentónicos en función a la superficie de siembra de directa.

		2023 (Macroinvertebrados bentónicos)		
		< Valor frontera B/M	> Valor frontera B/M	TOTAL
Periodo 2020 a 2022 Macroinvertebrados bentónicos	En siembra directa			
	< Valor frontera B/M	35	26	61
	> Valor frontera B/M	23	124	147
	TOTAL	58	150	208
	Fuera de siembra directa			
	< Valor frontera B/M	258	154	412
	> Valor frontera B/M	156	502	658
	TOTAL	414	656	1070

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: macroinvertebrados bentónicos, MITERD. En verde, se mejora la calidad entre 2020 y 2023; amarillo se mantiene igual; rojo empeora la calidad

Con respecto a los cambios observados en la comparativa, los datos muestran menor variación en los puntos de la superficie de siembra directa, hacia la mejora del estado de las aguas, del 12,5% en siembra directa frente al 14,4% sin la influencia de la misma, así como una menor pérdida de calidad, del 11,1% en siembra directa frente al 14,6% (Gráfica 38 y Tabla 21).

Gráfica 38. % de estaciones de macroinvertebrados bentónicos que mejora, empeoran o se mantiene en superficie de siembra directo o no.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de los indicadores de Calidad de las Aguas superficiales: macroinvertebrados bentónicos, MITERD.

El análisis estadístico sobre ambos indicadores muestra que hay significatividad estadística en las diferencias observadas entre la siembra directa y el grupo de control, de forma que en los puntos de control de siembra directa hay mayor probabilidad de encontrar mayor biodiversidad de fitobentos y macroinvertebrados (para mayor detalle consultar el anexo V de este documento).

Por tanto, se puede concluir que aparentemente hay una mayor estabilidad en la calidad en el estado biológico de los fitobentos y de los macroinvertebrados bentónicos, en los puntos de detección de aguas superficiales influenciados por la siembra directa, y por tanto, un menor porcentaje de puntos que empeoran la calidad y de los que mejoran la misma, respecto a las prácticas convencionales, lo que puede estar relacionado con la baja movilidad del glifosato y la mejora de la estructura del suelo por la siembra directa, que reduce los elementos de arrastre del mismo.

No obstante, cabe reseñar que en el informe de calidad de las aguas 2010-2023 del MITERD, los datos de fitobentos y macroinvertebrados de 2023 son un poco más desfavorables que para el año previo, pudiendo estar asociado a un incremento de plaguicidas en las aguas como indican varios estudios, como resultado de factores contextuales, que van más allá de la decisión de aplicar siembra directa o agricultura convencional.

Por otro lado, en relación a la biodiversidad del suelo, como componente esencial para el funcionamiento de los ecosistemas, ya que sostiene procesos clave como el ciclado de nutrientes, la descomposición de materia orgánica y la regulación de interacciones planta-microorganismo, se han analizado las conclusiones de diferentes estudios relacionados con la misma. Su composición y dinámica no pueden entenderse a partir de factores aislados, sino del **entramado complejo que surge de la interacción entre propiedades edáficas, condiciones climáticas y cobertura vegetal**. Estudios recientes (Labouyrie et al., 2023)¹⁴¹. evidencian que mientras la diversidad bacteriana responde de manera significativa a la variación de temperaturas en combinación con características del suelo, la diversidad fúngica se encuentra más influida por la vegetación y parámetros específicos como el contenido de arcilla. Además, la diferenciación de comunidades entre sitios (β -diversidad) depende principalmente de la relación entre suelo y vegetación, lo que pone de manifiesto la relevancia de las condiciones locales y estables frente a los factores de largo plazo. Esta complejidad de interacciones refleja la necesidad de enfoques integrados para comprender y conservar la biodiversidad del suelo, reconociendo su papel central en la resiliencia y sostenibilidad de los ecosistemas terrestres.

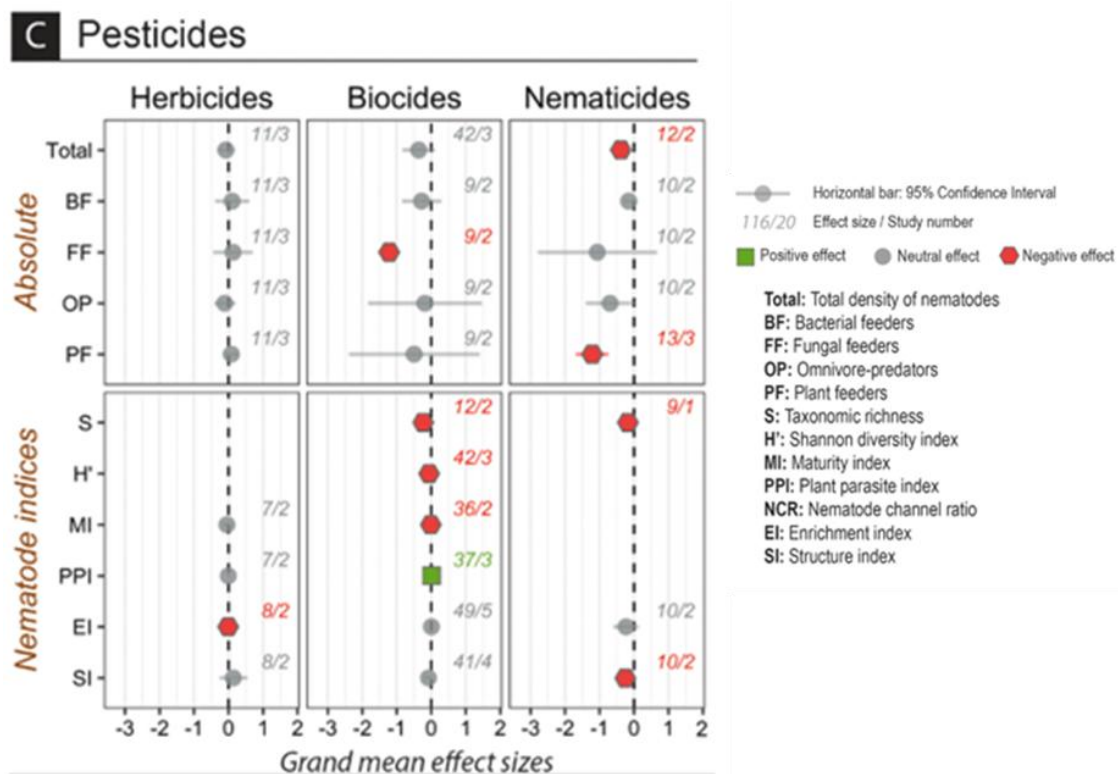
En este sentido, **al evaluar el impacto de la aplicación de plaguicidas, y en particular de herbicidas, sobre la diversidad microbiológica del suelo**, es fundamental **considerar el contexto global de la práctica de siembra directa**. Los efectos de estas aplicaciones no actúan de manera aislada, sino que están condicionados por múltiples variables asociadas a dicho sistema de manejo. Por ello, el impacto final debe entenderse como **el resultado de la**

¹⁴¹ Labouyrie, M., Ballabio, C., Romero, F., Panagos, P., Jones, A., Schmid, M. W., ... & Orgiazzi, A. (2023). Patterns in soil microbial diversity across Europe. *Nature Communications*, 14(1), 3311 ([Patrones en la diversidad microbiana del suelo en Europa - PubMed](#)).

interacción y suma de todos estos factores, más que como la consecuencia exclusiva de cada uno en forma individual.

De manera concreta sobre los herbicidas, un meta-análisis a escala global¹⁴² que se llevó a cabo para evaluar el impacto de diversas prácticas agrícolas sobre las comunidades de nematodos del suelo, los cuales son reconocidos como bioindicadores esenciales de la calidad del suelo, concluye que **los herbicidas, no mostraron efectos significativos sobre las poblaciones de nematodos a escala global**, mientras que los biocidas y nematicidas tuvieron un impacto negativo significativo en las comunidades de nematodos, reduciendo su abundancia total (-32,1%), riqueza taxonómica (-16,6%), diversidad (-6,5%) y la estructura de la red trófica (-22,6 %). En particular, los biocidas disminuyeron más del 50% la abundancia de nematodos fungívoros. Como muestra la Figura 27, los biocidas y nematicidas afectan gravemente la biodiversidad y funcionalidad de los nematodos, mientras que **los herbicidas no tienen efecto sobre estos**.

Figura 27. Impacto de herbicidas, biocidas y nematicidas en comunidades de nematodos del suelo.



Fuente: Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry* (2021)¹⁴².

De manera complementaria, un meta-análisis mundial de Briones y Schmidt (2017)¹⁴³ que engloba 165 estudios hace una comparativa entre las diferentes técnicas de manejo y su efecto sobre poblaciones de lombrices. Enfatizando en el aspecto de los herbicidas, se

¹⁴² Puissant, J., Villenave, C., Chauvin, C., Plassard, C., Blanchart, E., & Trap, J. (2021). Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 161, 108383.

¹⁴³ Briones, M. J. I., & Schmidt, O. (2017). Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global change biology*, 23(10), 4396-4419 [Global Change Biology | Environmental Change Journal | Wiley Online Library](https://doi.org/10.1111/gcb.13888).

concluyó que **el uso de glifosato no mostró impactos significativos en las comunidades de lombrices.**

Por otro lado, el estudio de González Ortega y Fuentes Ponce (2022)¹⁴⁴ hizo una revisión sobre la dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota edáfica. Se concluye que el glifosato y su metabolito AMPA tienen baja movilidad por su alta adsorción, aunque su persistencia y lixiviación dependen de factores como la materia orgánica, la lluvia, la temperatura, el pH y la textura del suelo, en concreto las arcillas. La diferente conductividad hidráulica que existe en los suelos en función de las prácticas agrarias aplicadas también influye en el movimiento del glifosato en el suelo, así como los residuos de cosecha que se dejan sobre la superficie del suelo, que hacen que tanto el glifosato como su metabolito aumenten su tiempo de vida respecto a su permanencia en el suelo. **La presencia de biomasa microbiana también incide en que la degradación del herbicida aumente,** observándose este aspecto en suelos con bajo contenido de materia orgánica, al adicionar compost.

En relación a la microbiota del suelo, este estudio apunta que se estima que variables como la formulación comercial, dosis aplicadas, tiempo de exposición a los herbicidas, pH, concentraciones de fósforo, materia orgánica y mineralogía del suelo, y presencia o ausencia de plantas en el sistema, entre otras, influyen en la actividad metabólica o la biomasa cuantificada en el sistema edáfico¹⁴⁵. **Los efectos del glifosato en la microbiota del suelo dependen de varios factores: la formulación comercial y concentración del herbicida, el tiempo de exposición de la microbiota y la física y química del suelo.** De manera general, ante la exposición a herbicidas con glifosato, la composición de la comunidad bacteriana del suelo sufre cambios adaptativos que favorecen la prevalencia de especies tolerantes al glifosato¹⁴⁶ con efectos potenciales en la capacidad o eficiencia de la microbiota del suelo para completar los ciclos del carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P).

Respecto a la biodiversidad, este mismo estudio hace referencia a que el glifosato tiene efectos complejos en la biodiversidad del suelo: en bacterias puede inhibir o estimular su actividad y favorecer la resistencia a antibióticos (como en *E. coli* y *Salmonella*); en hongos, provoca inhibición del crecimiento, reducción de micorrizas y toxicidad genética y metabólica (como en *Aspergillus nidulans*).

Este estudio también apunta que las investigaciones sobre el efecto toxicológico del glifosato en especies de **lombrices no son concluyentes**, aunque la evidencia parece indicar que el glifosato sí ejerce toxicidad en estos anélidos, en una línea similar a la recogida por Briones y Schmidt. No obstante, señala que, en condiciones de laboratorio, se ha sugerido que el glifosato afecta, entre otros procesos metabólicos, las vías de regulación del estrés oxidativo (afectando la ruta de la enzima acetilcolinesterasa), ejerciendo un efecto toxicológico crónico y no letal en especies de lombrices como *E. hortensis*.

¹⁴⁴ [González Ortega, E., & Fuentes Ponce, M. H. \(2022\). Dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota. Revista internacional de contaminación ambiental, 38.](#)

¹⁴⁵ [Nguyen et al. 2016](#), citado por González Ortega.

¹⁴⁶ [Jacobsen y Hjelmsø 2014](#), citado por González Ortega.

En conclusión, los efectos de los herbicidas en la biodiversidad no pueden observarse de manera aislada, ya que esta está influenciada por multitud de aspectos entre los que son importantes las prácticas agrarias, la cobertura vegetal, las propiedades edáficas y las condiciones climáticas, entre otros. En este sentido, **al evaluar el impacto de la aplicación de plaguicidas, y en particular de herbicidas, sobre la diversidad microbiológica del suelo**, es fundamental **considerar el contexto global de la práctica de siembra directa**. Los efectos de estas prácticas no actúan de manera aislada, sino que están condicionados por múltiples variables asociadas a dicho sistema de manejo. Por ello, el impacto final debe entenderse como **el resultado de la interacción y suma de todos estos factores**, más que como la consecuencia exclusiva de cada uno en forma individual.

Por otro lado, en el ámbito de la biodiversidad vinculada a la calidad del agua, en los puntos influenciados por la siembra directa existe una estabilidad mayor en el indicador biológico de fitobentos (del 84% en siembra directa frente al 79%), un porcentaje menor de puntos que empeoran su calidad (de 7,3% en siembra directa frente al 12%) y también menor de puntos que mejoran su calidad entre 2020 y 2023 (de 8,7% frente al 9,1%).

En relación con el indicador biológico de macroinvertebrados bentónicos en las aguas superficiales, también en los puntos influenciados por la **siembra directa existe una estabilidad mayor en el indicador** (del 76% en siembra directa frente al 71%), un **porcentaje menor de puntos que empeoran su calidad (de 11% en siembra directa frente al 14,6%) y también menor de puntos que mejoran su calidad entre 2020-22 y 2023 (de 12,5% frente al 14,4%)**.

Así mismo, las conclusiones sobre la biodiversidad obtenidas con el **proyecto SoilBIO**¹⁴⁷ centrado en evaluar la biodiversidad y salud del suelo en sistemas herbáceos extensivos de secano en España con datos de los años 2023 y 2024, apuntan que **aunque se emplee más herbicida en la siembra directa respecto a la agricultura convencional, el resto de prácticas aplicadas como son la ausencia del laboreo, el mantenimiento de la cubierta vegetal y del rastrojo y la rotación de cultivos, están compensando un posible efecto negativo, ya que se observa que la siembra directa aumenta la abundancia, riqueza y diversidad de la mesofauna en los suelos de climas mediterráneos**. También señala que las lombrices sólo estaban presentes en ambientes húmedos manejados con siembra directa (sin labranza del suelo), en comparación con el cultivo convencional. Los investigadores de este estudio señalan que los efectos de herbicidas podrían estar causando una menor presencia de ácaros jóvenes. Estas conclusiones refuerzan las aportaciones de la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV), y del resto de bibliografía, con las que se recomienda analizar la siembra directa de manera holística, ya que los efectos de algunos aspectos se están compensando y/o reforzando con otras prácticas consideradas en la técnica de siembra directa, como por ejemplo el mayor empleo aparente de herbicidas

¹⁴⁷ [SoilBIO](#)

Luna Medrano *et al.*, (2025) Multiple Sustainable Practices Are Crucial for Enhancing the Provisioning of Agroecosystem Services Worldwide. Ecology Letters <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ele.70276>

vs la reducción del laboreo, la permanencia del rastrojo y la cobertura del suelo, que generan otros resultados en condiciones de humedad, temperatura, materia orgánica, etc.

En este contexto, se señala que el uso de **plaguicidas**, y en especial de **herbicidas** como el glifosato, plantea un escenario más complejo y contradictorio en la biodiversidad del suelo. No obstante, los hallazgos sobre el herbicida glifosato subrayan que, a diferencia de la siembra directa y sus prácticas asociadas, **el uso de herbicidas representa un factor de riesgo que debe evaluarse cuidadosamente en términos de acumulación, dosis y contexto edáfico.**

9.1.3. Factor de Éxito 3: La Gestión de herbicidas en la siembra directa incide en la calidad del agua

El análisis llevado a cabo permite señalar las siguientes conclusiones:

- Durante el periodo que transcurre entre 201-2022 y 2023-2024, en aguas superficiales, del total de 48 herbicidas, en 23 de ellos la evolución de la concentración es más favorable cuando se trata de puntos no ubicados en zonas de siembra directa y en otros 25 la evolución es más favorable cuando se trata de puntos ubicados en zonas donde se realiza la práctica de siembra directa.
- La concentración de glifosato y el AMPA (su metabolito) presenta un valor medio inferior y disminuye mucho más en zonas de influencia de la siembra directa.
- En aguas subterráneas no parece haber diferencias significativas entre la siembra directa y la agricultura convencional en la influencia en el contenido de glifosato.
- **Es necesario tomar con prudencia los resultados obtenidos sobre la incidencia de la siembra directa en la calidad del agua, al considerar en los análisis una serie tan corta de tiempo.**

A través de este factor de éxito se pretende indagar sobre si el empleo de herbicidas en la siembra directa incide en la calidad del agua, teniendo en cuenta el uso que se hace de los mismos en cuanto a cantidades y toxicidad.

La Comisión europea no ha definido un indicador de calidad de aguas vinculado con la práctica de la siembra directa. Por ello, para valorar en qué medida la gestión de herbicidas en la siembra directa incide en la calidad del agua, se propone estudiar el indicador adicional, diseñado de manera específica para esta evaluación, **detección del riesgo por herbicidas**, que analiza la variación de la concentración de los diferentes herbicidas en las aguas superficiales y subterráneas en los puntos influenciados por la siembra directa frente aquellos puntos que no lo están o su influencia se considera poco significativa. La fuente de información para el desarrollo de este indicador tiene como base los análisis de las concentraciones de las aguas del MITERD, sobre el diagnóstico de la contaminación por plaguicidas en España¹⁴⁸.

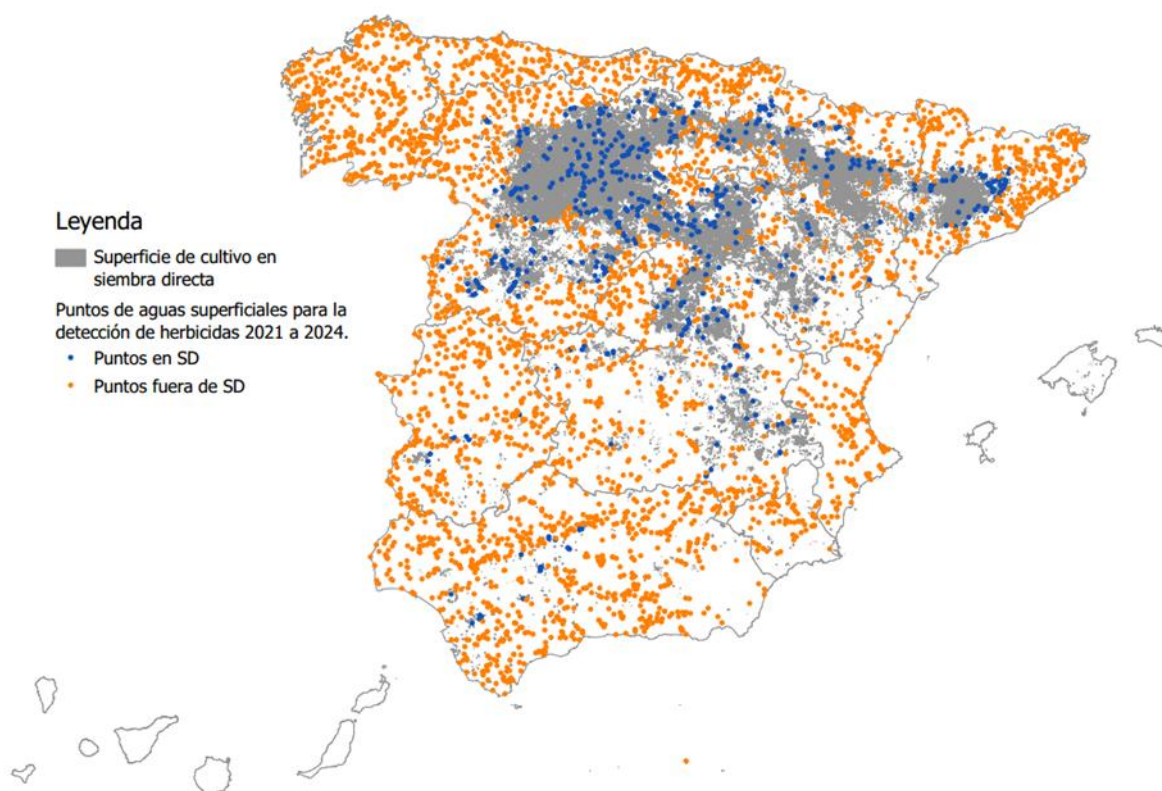
¹⁴⁸ Datos de calidad de aguas incluidos en NABIA: https://sede.miteco.gob.es/portal/site/seMITECO/ficha-procedimiento?procedure_suborg_responsable=89&procedure_etiqueta_pdu=null&procedure_id=775&by=theme

El análisis se ha abordado de manera diferenciada entre aguas superficiales y subterráneas. Además, se ha tratado en primer lugar un análisis general de todos los puntos de manera conjunta para posteriormente diferenciar el análisis entre prácticas (siembra directa y resto de prácticas agrarias). Se han analizado herbicidas de manera general y también se ha particularizado en el caso del glifosato y su metabolito *ácido Aminometilfosfónico* (AMPA). Para estas dos sustancias se ha realizado un estudio de caso en dos zonas concretas para comparar la siembra directa y la agricultura convencional.

Aguas superficiales

Una vez se ha aplicado la metodología expuesta en el Anexo I. Metodología. Técnicas aplicadas, se observa que, del total de puntos de detección de herbicidas, en 3.117 se dispone de información de las anualidades 2021-2022 antes del inicio del PEPAC y 2023-2024 años, en los que ya se aplica el PEPAC, aunque en 99 puntos de detección no ha sido posible su identificación cartográfica, por lo que se han excluido del análisis. A continuación, se muestran los puntos de detección considerados para el análisis.

Figura 28. Puntos de detección de aguas superficiales con presencia de herbicida en el periodo 2021 a 2024, próximos o no a siembra directa.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

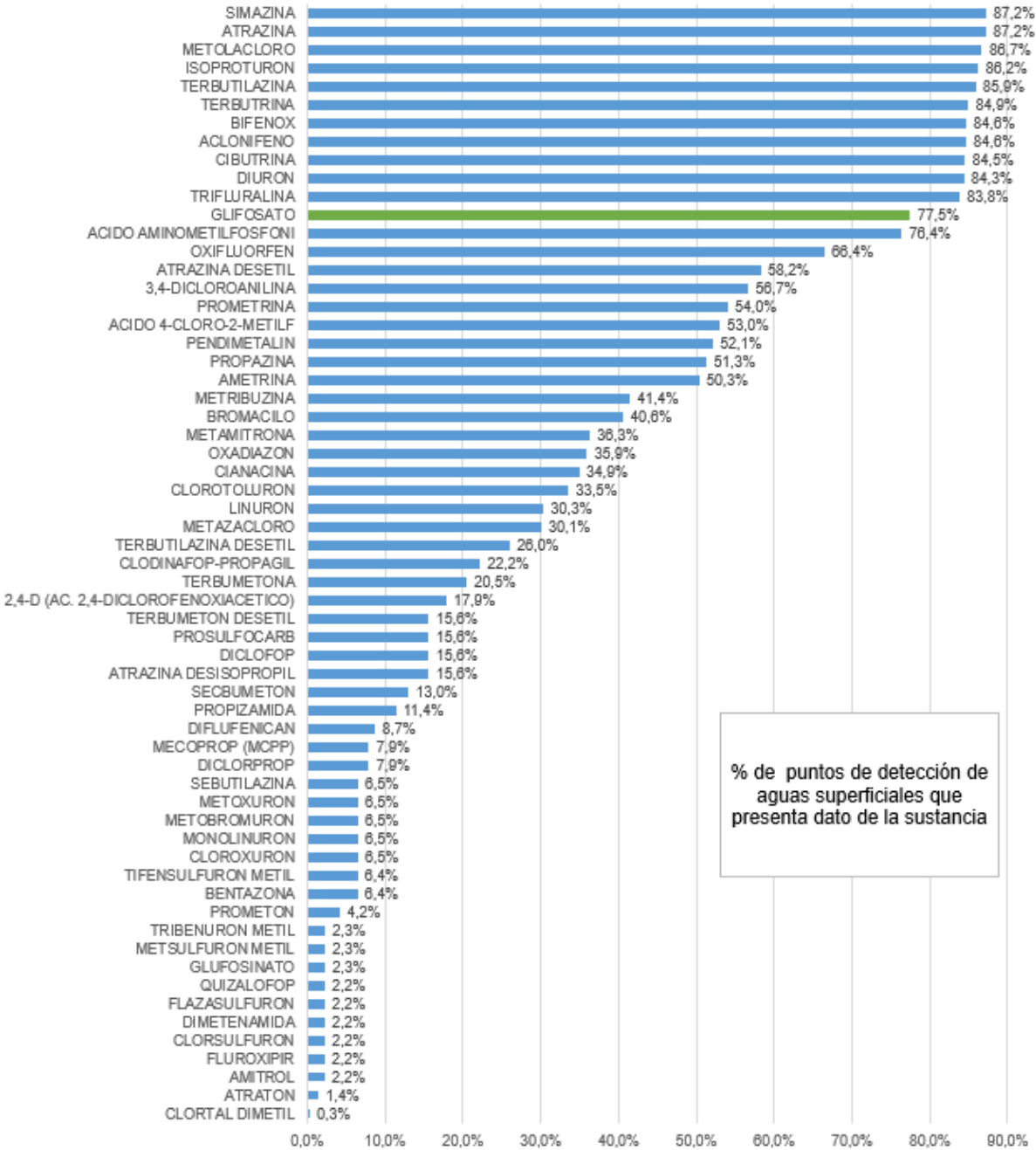
De todos los herbicidas (98) del Anexo III. Herbicidas empleados, sólo para 61 de ellos (Gráfica 39), se dispone de información en alguna de las anualidades 2021 y/o 2022 y también en alguna de las anualidades de 2023 y/o 2024, en un mismo punto de detección, de forma que se puede estimar la situación “antes” y “después” de la aplicación de la siembra directa, y abordar el análisis del posible cambio en la concentración de herbicidas en las aguas superficiales derivado de la implementación de la siembra directa.

En la Gráfica 39 se representa el porcentaje de puntos de detección donde se tiene registro de cada uno de los herbicidas, respecto al total de 3.117. Debido a que el **glifosato** es el herbicida más usado en España¹⁴⁹ (y en el mundo), en agricultura, silvicultura y en el mantenimiento de infraestructuras viarias, se ha tenido especial consideración en el análisis, y como se observa, está **presente en el 77,5% de los puntos de detección empleados en el análisis**. La degradación del glifosato en el medio ambiente genera el metabolito AMPA (*ácido aminometilfosfónico*).

La información proporcionada por el MITERD, indica que los datos del control en aguas muestran riesgo por glifosato tanto en aguas superficiales y subterráneas, detectándose actualmente en bastantes puntos de control de los programas de seguimiento. Como prueba de ello, **en el año 2020, el 36% de los puntos de muestreo de aguas superficiales superaron el valor 0,1 µg/l de concentración de glifosato en agua y en el año 2021, el 31% de los puntos de muestreo de aguas superficiales.**

¹⁴⁹ https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/estado-plaguicidas/estado-de-los-plaguicidas-glifosato/2022/Informe%20sobre%20Glifosato_Julio%202023.pdf

Gráfica 39. Proporción de puntos de detección en aguas superficiales en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024 (%).

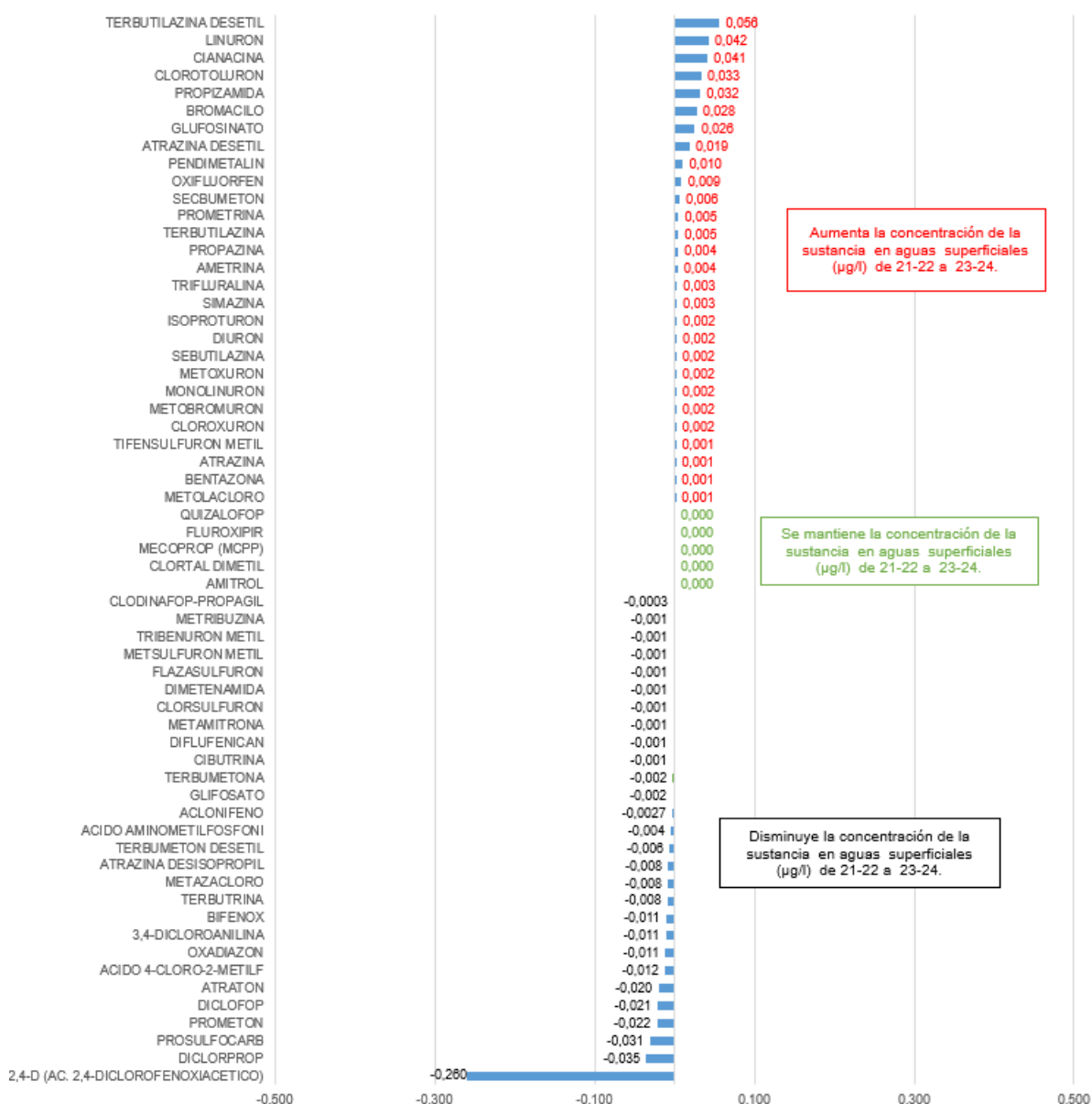


Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

En el análisis realizado, al obtener la diferencia de las medias del periodo 2021-2022 y 2023-2024 (Gráfica 40), se observa que en 27 de los herbicidas se produce una variación media a la baja. En otros 5 herbicidas las concentraciones se mantienen sin variación. En los 29 herbicidas restantes se observa un aumento de las concentraciones en aguas superficiales. Además, la diferencia de medias de 7 herbicidas muestra que la concentración se ha incrementado en más de 0,025 µg/l al comparar 2021-22 con 2023-24, siendo la *Terbutilazina desetil* y *Linuron*, los que mayor variación presentan en este periodo, que están presentes en el 26,01% y en 30,1% de los puntos respectivamente, en las aguas superficiales. El resultado para el **glifosato muestra que ha disminuido la concentración media durante este**

periodo en 0,0019 µg/l, nota relevante ya que está presente en el 77,5% de los puntos de detección y su metabolito, el AMPA, en 0,004 µg/l.

Gráfica 40. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección (media 2023-2024 menos media 2021-2022 (µg/L)).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024). Los herbicidas con la etiqueta roja incrementan la concentración en el periodo de referencia, aquellos con la etiqueta verde la mantienen y el herbicida con la etiqueta negra, disminuye la concentración.

De los 3.117 puntos de detección que disponen de información en las anualidades 2021-2022, previas a la implementación del PEPAC y 2023-2024, tras su aplicación, 414 se sitúan en superficie de siembra directa, el 13,2%. En el resto de puntos, excepto 48 puntos no cartografiados, se considera que la relación con la superficie de siembra directa es poco significativa o nula.

Estaciones en superficie de siembra directa

En los 414 puntos de detección ubicados en superficies de siembra directa se dispone de información de 48 herbicidas y ningún punto dispone de información de las siguientes sustancias: atraton, clortal dimetil, prometon, mecoprop (mcpp), amitrol, clorsulfuron, dimetenamida, flazasulfuron, fluroxipir, metsulfuron metil, quizalofop, tribenuron metil y de diclorprop. Como se observa en la Gráfica 41, **el glifosato está presente en el 87,7% de los puntos influenciados por la siembra directa.**

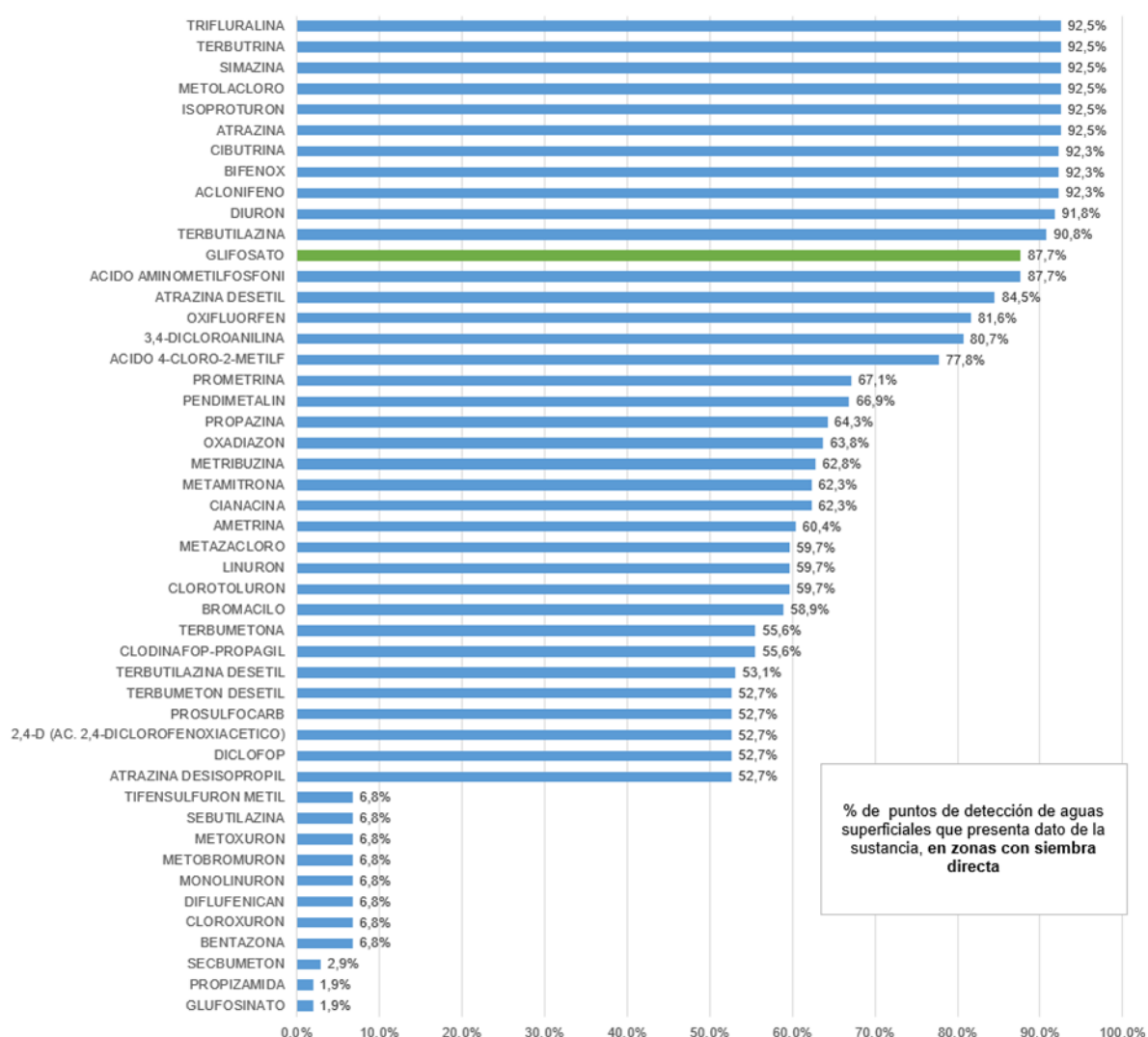
Como se cita por el MITERD¹⁵⁰, el glifosato es químicamente estable en el agua y no está sujeto a degradación fotoquímica. La baja movilidad del glifosato en el suelo indica un potencial mínimo de contaminación de aguas subterráneas. Sin embargo, **el glifosato puede llegar a las aguas superficiales y subsuperficiales tras el uso directo en las cercanías de medios acuáticos o por escorrentía o lixiviado tras su aplicación en el suelo.**

De esta forma, aquellas **prácticas aplicadas en agricultura que reduzcan la escorrentía y el lixiviado, evitarán la contaminación al menos, en aguas superficiales.** En el caso de la siembra directa, aunque la literatura de referencia¹⁵¹ y las fuentes entrevistadas, como el caso de la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos, indican que aunque **se realizan entre 1 a 4 tratamientos adicionales de este herbicida respecto a la agricultura convencional, con una mayor frecuencia de 2 tratamientos, generalmente entre la cosecha y la siembra del siguiente cultivo, las prácticas dirigidas a la gestión del suelo** como de laboreo y el mantenimiento de una cubierta vegetal durante todo el año, están contribuyendo directamente a reducir las causas que favorecen la llegada de glifosato a las aguas superficiales y subterráneas.

¹⁵⁰ https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/estado-plaguicidas/estado-de-los-plaguicidas-glifosato/2022/Informe%20sobre%20Glifosato_Julio%202023.pdf.

¹⁵¹ La literatura es abundante, pero entre ella recogemos el proyecto Agromitiga, o la información proporcionada [Redes TECO- Red Cultivos](#), entre otros

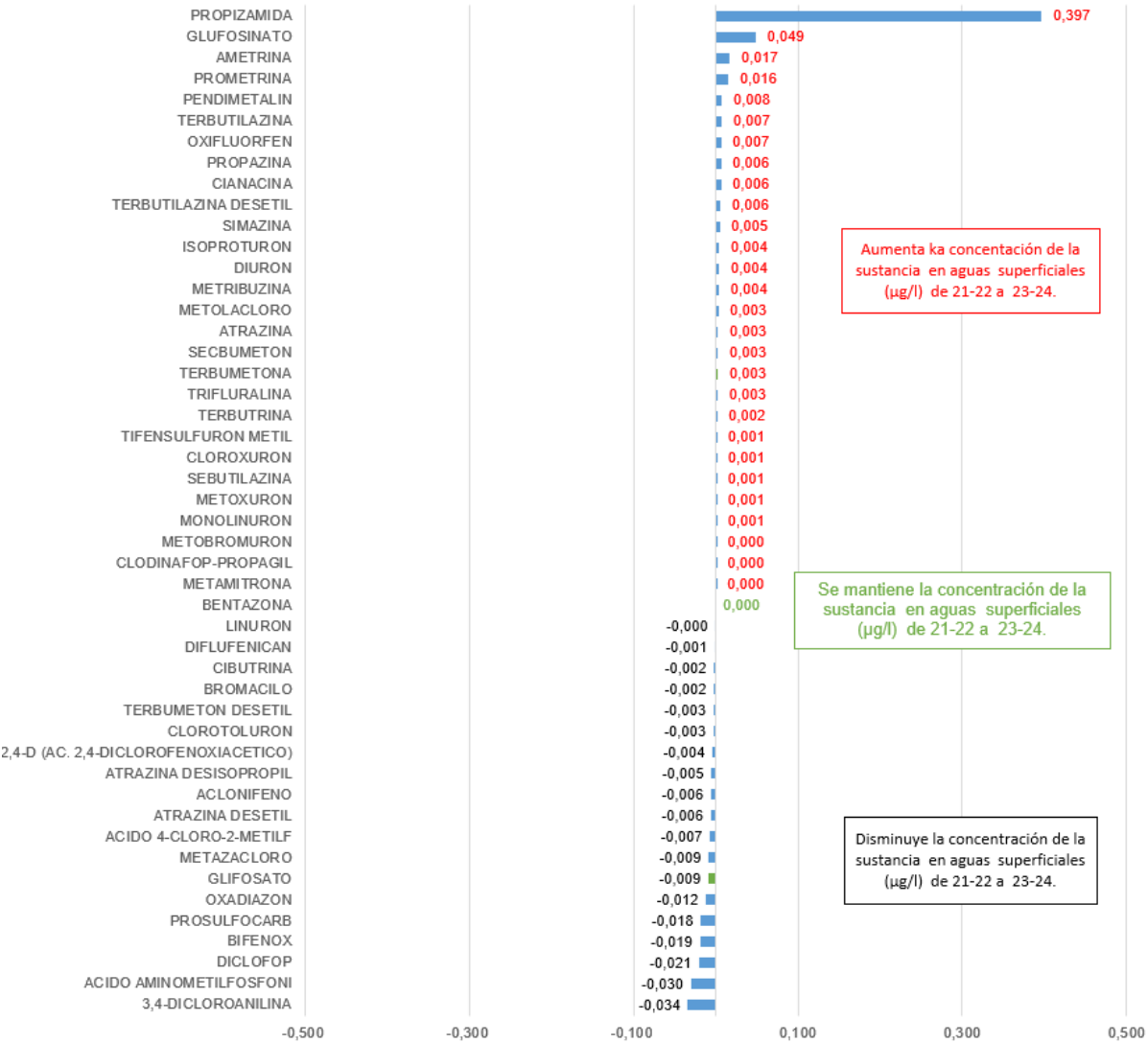
Gráfica 41. Proporción de puntos de detección en aguas superficiales en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024. Puntos en siembra directa.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

Considerando la diferencia de medias en los puntos de detección de siembra directa, del mismo modo que sucede en el conjunto de puntos, se observa un aumento de la concentración de herbicidas en 28 de las sustancias detectadas, un descenso en 19 de los herbicidas y en uno de ellos se mantiene la concentración. **En este caso, en el glifosato se registra un descenso de 0,009 µg/L y de 0,03 µg/L en su metabolito.**

Gráfica 42. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección en siembra directa (media 2023-2024 menos media 2021-2022 (µg/L)).

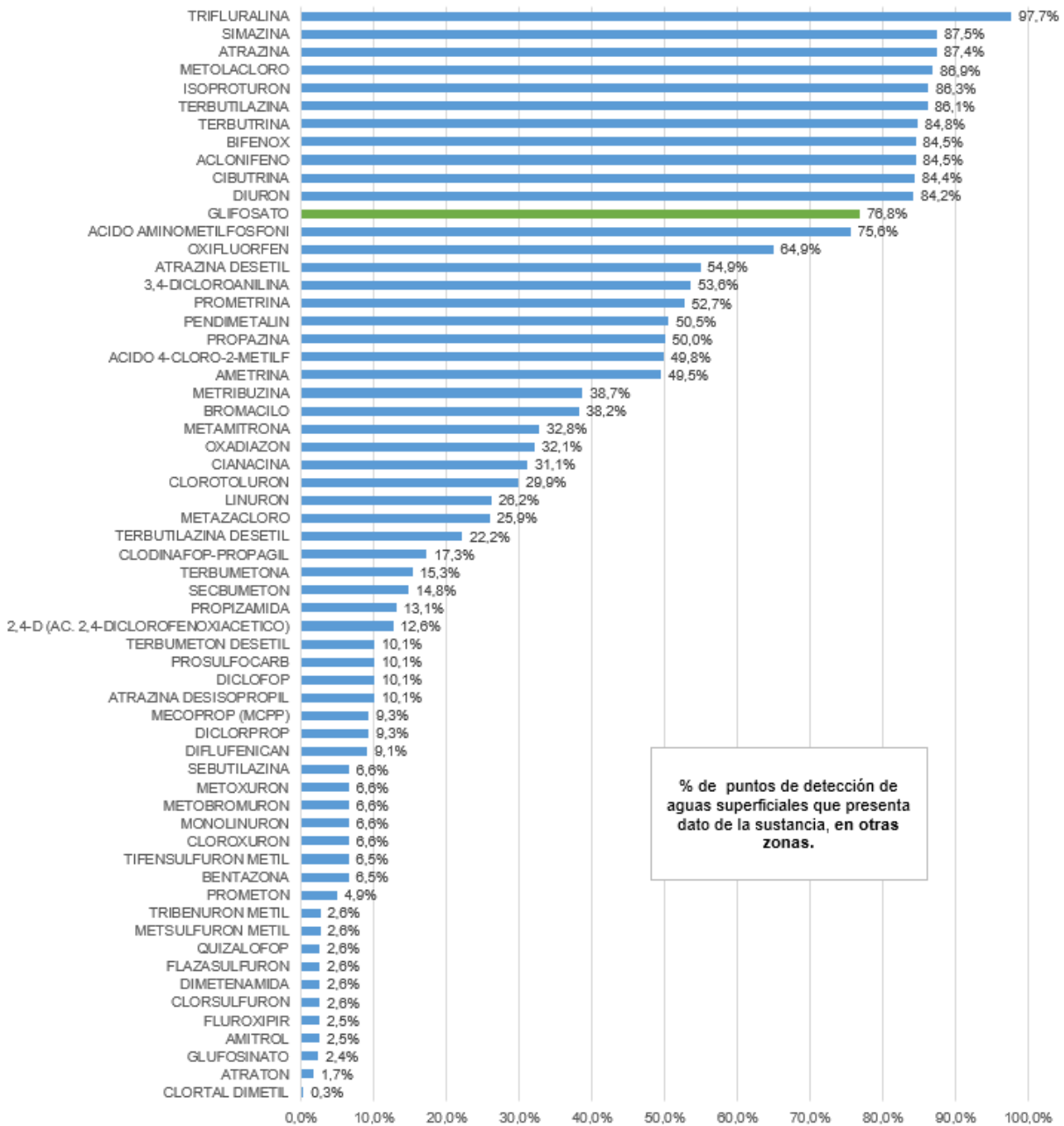


Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

Estaciones fuera de la superficie de siembra directa

En los 2.655 puntos de detección que **no están influenciados por la siembra directa** se dispone de información de los 61 herbicidas, como se muestra en la siguiente Gráfica 43. Como se observa, **el glifosato está presente en el 76,8% de los puntos, en menor proporción que los cuantificados para la siembra directa, que resultaba en 87,7%.**

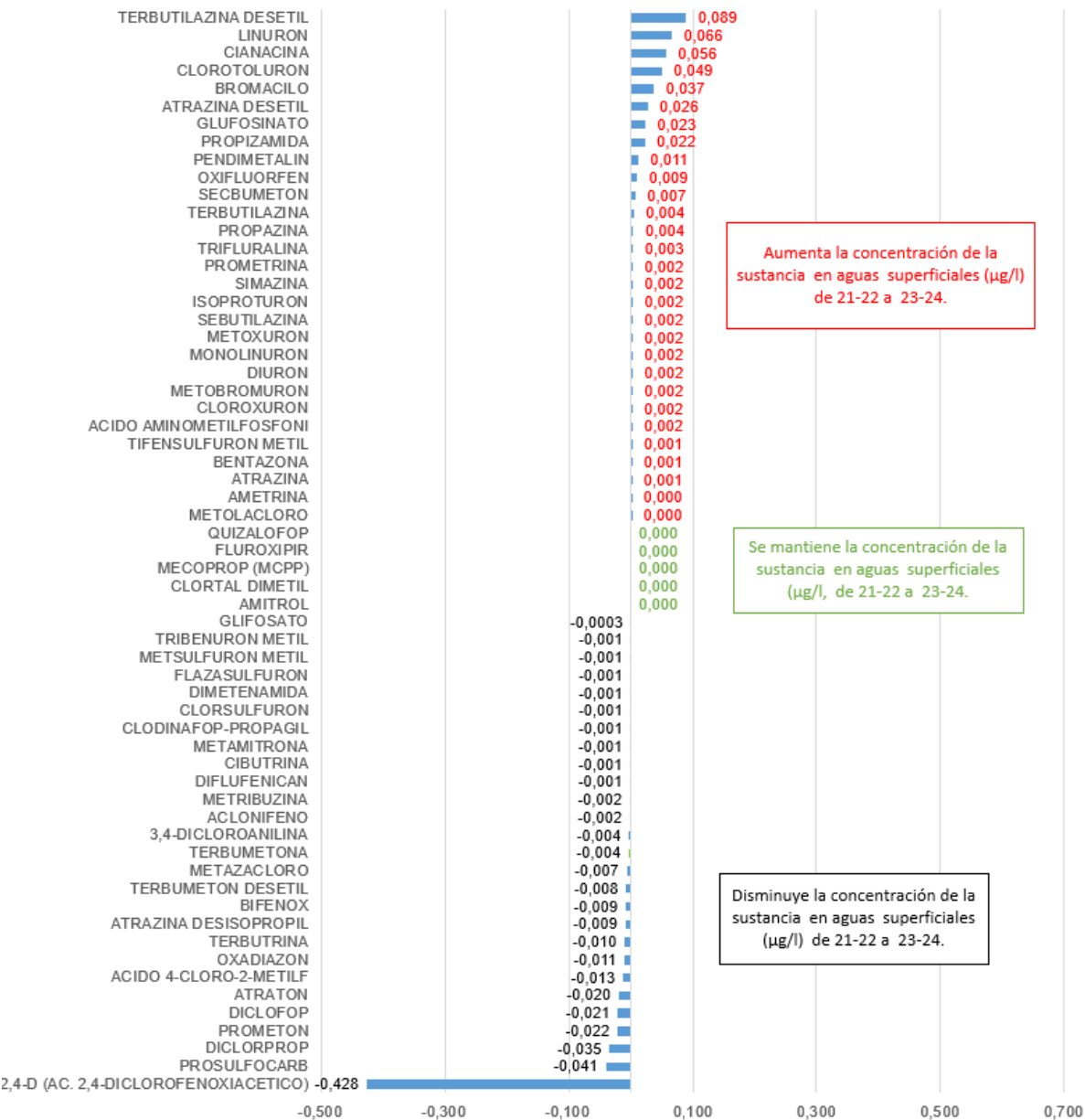
Gráfica 43. Proporción de puntos de detección en aguas superficiales en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024. Puntos no ubicados en siembra directa.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

Es estos 2.655 puntos de detección se observa que sólo 5 herbicidas mantienen la misma concentración que en 2021-2022, en 29 herbicidas se registra un aumento en la concentración, y en 27 esta concentración disminuye. En el caso del **glifosato se observa una disminución de la concentración en las aguas superficiales de 0,0003 µg/L, inferior a los 0,009 µg/L estimados para las zonas de siembra directa y para su metabolito, se registra un aumento de 0,002 µg/L.**

Gráfica 44. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección fuera de siembra directa (media 2023-2024 menos media 2021-2022 (µg/L)).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

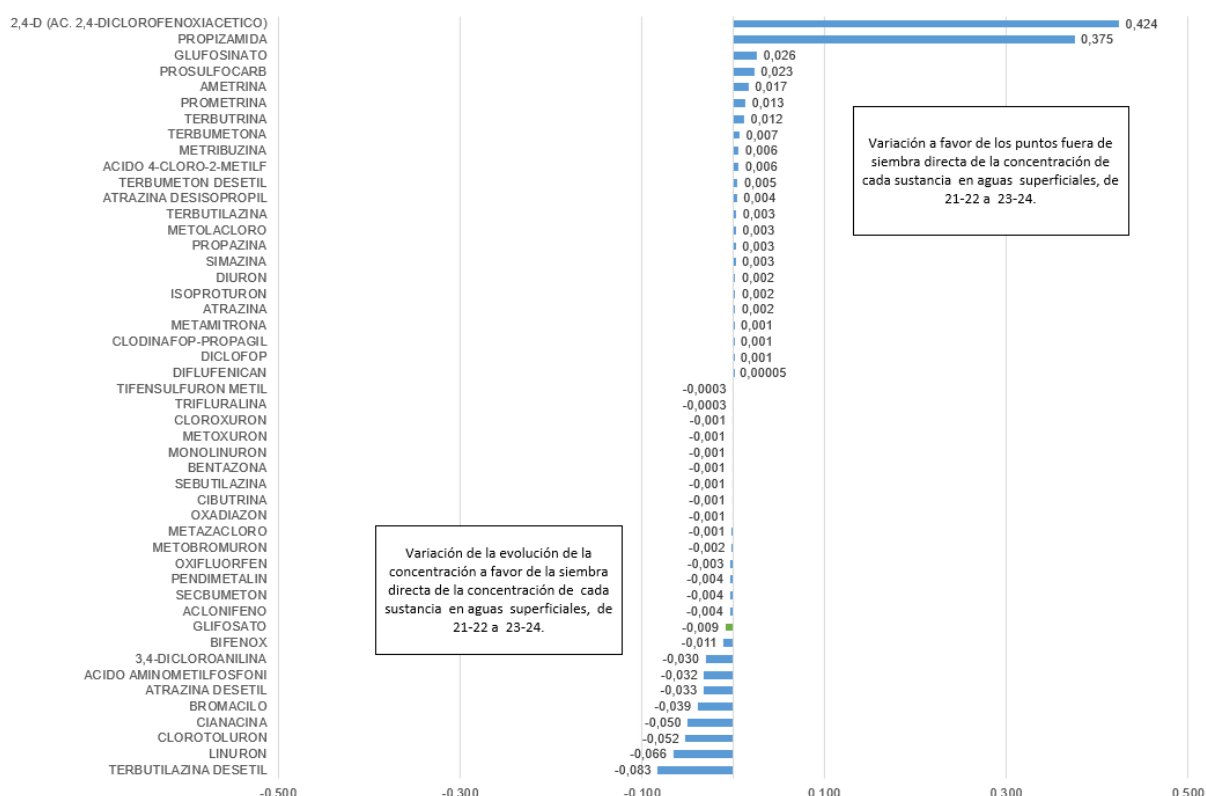
Diferencia de evolución en las concentraciones en las estaciones en superficie de siembra directa respecto a aquellas que no están en siembra directa.

Del análisis por compuesto herbicida, se observa que, del total de 48 herbicidas, en 23 ellos la evolución de la concentración es más favorable cuando se trata de puntos no ubicados en zonas de siembra directa y en otros 25 la evolución es más favorable cuando se trata de puntos ubicados en zonas donde se realiza la práctica de siembra directa.

En el caso del glifosato, aunque tanto en siembra directa como en no siembra directa hay una evolución descendente en la concentración de aguas superficiales, esta desciende mucho más en el caso de siembra directa, de 0,009 µg/L frente a 0,0003 µg/L respectivamente. No obstante, al aplicar el modelo estadístico de manera anual para

analizar la significatividad, se observa en esta muestra que el descenso es más pronunciado en los puntos de fuera de siembra directa y es significativo¹⁵². En el caso de su metabolito AMPA, en los puntos donde no hay influencia de siembra directa se produce un aumento de la concentración, de 0,002 µg/L y para zonas con siembra directa una disminución de 0,030 µg/L, por lo que existe un diferencial de 0,032 µg/L. En este resultado, podría estar influyendo el impacto de la siembra directa en la reducción de la erosión y atenuación de escorrentía, lo que a su vez mitiga el arrastre de los productos fitosanitarios hacia dichas aguas superficiales, entre otros factores, como apuntan las fuentes consultadas.

Gráfica 45. Diferencias en la evolución de los herbicidas entre los puntos de siembra directa y el resto de puntos (µg/L)). Aguas superficiales.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024). Cada herbicida muestra la diferencia obtenida en la variación de las medias de la concentración en siembra directa en el periodo menos aquella de los puntos no influenciados por la siembra directa.

El modelo estadístico aplicado (para más detalle consultar el Anexo V) muestra que **los puntos de detección influenciados por la siembra directa presentan un valor promedio de glifosato (µg/l) significativamente menor** que aquellos catalogados como no siembra directa, a excepción del año 2023. Además, en cuanto a la evolución temporal, se observa **un descenso significativo en la cantidad de glifosato a lo largo del tiempo en ambos tratamientos**. Sin embargo, las variaciones anuales son más pronunciadas en las explotaciones fuera de siembra directa que aquellas bajo siembra directa. Además, existen

¹⁵² Las diferencias entre ambos análisis residen en el que mientras en el primero se han empleado diferencias de los datos de las estaciones que tienen información antes y después del PEPAC, en el modelo estadístico se han considerado todas las estaciones, indistintamente de que tengan datos antes y después simultáneamente.

diferencias significativas que apuntan a **una menor cantidad media de glifosato en las aguas superficiales entre la siembra directa que la agricultura convencional**. En ambos casos se producen descensos de la cantidad media a lo largo del periodo de referencia.

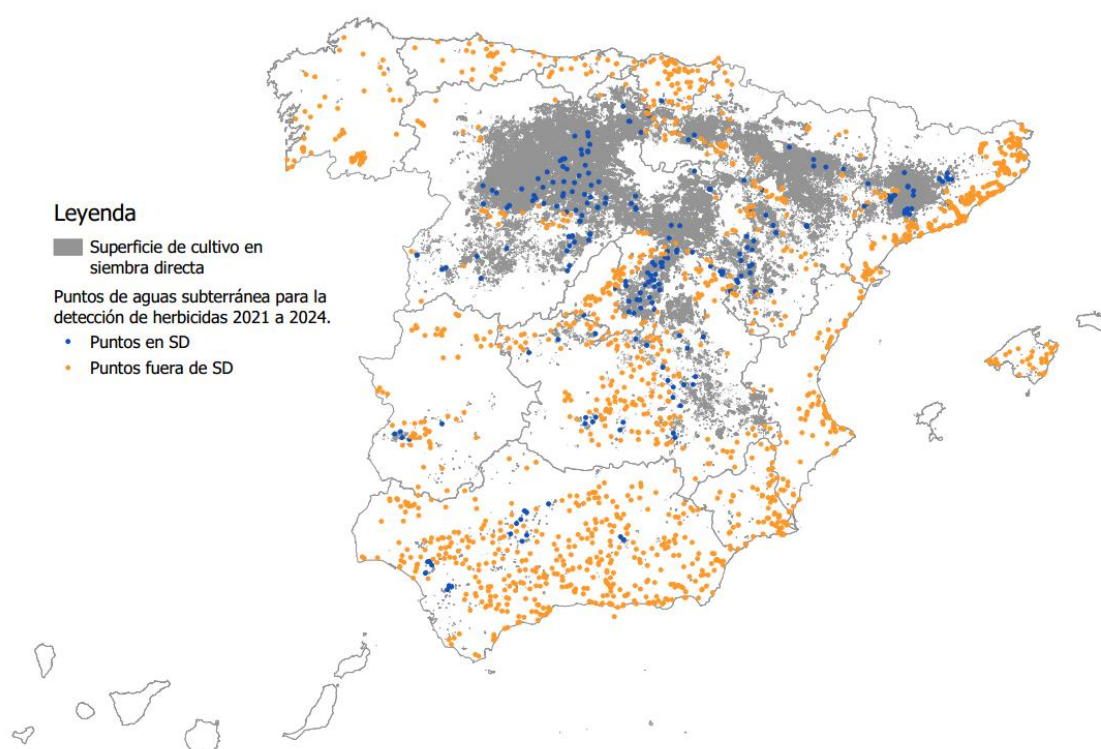
También, los puntos de detección en **aguas superficiales influenciados por la siembra directa presentan un valor promedio de AMPA ($\mu\text{g/l}$) significativamente menor** que aquellas catalogadas como no siembra directa.

en aguas superficiales también se observan diferencias significativas en la cantidad de AMPA detectada en los puntos de control, con menores concentraciones en aquellos influenciados por la siembra directa, respecto a la agricultura convencional, y aunque hay una disminución de la concentración en 2024 respecto al año inicial de la serie, no hay una tendencia claramente definida.

Aguas subterráneas

Del total de puntos de detección de herbicidas, en 1.371 se dispone de información de las anualidades 2021-2022 antes del inicio del PEPAC y 2023-2024 después del inicio, aunque de ellos se han excluido 139 puntos de detección para los que no ha sido posible su ubicación cartográfica. A continuación, se muestran los puntos de detección considerados para el análisis.

Figura 29. Puntos de detección de aguas subterráneas con presencia de herbicida en el periodo 2021 a 2024, próximos o no a siembra directa.



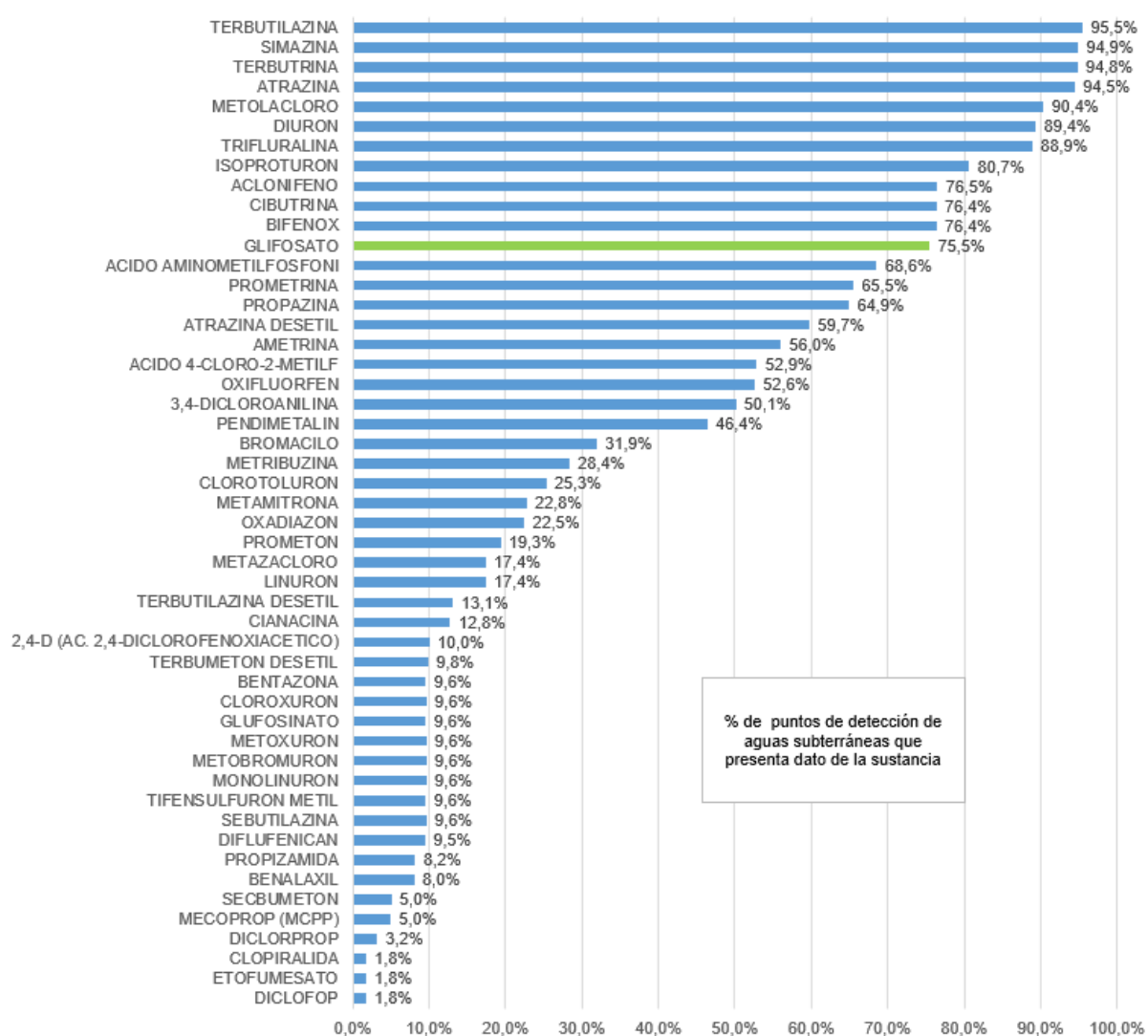
Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

De todos los herbicidas del Anexo III. Herbicidas empleados, para 50 de ellos, se dispone de información en alguna de las anualidades 2021 y/o 2022 y también en alguna de las anualidades de 2023 y/o 2024. Es decir, se dispone de información sobre el antes y después

de la implementación de la práctica de siembra directa, por lo que se puede hacer una comparativa entre ambos periodos para analizar el cambio en la concentración de herbicidas en las aguas subterráneas derivado de la implementación de la siembra directa.

En la siguiente gráfica se representa el porcentaje de puntos de detección, respecto al total de 1.371 en total, donde se tiene registro de cada uno de los herbicidas. Se observa que **en el 75,5% de los puntos de aguas subterráneas se detecta la presencia de glifosato**.

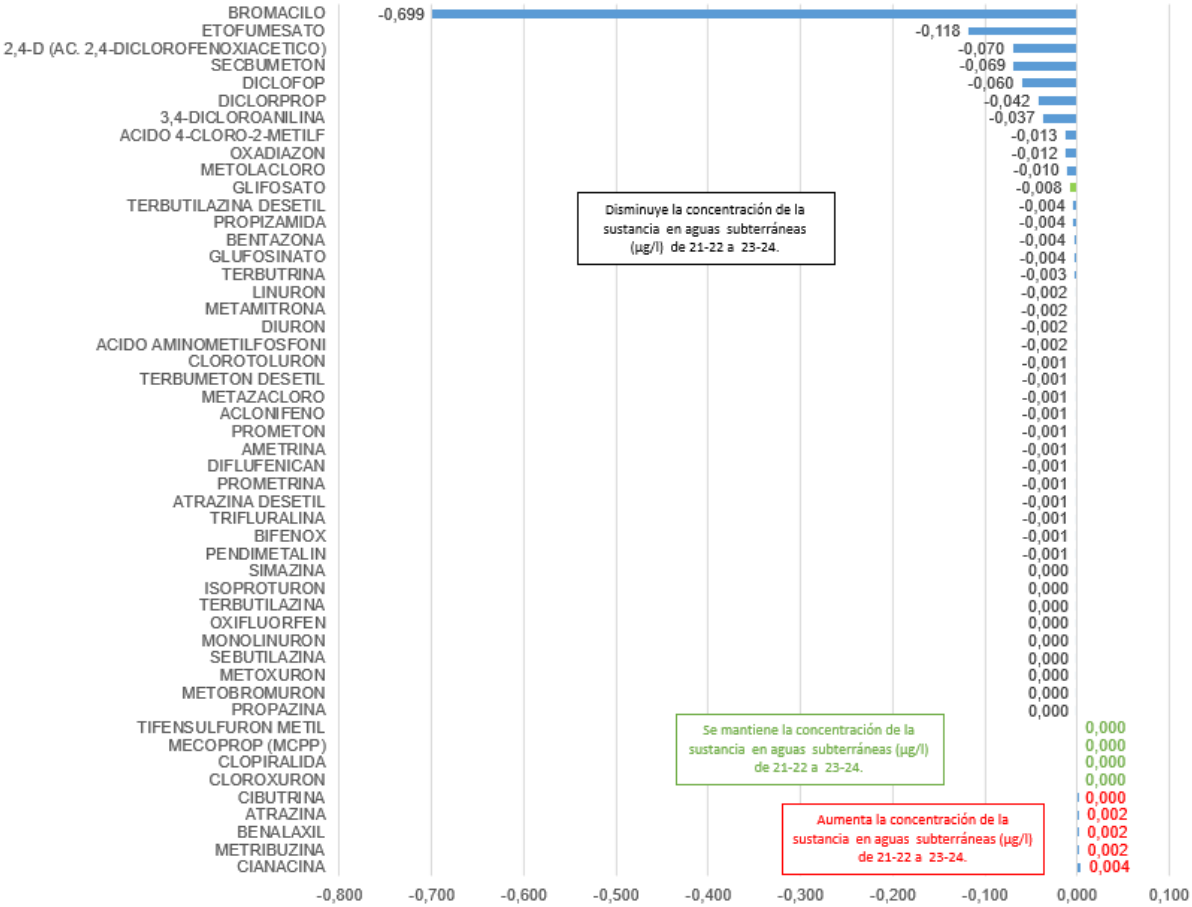
Gráfica 46. Proporción de puntos de detección en aguas subterráneas en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

Al obtener la diferencia de la media de concentración de cada herbicida de 2023-2024 y la media obtenida de 2021-2022 para obtener la evolución, **se observa que sólo en 5 de los herbicidas se produce una variación de la concentración media al alza. En otros 4 herbicidas las concentraciones se mantienen sin variación. En el resto de herbicidas se observa un descenso en las concentraciones de las aguas subterráneas**, siendo la mayor variación en el bromacilo, como se muestra en la siguiente gráfica.

Gráfica 47. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección (media 23-24 menos media 21-22 (µg/L)).



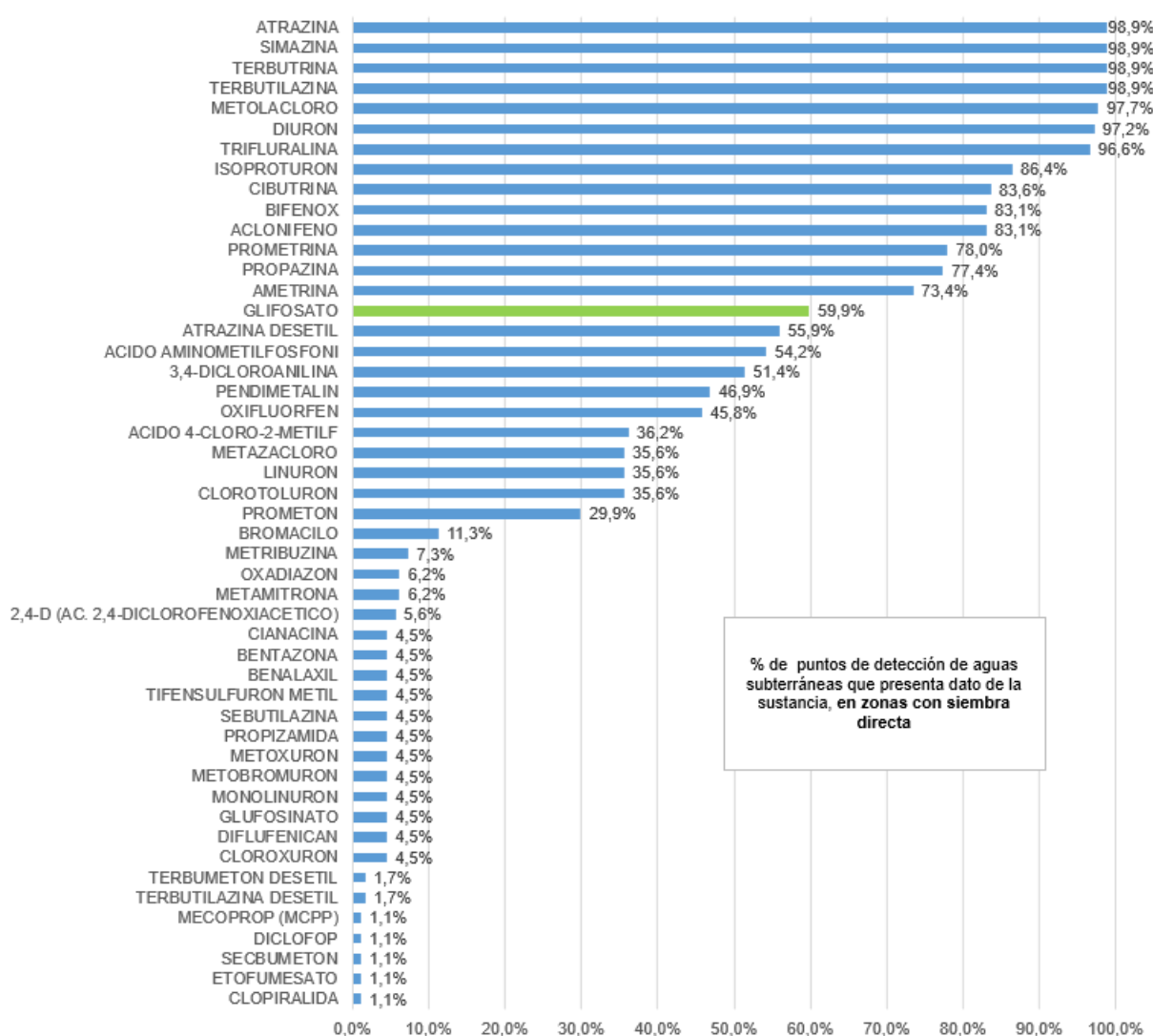
Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

De los 1.371 puntos de detección disponibles de información de las anualidades 2021-2022 antes del inicio del PEPAC y 2023-2024 después del inicio, 177 se sitúan en superficie de siembra directa, y en el resto de estaciones, excepto 139 puntos no cartografiados, se considera que la relación con la superficie de siembra directa es poco significativa o nula.

Estaciones en la superficie de siembra directa

En los 177 puntos de detección en siembra directa se dispone de información de 49 herbicidas y no se dispone de información en ningún punto del *metolacoloro*. En este caso, se observa que la presencia de **glifosato se encuentra en el 59,9% de los puntos**.

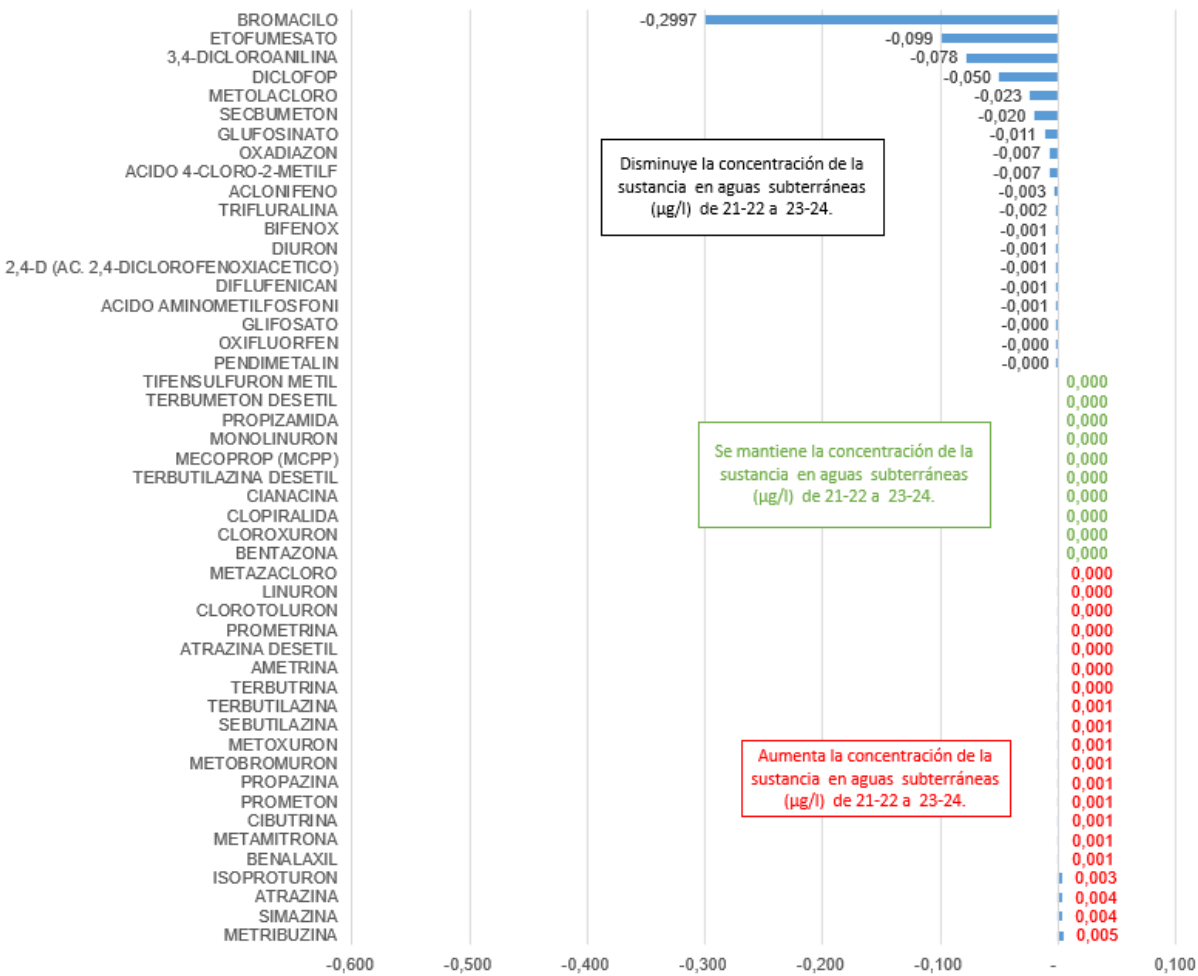
Gráfica 48. Proporción de puntos de detección en aguas subterráneas próximos a la superficie de siembra directa con presencia de cada herbicida en el periodo 2021 a 2024.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

Los puntos de detección de siembra directa muestran una mayor concentración en 2023-2024 respecto a en 2021-2022 en 20 herbicidas. **En 10 herbicidas no se detecta variación y en 19 compuestos disminuyen las concentraciones, como es el caso del glifosato y su metabolito.** Hay que tener en cuenta que aquellos herbicidas que disminuyen su concentración muestran variaciones superiores respecto a aquellos que la aumentan, como se puede observar en la siguiente gráfica.

Gráfica 49. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección próximos a siembra directa (media 23-24 menos media 21-22 (µg/L)).

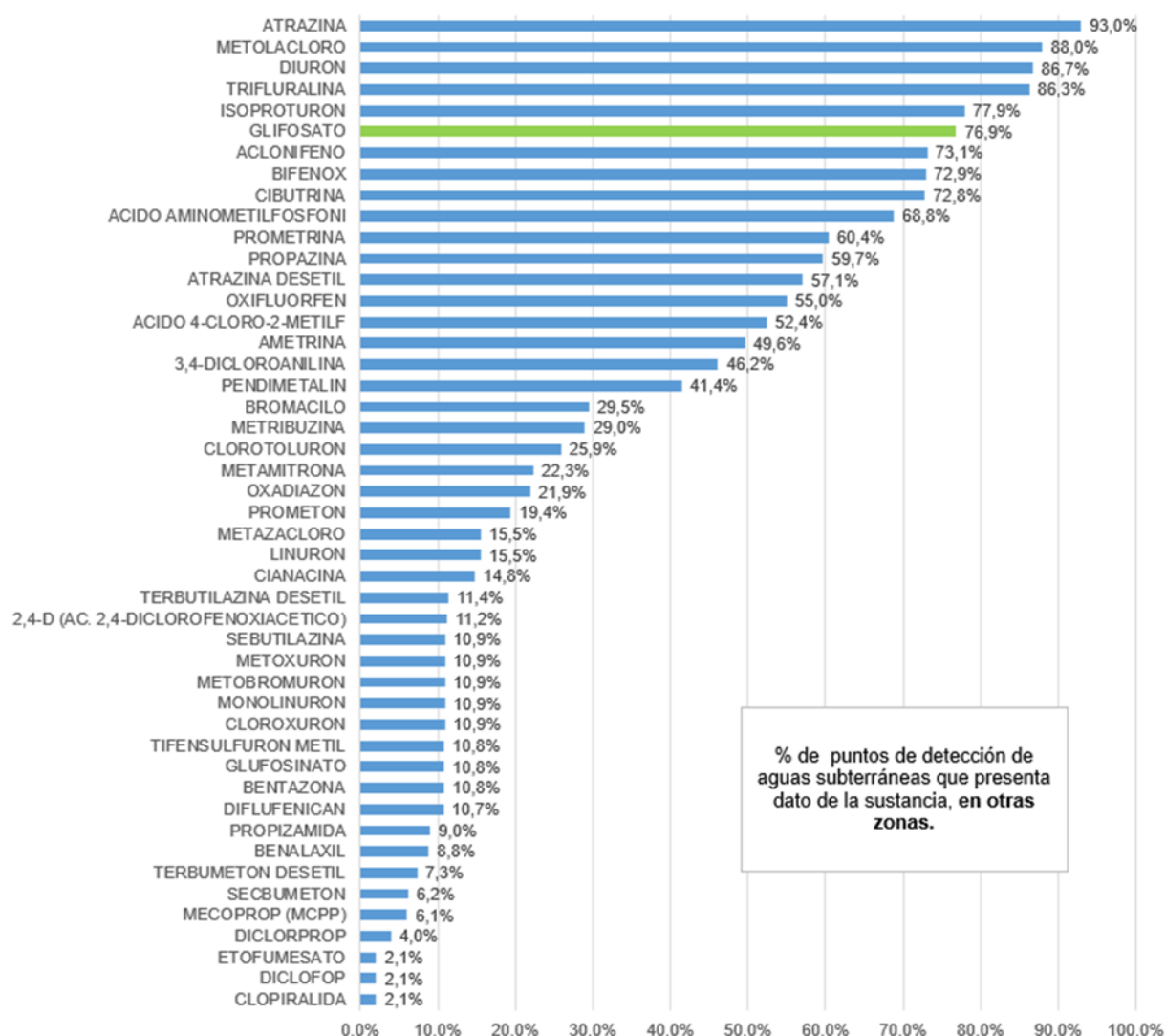


Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

Estaciones fuera de la superficie de siembra directa

En los 1.055 puntos de detección no influenciados por la siembra directa se dispone de información de los 50 herbicidas, como se muestra en la siguiente gráfica. Como se observa, el 76,9% de los puntos muestran presencia de glifosato y el 68,8% en el caso del AMPA.

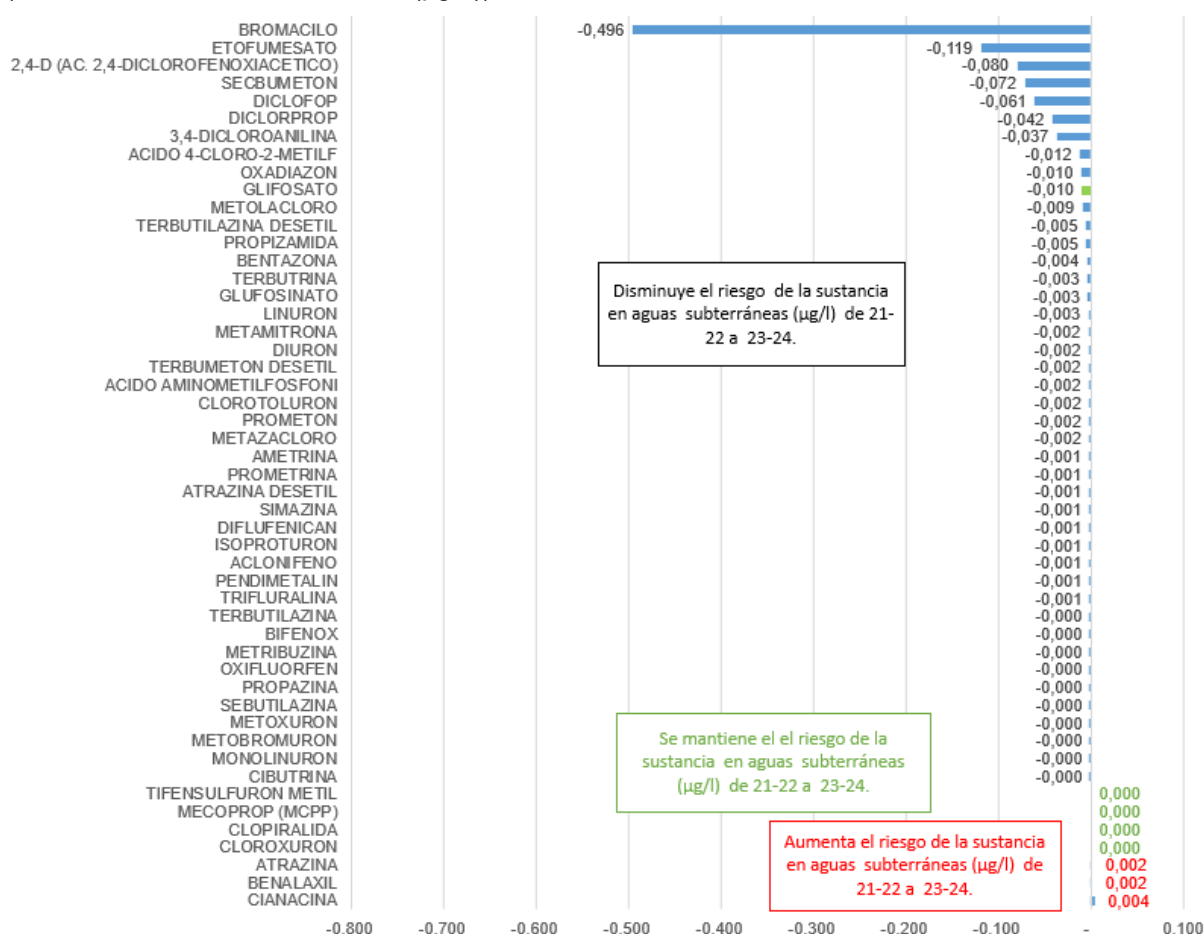
Gráfica 50. Proporción de puntos de detección en aguas subterráneas en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024. Puntos fuera de la superficie de siembra directa.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

Es estos 1.055 puntos de detección se observa que sólo 3 herbicidas presentan una variación al alza y 4 se mantienen en la misma concentración que en 2021-2022. En el resto de compuestos herbicidas analizados se observa una disminución de la concentración en las aguas subterráneas. El glifosato muestra un descenso medio de la concentración en los puntos en los que se detecta de -0,010 µg/L.

Gráfica 51. Diferencia de concentración media de cada herbicida en el resto de puntos de detección (media 23-24 menos media 21-22 ($\mu\text{g/L}$)).



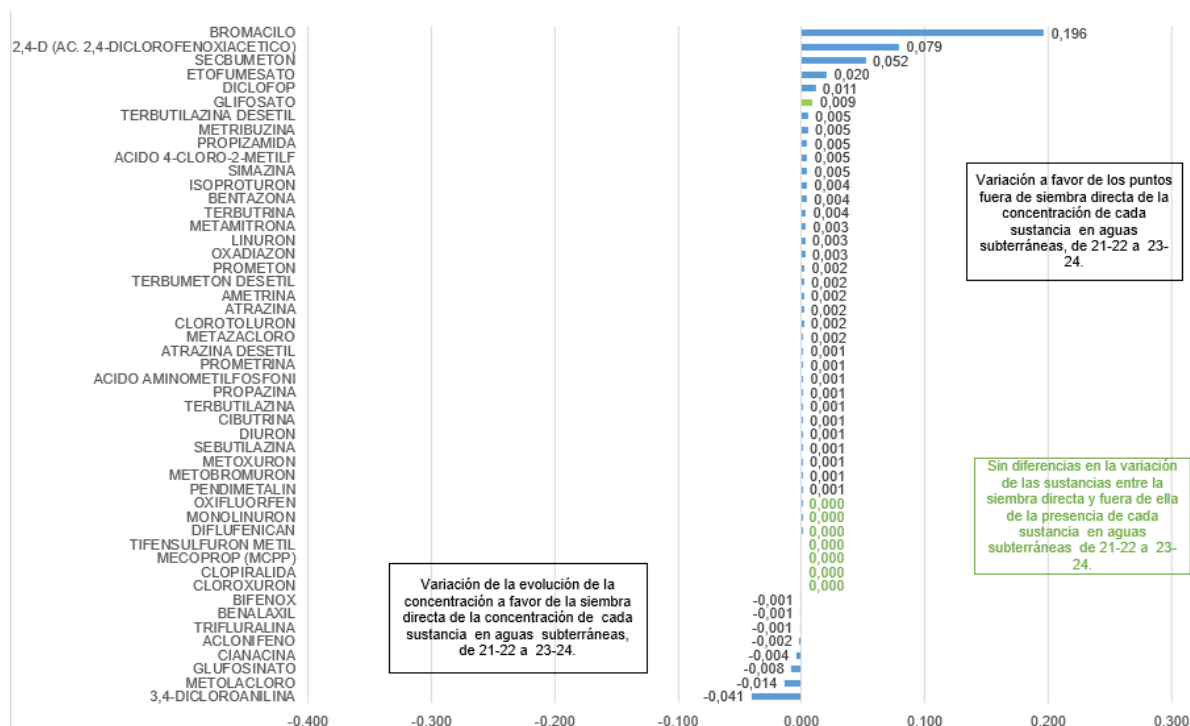
Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

Diferencia de evolución en las concentraciones en las estaciones en superficie de siembra directa respecto a aquellas de fuera de siembra directa.

Del análisis por compuesto herbicida (Gráfica 52), se observa que es más frecuente una mayor variación en la concentración media de los herbicidas estudiados en los puntos de detección de las aguas subterráneas fuera de siembra directa en comparación con los puntos de detección en siembra directa, es decir, normalmente la evolución es más favorable en puntos de fuera de siembra directa. Esta variación se hace más relevante en compuestos que están disminuyendo en ambas tipologías de puntos, de tratamiento y de control, como el *Bromacilo* o *2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético)*, aunque esta disminución es más acentuada en los puntos que se ubican fuera de la superficie de siembra directa. Entre ellos se encuentra el glifosato, para el que en siembra directa se registra una variación de -0,0004 $\mu\text{g/L}$ durante el periodo (Gráfica 49) y fuera de siembra directa se produce un descenso en la concentración del mismo en los puntos de detección, de -0,0095 $\mu\text{g/L}$ (Gráfica 51). Esta mayor variación ocurre en 34 herbicidas, a favor de los puntos que no tienen siembra directa, es decir, en ellos las concentraciones finales en puntos fuera de la siembra directa son menores que aquellas registradas para los puntos de siembra directa. Por otro lado, en 8

compuestos se observa una menor concentración en los puntos de detección de siembra directa al final del periodo, respecto al resto de puntos de detección.

Gráfica 52. Diferencias en la evolución de los herbicidas entre los puntos de siembra directa y el resto de puntos ($\mu\text{g/L}$). Aguas subterráneas.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

El análisis estadístico llevado a cabo (para más detalle consultar el anexo V) muestra que **se observa un descenso significativo en la cantidad de glifosato a lo largo del tiempo los puntos de detección de la calidad de agua del grupo de tratamiento (siembra directa) y en aquellos no influenciados por la misma (grupo de control) no se muestra una tendencia tan clara.**

En aguas subterráneas no parece haber diferencias significativas entre la siembra directa y la agricultura convencional en la influencia en el contenido de glifosato en los puntos de control de aguas subterráneas, aunque se detecta una disminución descendente significativa en los puntos de siembra directa.

Además, **a diferencia de lo observado en aguas superficiales, los puntos de control influenciados por la siembra directa presentan un valor promedio de AMPA ($\mu\text{g/l}$) similar a aquellas no influenciados por la misma. En los puntos de siembra directa la concentración de AMPA ($\mu\text{g/l}$) desciende significativamente a lo largo del periodo estudiado.**

Estudio de caso sobre el glifosato

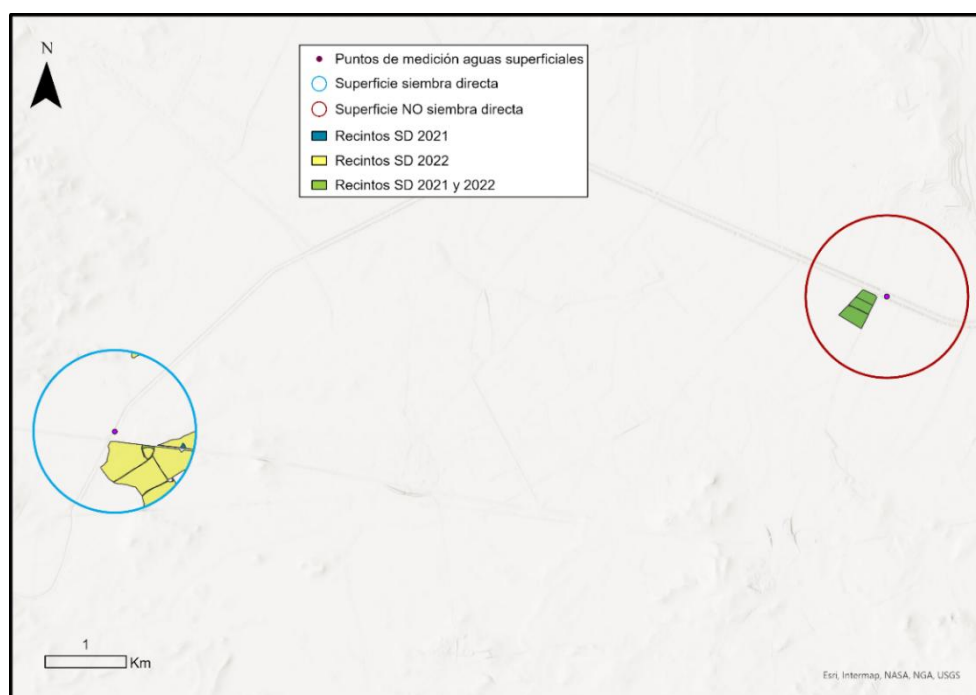
Para el caso de estudio de las aguas superficiales se han seguido las indicaciones expuestas en metodología y se ha seleccionado el punto de muestreo con código DU02720003, con una mayoría de superficie en la que no se aplica siembra directa (de ahora en adelante, NOSD).

En este punto de control, tienen siembra directa tan solo 64,88 ha de recintos incluidos en el RSU para el año 2023 y 53,52 ha para 2024, de un total de 314 ha consideradas alrededor del punto de muestreo, lo que supone el 21% en 2023 y 17% en 2024 de la superficie total (agrícola y no agrícola).

En el punto de tratamiento, con una mayoría de superficie con siembra directa, el punto con código RUVA248 (de ahora en adelante, SD) se contabilizan 209,65 ha en 2023 y 212,58 en 2024 de siembra directa, lo que supone una representación de la siembra directa del 67% en 2023 y del 68% en 2024 respecto a la superficie total de 314 ha.

Estos puntos de muestreo ya tenían una pequeña representación de las prácticas de siembra directa anteriormente al actual PEPAC, en 2021 y 2022. En el caso del punto de muestreo NOSD existían 3 recintos con la práctica de siembra directa solicitada en 2021 y 2022 equivaliendo al 3,53% de la superficie total, y en el caso del punto de muestreo SD, en 2021 la superficie de siembra directa en relación con la total era del 0,34%, aumentando al 18,29% en 2022. Puede observarse esta información en el siguiente mapa.

Figura 30. Recintos de siembra directa en 2021 y 2022.



Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2024.

En cuanto a la caracterización general de las superficies escogidas, el punto de muestreo SD presenta una superficie totalmente agrícola salvo por una carretera que atraviesa del suroeste al noreste pasando por el centro del punto de muestreo, y un canal de riego perpendicular a la carretera de donde se toma la muestra. Las características son muy similares para el punto de muestreo NOSD, con el mismo canal de riego, con la salvedad de un área urbana-industrial en la parte norte de unos 50 m².

Ambos puntos de muestreo están catalogados como masas de agua pertenecientes a un río y ambos pertenecen a la demarcación del Duero. La información ha sido proporcionada por

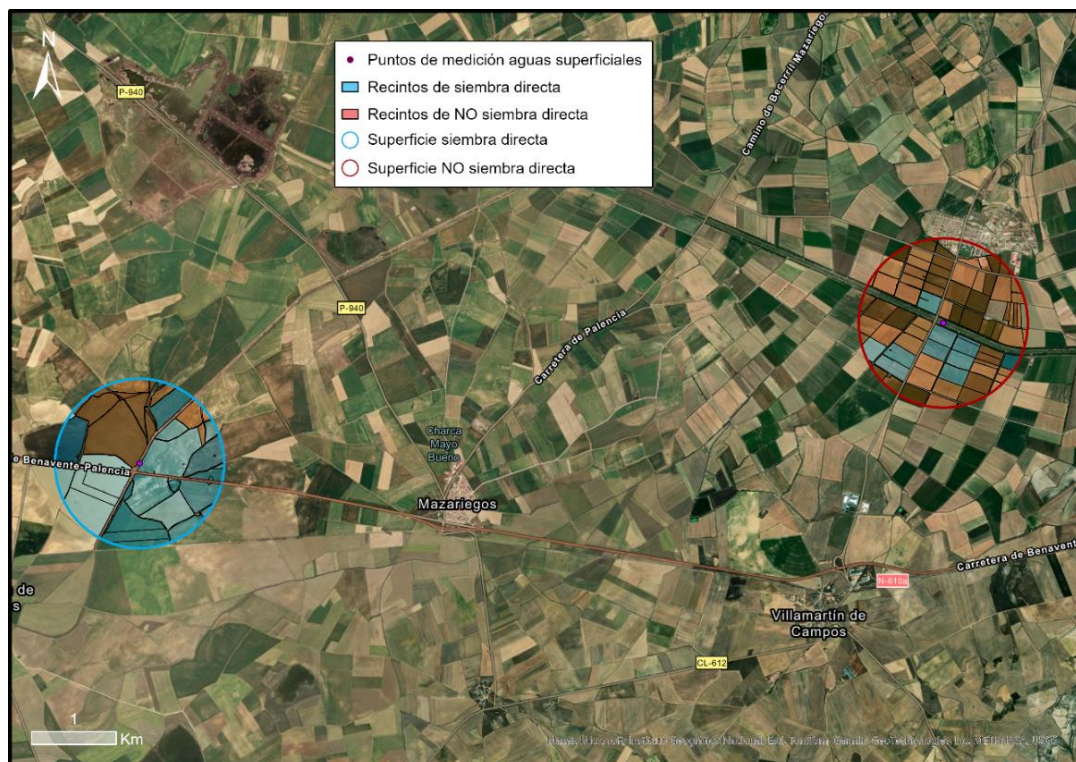
la red de seguimiento de calidad de las aguas del MITERD.¹⁵³

Figura 31. Detalle puntos de muestreo. 2023.



Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023

Figura 32. Detalle puntos de muestreo. 2024.

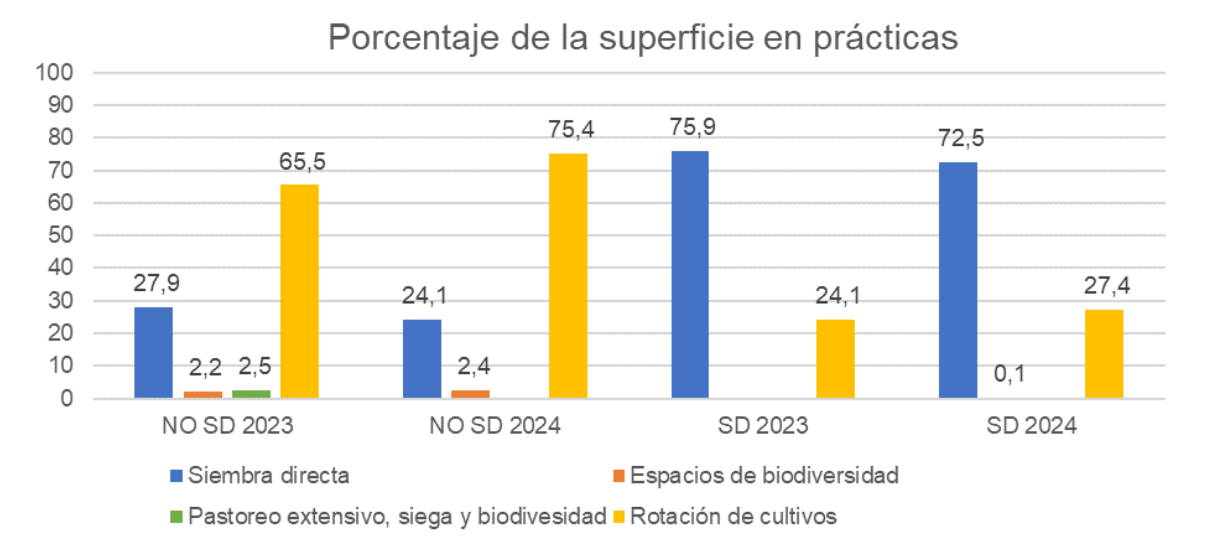


Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2024.

El punto de muestreo NOSD (control) tiene un 27,9% de su superficie agrícola en la que se declara la práctica de siembra directa, y un 65,5% con superficie en la que se declara la práctica de rotación de cultivos en 2023 frente a un 24,1% y un 75,4% en 2024, respectivamente. También existen otras prácticas de ecorregímenes más minoritarias.

En el punto de muestreo SD (tratamiento) tiene un 75,9% de su superficie agrícola con solicitud en la práctica de siembra directa y un 24,1% con solicitudes en rotación de cultivos en 2023. Asimismo, en 2024 estos porcentajes son de un 72,5% y un 27,4%, respectivamente.

Gráfica 53. Superficie agrícola (%) solicitada en las distintas prácticas de ecorregímenes en los puntos de tratamiento y control del estudio de caso.



Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023 y 2024.

En la siguiente tabla se exponen las superficies en hectáreas de los cultivos que aparecen en los puntos de muestreo diferenciando si el punto de muestreo es SD o NOSD y el año al que se refiere. Hay que tener en cuenta que dentro del punto de muestreo SD no se desarrolla la práctica de siembra directa en todos los tipos de cultivos que aparecen.

Tabla 22. Superficie (ha) declaradas de cada muestreo del estudio de caso.

CULTIVO	2023		2024	
	NOSD	SD	NOSD	SD
Alfalfa	37,9	33,2	53,34	44,94
Avena	28,2	12,8	38,04	19,53
Barbecho tradicional	26,9	0	10,29	0
Cebada	23,4	149,2	25,82	155,26
Colza	-	-	0	0,95
Festuca	17,2	0	1,26	0
Girasol	0	47,4	5,64	12,45
Guisante	3,1	0	-	-
Maíz	7,3	0	-	-
Mezcla avena-trigo	-	-	5,35	0
Pastos permanentes de 5 o más años	5,9	0,1	-	-
Raygrass perenne	21,6	0	28,14	0
Remolacha	-	-	2,52	0
Teff	-	-	4,6	0
Trigo blando	44,5	15	22,53	26,22
Triticale	5,6	0	-	-
Veza	3	18,7	0	33,88
Veza vellosa	8	0	-	-
Total	232,5	276,2	222,24	293,24

Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023 y 2024.

La tabla anterior muestra que la alfalfa y el trigo blando destacan en el punto de muestreo NOSD en 2023 y la alfalfa y la avena en 2024, en el caso del punto de muestreo SD, es la

cebada el cultivo predominante en ambos años, seguido del girasol en 2023 y de la alfalfa en 2024, encontrándose este cultivo en tercer lugar en 2023.

En las siguientes tablas se expone la información sobre el regadío en los puntos de muestreo, tanto en general respecto a toda la superficie agrícola como en siembra directa donde se distinguen tres tipologías diferentes.

Tabla 23. Porcentaje de la superficie de regadío o seco en los puntos de muestreo.

	NOSD	SD
Secano	18,09%	100,00%
Regadío	81,91%	0,00%

Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023 y 2024.

Tabla 24. Porcentaje de la tipología de la superficie de siembra directa.

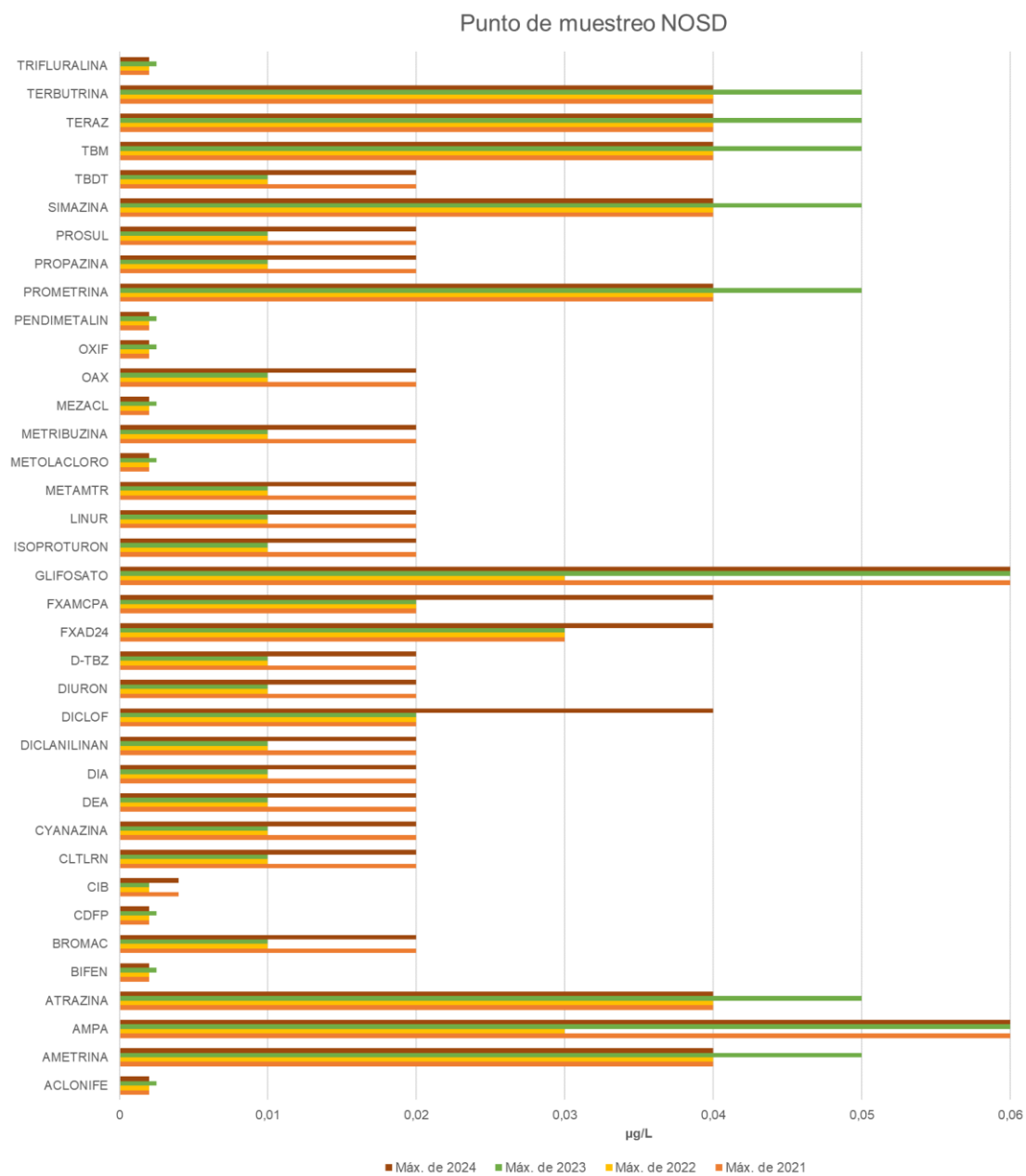
	NOSD	SD
Secano	8,65%	100,00%
Secano-húmedo	6,27%	0,00%
Regadío	85,08%	0,00%

Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023 y 2024.

Se observa que en el punto de muestreo NOSD, el regadío es predominante, alcanzando casi el 82% de toda la superficie agrícola y en el caso de la siembra directa, también es mayoritario el regadío (85%). En cuanto al punto de muestreo SD, el 100% de los cultivos tanto en siembra directa como en el total de la superficie agrícola se encuentran en seco.

En ambos puntos de muestreo se analiza la concentración presente de diferentes sustancias plaguicidas para el periodo de años de 2021-2024 y la tendencia de cada una.

Gráfica 54. Concentración de herbicidas para los años 2021-2024 en el punto de NOSD.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la red de seguimiento de calidad de las aguas del MITERD.

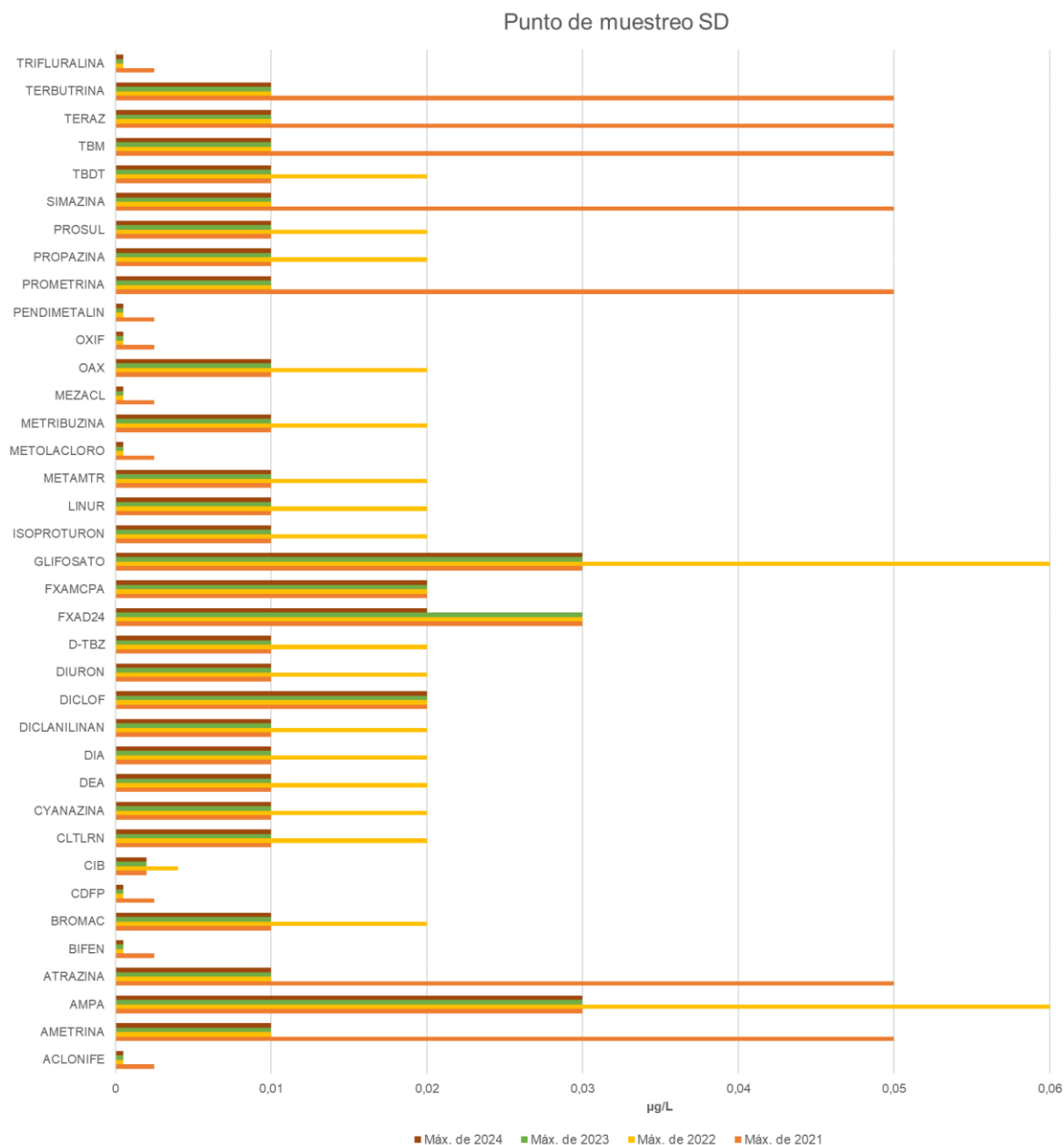
Para el **punto de muestreo NOSD** se puede apreciar que las sustancias **AMPA y glifosato son las que mayor concentración máxima presentan en 2021, 2023 y 2024, con 0,06 µg/l**, manteniendo el valor prácticamente constante en el periodo de estudio a excepción de 2022, en el que se produce un descenso coyuntural que luego se anula en años posteriores.

Para el **punto de muestreo SD** (Gráfica 55) **las sustancias con mayor concentración en 2024 también son AMPA y glifosato, aunque en este caso con 0,03 µg/l en ambos casos**, con la mitad de concentración respecto al punto NOSD. Este descenso se produjo en 2023, y se mantuvo en 2024.

Además, también se muestra que la reducción de concentración también se ha producido para otras sustancias, hasta 0,01 µg/l en 2024, como son los casos de aclonife, bifen, cdfp,

metolaclo, mezacl, oxif, pendimentalin y trifluraina. Todas ellas con al menos 0,02 µg/l en el punto de muestreo NOSD.

Gráfica 55. Concentración de herbicidas para los años 2021-2024 en el punto de muestreo con mayoría de superficie en siembra directa.

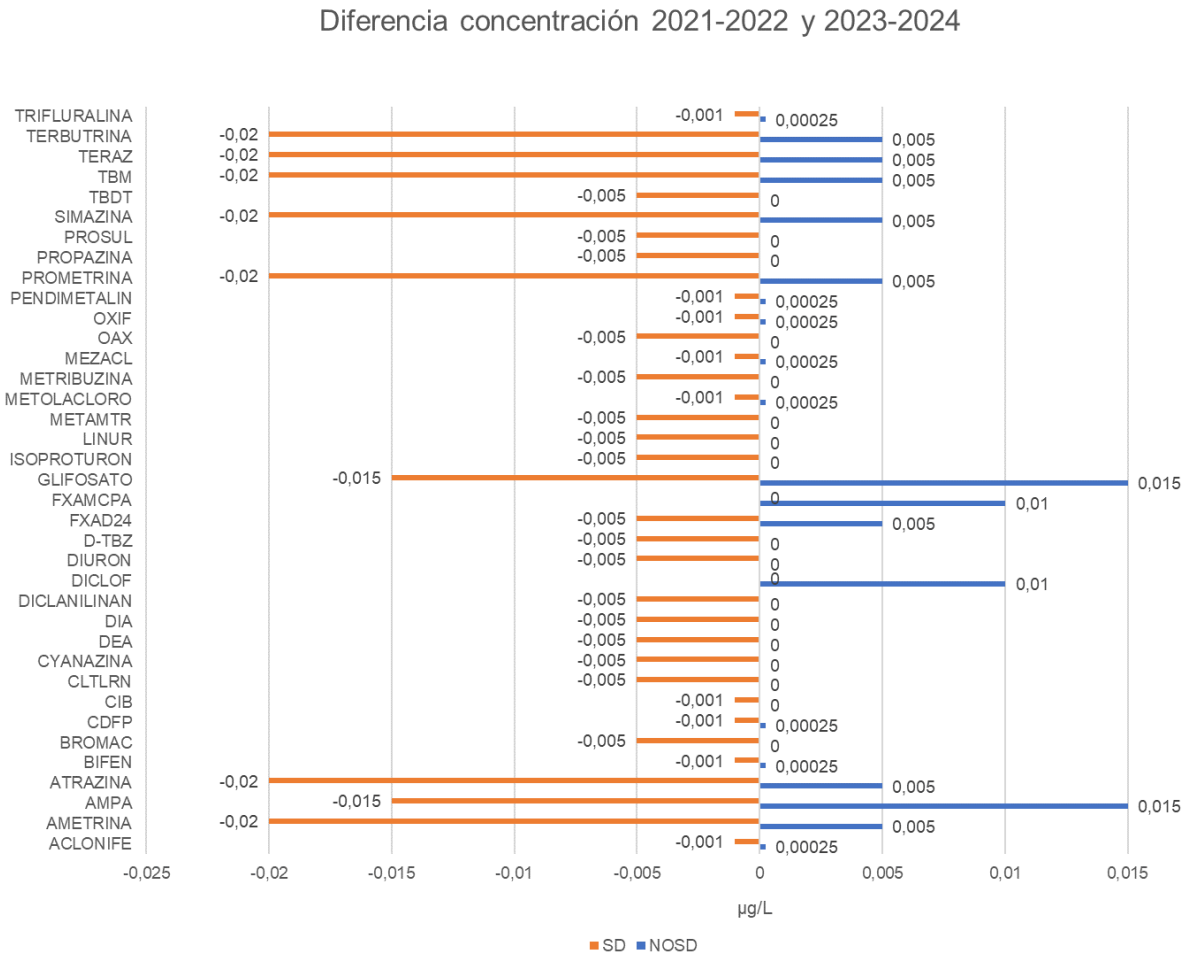


Fuente: elaboración propia a partir de datos de la red de seguimiento de calidad de las aguas del MITERD.

Las gráficas muestran una **tendencia del punto de muestreo SD a la reducción de la concentración de sustancias, que será necesario seguir confirmando en años sucesivos**, a diferencia del punto de muestreo NOSD, donde existe un aumento para varias sustancias o una estabilización de la concentración, pero sin reducción.

En este caso, llega a reducirse la concentración para el punto de muestreo SD en un 0,02 µg/l para los casos de ametrina, atrazina, prometrina, simazina, tbm, teraz y terbutrina, como se muestra en la siguiente gráfica.

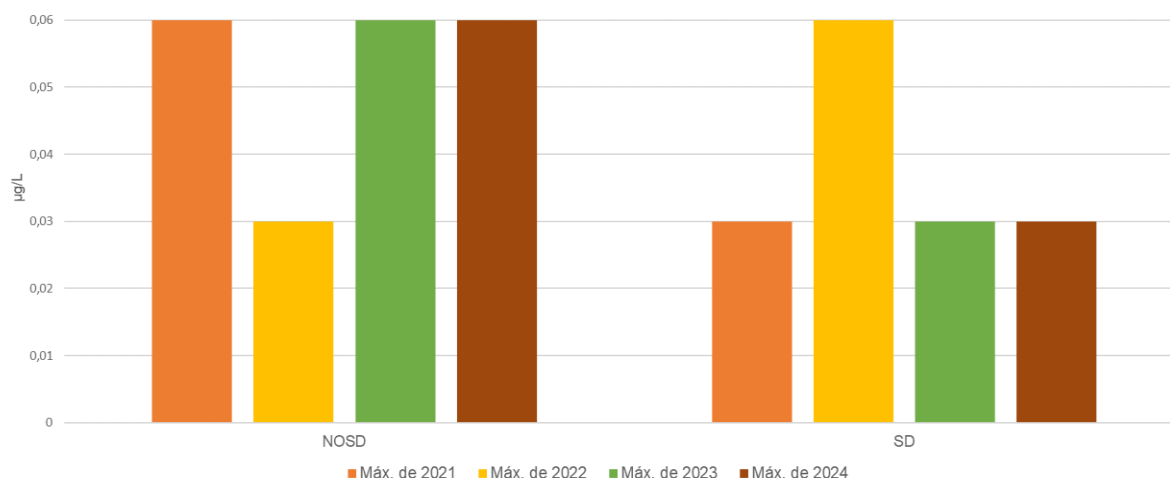
Gráfica 56. Diferencia de concentración media de herbicidas entre 2021-2022 y 2023-2024 para los dos puntos de muestreo del estudio de caso.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la red de seguimiento de calidad de las aguas del MITERD

Se muestra la evolución de la concentración en el periodo de 2021-2024 para los casos concretos de las sustancias más empleados en la siembra directa, según las fuentes de referencia, como son los casos de AMPA y glifosato, en ambos puntos de muestreo.

Gráfica 57. Concentración del glifosato y AMPA para los dos puntos de muestreo del estudio de caso en 2021-2024.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la red de seguimiento de calidad de las aguas del MITERD. Las concentraciones y la evolución de cada sustancia son iguales, por lo que comparten la misma gráfica.

Estas sustancias tienen el mismo comportamiento en ambos puntos de muestreo, ya que el AMPA es un derivado del glifosato. Para el punto de muestreo NOSD se llegan a alcanzar los 0,06 µg/l en el año 2021, en el año 2022 tuvo una reducción del 50%, hasta un valor máximo de 0,03 µg/l, para después estabilizarse de nuevo a los 0,06 µg/l tanto en 2023 como en 2024. En cuanto al punto de muestreo SD sucede lo contrario, en 2021 la concentración alcanza los 0,03 µg/l y en 2022 se duplica hasta alcanzar los 0,06 µg/l, para posteriormente bajar para estabilizarse en 0,03 µg/l tanto en 2023 como en 2024. Este fenómeno podría estar influenciado por las circunstancias climatológicas de dicho año y al sistema de las explotaciones agrícolas (regadío, secano), ya que el año 2022 fue un año de sequía¹⁵⁴ y el 100% de las explotaciones del punto de muestreo SD son de secano como aparece en la Tabla 23.

Caso de estudio en aguas subterráneas

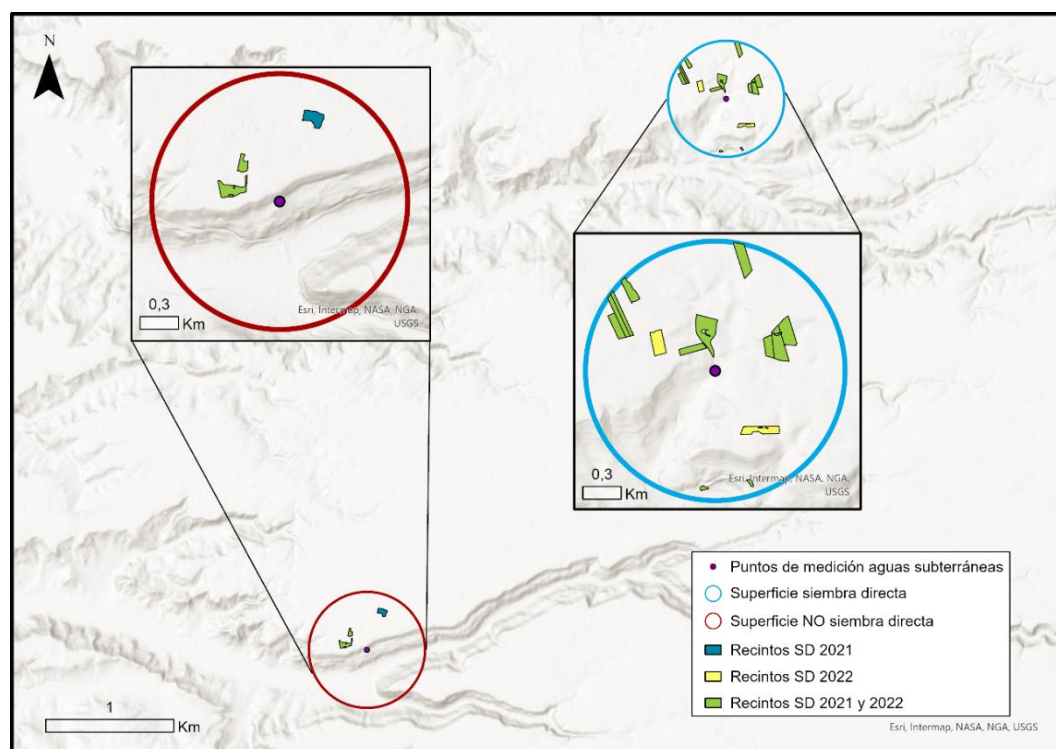
Para el caso de estudio de las aguas subterráneas se han seguido las indicaciones expuestas en metodología y se ha seleccionado el punto de muestreo con código CA0229003, con una mayoría de superficie en la que no se aplica siembra directa (de ahora en adelante, NOSD). Tan solo 27,96 ha de siembra directa se incluyen en el RSU para el año 2023, de un total de 314 ha consideradas alrededor del punto de muestreo, lo que supone el 21% en 2023 de la superficie total (agrícola y no agrícola)

En el punto de tratamiento, con una mayoría de superficie con siembra directa, el punto con código CA0229001 (de ahora en adelante, SD) cuenta con 128,66 ha en la que se aplica la práctica en 2023, lo que supone una representación de la siembra directa del 67% de la superficie total.

¹⁵⁴ https://www.aemet.es/es/noticias/2022/12/rueda_prensa_estacional_inivierno_2022_2023

Estos puntos de muestreo ya tenían una pequeña representación de las prácticas de siembra directa anteriormente al actual PEPAC, en 2021 y 2022, en el caso del punto de muestreo NOSD existían un 1,25% de explotaciones con la práctica de siembra directa solicitada en 2021 respecto a la superficie total y un 0,78% en 2022, y en el caso del punto de muestreo SD en 2021 la superficie de siembra directa en relación con la total era del 4,95%, aumentando al 5,96% en 2022. Puede observarse esta información en el siguiente mapa.

Figura 33. Recintos de siembra directa en 2021 y 2022.



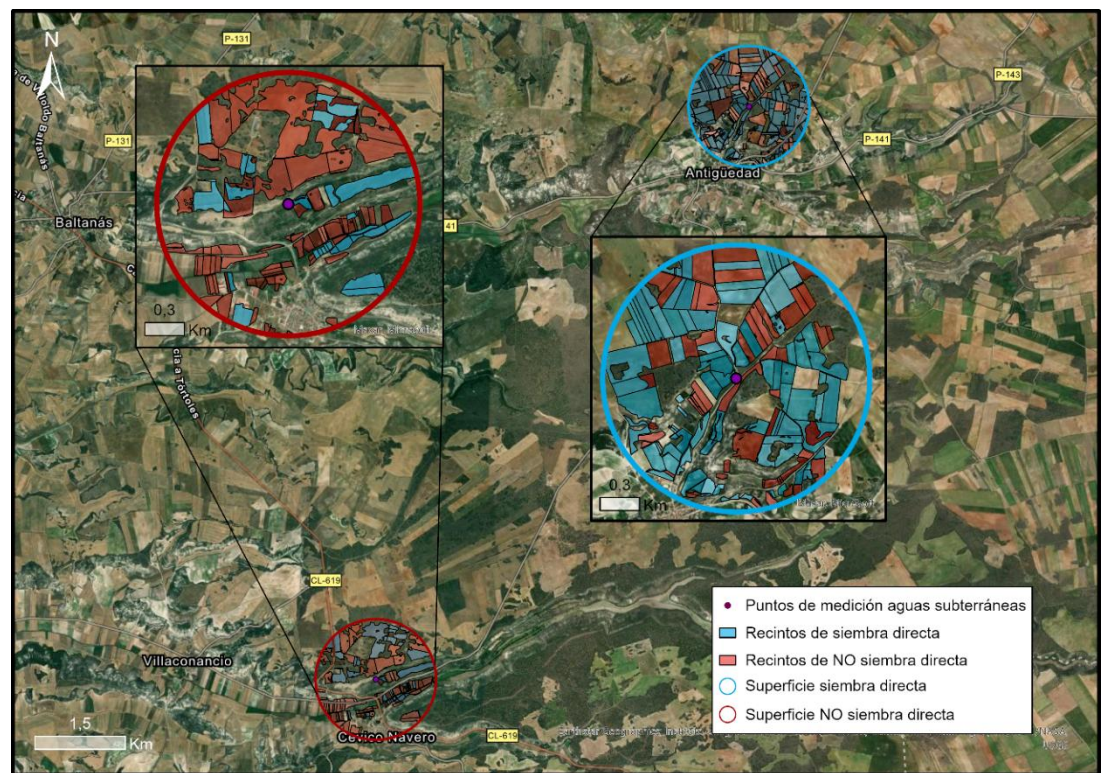
Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023.

En cuanto a la caracterización general de las superficies escogidas, el punto de muestreo SD se localiza en una superficie mayoritariamente agrícola con áreas de pastos adhesionados o con algunos árboles y unas pocas edificaciones al suroeste de la superficie y varios caminos atravesándola. Las características son muy similares para el punto de muestreo NOSD, aunque esta superficie incluye una carretera por el lado oeste y un pequeño municipio al sur de la circunferencia.

Ambos puntos de muestreo se encuentran dentro de la demarcación del Duero. La información procede de la red de seguimiento de calidad de las aguas del MITERD.¹⁵⁵

¹⁵⁵ <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/estado-plaguicidas.html>

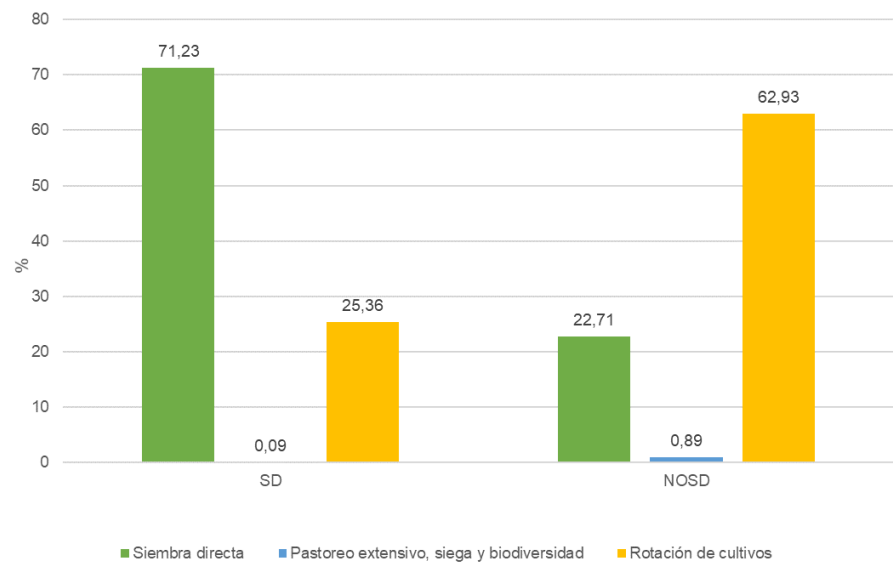
Figura 34. Detalle puntos de muestreo. 2023.



Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023.

En el caso del punto de muestreo NOSD tiene un 22,71% de su superficie agrícola en la que se declara la práctica de siembra directa, incluida en las intervenciones del PEPAC y un 62,93% con superficie en la que se declara la práctica de rotación de cultivos en 2023. Por parte del punto de muestreo SD tiene un 71,23% de su superficie agrícola con solicitud en siembra directa y un 25,36% con solicitudes en rotación de cultivos en 2023.

Gráfica 58. Superficie agrícola (%) solicitada en las distintas prácticas de ecorregímenes.



Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023 y 2024.

En la siguiente tabla se exponen las superficies en hectáreas de los cultivos (indistintamente de que en ellos se aplique la práctica de siembra directa) que se declaran en los puntos de muestreo diferenciando si el punto de muestreo es SD o NOSD.

Tabla 25. Superficie (ha) declaradas de cada muestreo del estudio de caso.

CULTIVO	2023	
	SD	NOSD
Alfalfa	-	4,96
Avena	4,00	17,50
Barbecho tradicional	29,69	20,50
Cebada	58,05	43,52
Esparceta	2,18	9,23
Girasol	13,21	1,92
Guisante	4,22	-
Pastos permanentes de 5 o más años	2,79	7,81
Pino	0,69	-
Trigo blando	36,71	17,68
Veza	29,09	0,01

Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023.

A partir de la anterior tabla se puede apreciar que la cebada y el trigo blando destacan en el punto de muestreo SD, en el caso del punto de muestreo NOSD, es la cebada el cultivo predominante, seguido del barbecho tradicional.

En las siguientes tablas se expone la información sobre la superficie de secano y de regadío en los puntos de muestreo, tanto en general respecto a toda la superficie agrícola como en siembra directa donde se distinguen tres tipologías diferentes.

Tabla 26. Porcentaje de la superficie de regadío o secano en los puntos de muestreo.

	SD	NOSD
Secano	100,00%	88,63%
Regadío	0,00%	11,37%

Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023.

Tabla 27. Porcentaje de la tipología de la superficie de siembra directa.

	SD	NOSD
Secano	100,00%	98,53%
Secano-húmedo	0,00%	0,00%
Regadío	0,00%	1,47%

Fuente: elaboración propia a partir de datos del RSU 2023.

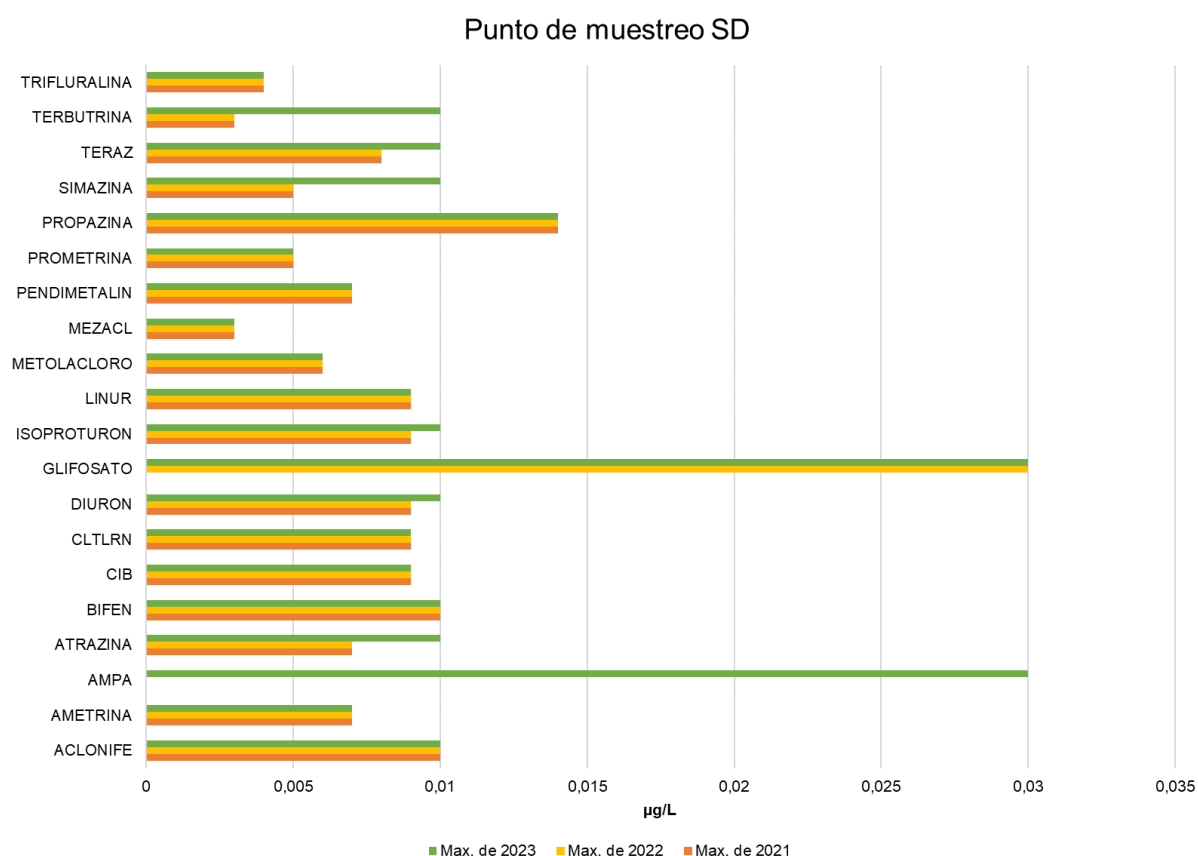
Se observa que en ambos puntos de muestreo predomina el secano (100% SD y 88,63% NOSD), aunque en el caso del punto de muestreo NOSD, se declara un 11,37% de su superficie en regadío. Por otro lado, un 1,47% de la superficie del punto de control (no siembra directa) se encuentra en regadío.

Al analizar para ambos puntos de muestreo la concentración de diferentes sustancias para el

periodo de años de 2021-2023 y la tendencia de cada una, se observa que para el **punto de muestreo SD**, el **glifosato es la sustancia con mayor concentración máxima en 2023**, con **0,03 µg/l**, que es la misma que se registrada en el año precedente, pero no aparece en el primer año de la serie (2021).

En el caso del **AMPA**, también destaca por su concentración máxima registrada por encima del resto de sustancia, de la misma forma que el glifosato y se registra por primera vez en **2023**, cuando se aplica la práctica de manera mayoritaria con el PEPAC ya que en los años precedentes la presencia de siembra directa es residual.

Gráfica 59. Concentración de herbicidas para los años 2021-2023 en el punto de SD.

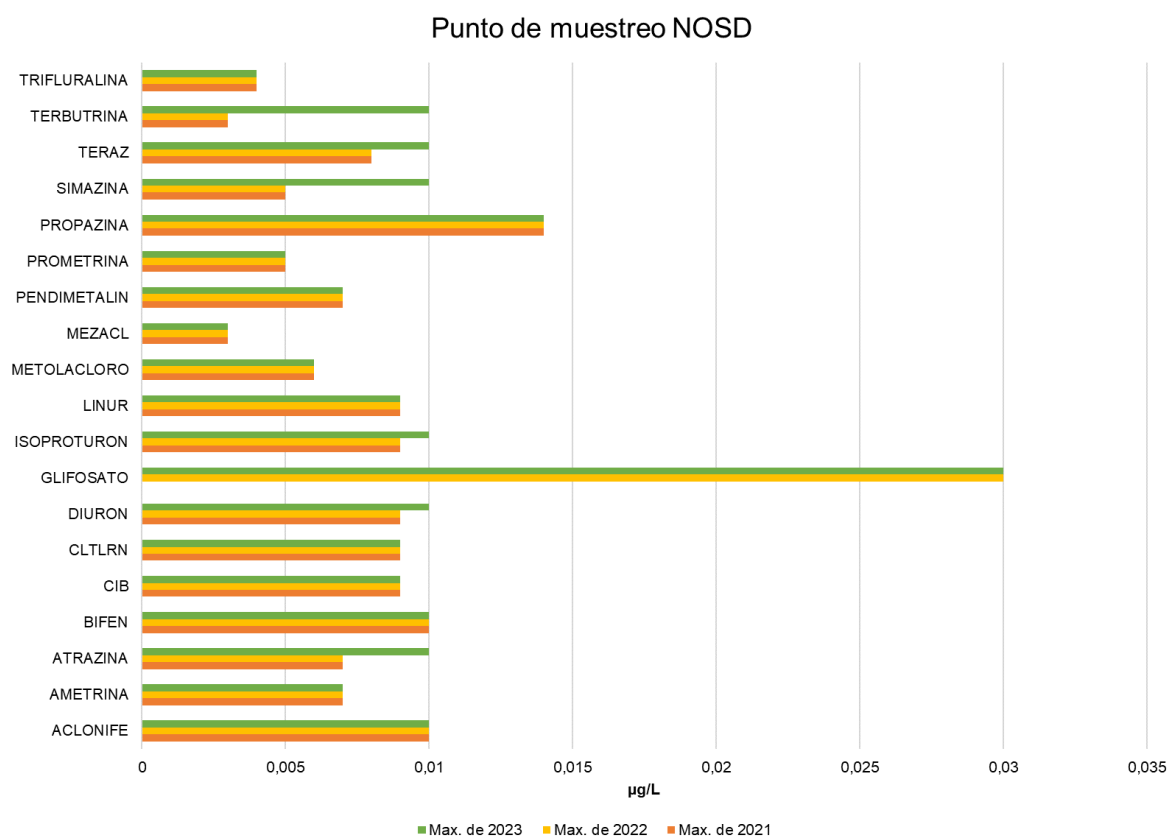


Fuente: elaboración propia a partir de datos de la red de seguimiento de calidad de las aguas del MITERD.

Otra sustancia con elevada concentración en 2021, aunque no en los niveles de AMPA y glifosato, es la propazina, que se mantiene constante en 2022 y 2023, en este caso con 0,014 µg/l.

Además, se observa que otras sustancias registran un aumento de hasta 0,007 µg/l la concentración en 2023, como son los casos de terbutrina, teraz, simazina, isoproturon, diuron y atrazina, llegando a alcanzar al menos 0,01 µg/l en el punto de muestreo SD.

Gráfica 60. Concentración de herbicidas para los años 2021-2023 en el punto de NOSD.



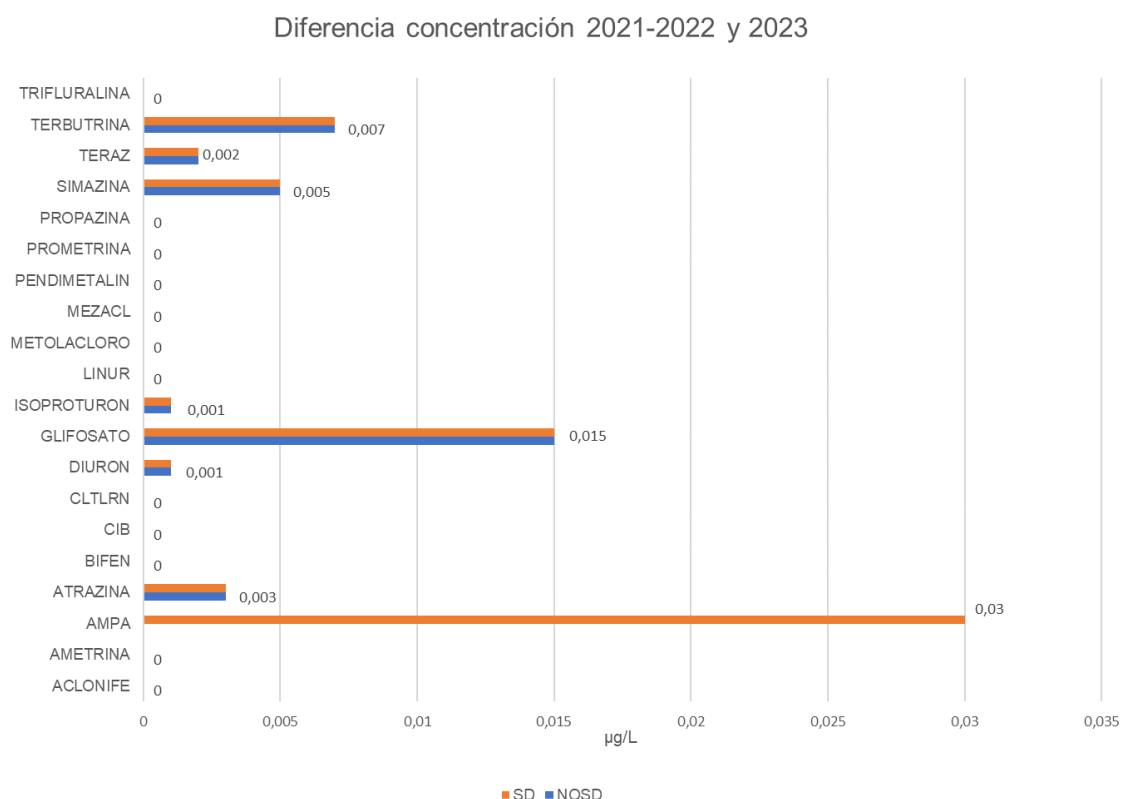
Fuente: elaboración propia a partir de datos de la red de seguimiento de calidad de las aguas del MITERD.

Para el punto NOSD, a diferencia del punto de SD, no aparece el AMPA y el comportamiento del glifosato es similar al de SD, es decir, aparece en 2022 y registra concentraciones por encima del resto de sustancias.

Como en el punto de SD, también existe un aumento de otras sustancias en 2023, como se muestra en la gráfica anterior.

La siguiente gráfica muestra para ambos puntos de muestreo, SD y NOSD, la diferencia de la concentración de las sustancias de herbicidas, tras aplicar el PEPAC y antes de aplicarlo. Como resultado, ninguna sustancia presenta diferencias en el aumento de la concentración inducidas por la práctica de siembra directa, a excepción del AMPA que aparece en 2023 sólo en el punto de muestreo de siembra directa.

Gráfica 61. Diferencia de concentración de herbicidas entre la media de 2021 y 2022 y el año 2023 para los dos puntos de muestreo del estudio de caso.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la red de seguimiento de calidad de las aguas del MITERD.

En conclusión, se observa que, durante el periodo analizado, el glifosato, que es el herbicida más empleado en general y también particularmente en la siembra directa, **aparece en el 87,7% de los puntos de detección de aguas superficiales relacionados con la siembra directa, en la misma proporción que su metabolito, el AMPA (ácido aminometilfosfonil), frente al 76,8% de los puntos de detección no influenciados por la siembra directa**

El análisis de la variación de compuestos herbicidas en aguas superficiales muestra una **diferencia creciente para la concentración de las sustancias de herbicidas en 28 herbicidas**, entre las medias de los años 2023-2024 y 2022-2021; en otros 27 herbicidas se produce una variación descendente y en 5 se mantienen estables. En el caso del **glifosato**, este análisis **muestra que ha disminuido la concentración media durante este periodo en 0,0019 µg/l y su metabolito, el AMPA, en 0,004 µg/l.**

Con el foco en la **siembra directa**, se observa que también hay un **incremento de concentración de herbicidas en los periodos de referencia en 28 herbicidas y un descenso en 19 sustancias**. En este caso, en el glifosato se registra un descenso de 0,009 µg/L y de 0,03 µg/L en su metabolito.

No obstante, si se comparan ambas prácticas, a través de la diferencia de concentración producida durante el periodo de referencia en función de la sustancia, en 23 herbicidas la evolución de la concentración es más favorable cuando se trata de puntos no ubicados en zonas de siembra directa y en otros 25 la evolución es más favorable cuando se trata de prácticas de siembra directa. **En el caso del glifosato, aunque tanto en siembra directa**

como en no siembra directa hay una evolución descendente en la concentración de aguas superficiales, esta desciende mucho más en el caso de siembra directa, de 0,009 µg/L frente a 0,0003 µg/L respectivamente. En el caso de su metabolito (AMPA), en los puntos donde no hay influencia de siembra directa se produce un aumento de la concentración, de 0,002 µg/L y para la siembra directa una disminución de 0,030 µg/L, por lo que existe un diferencial de 0,032 µg/L. En este resultado en la calidad de las aguas superficiales, puede estar influyendo el impacto de la siembra directa en paliar la erosión y atenuar la escorrentía y la lixiviación y con ello, el lavado de los productos herbicidas que llegan a las aguas superficiales, entre otros factores, como apuntan las fuentes consultadas.

Tabla 28. Resumen del análisis en los puntos de detección de aguas superficiales.

	NO SIEMBRA DIRECTA		SIEMBRA DIRECTA	
Nº sustancias incrementan concentración	29		28	
Nº sustancias disminuyen concentración	27		19	
Nº sustancias estables	5		1	
	GLIFOSATO	AMPA	GLIFOSATO	AMPA
% de estaciones con información	76,8%	75,6%	87,7%	87,7%

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD (2021 a 2024).

Los análisis muestran que existen diferencias significativas que apuntan a **una menor cantidad media de glifosato en las aguas superficiales entre la siembra directa y la agricultura convencional**, posiblemente influenciada por la menor movilidad de sustancia como consecuencia de la mejora en la estructura del suelo en explotaciones bajo siembra directa en comparación con aquellas que tienen un laboreo convencional, que están paliando la mayor intensidad de su uso en la siembra directa. **En ambos casos se producen descensos de la cantidad media a lo largo del periodo de referencia**, probablemente inducidos por factores ajenos a la práctica de la siembra directa, ya que se producen en ambos grupos, tratamiento y control, aunque son más acentuados en la agricultura convencional.

Los puntos de detección en **aguas superficiales influenciados por la siembra directa presentan un valor promedio de AMPA (µg/l) significativamente menor** que aquellas catalogadas como no siembra directa en todos los años evaluados, posiblemente influenciado por la capacidad de la siembra directa de paliar el arrastre del glifosato.

En **aguas subterráneas el glifosato está presente en el 75,5% de los puntos de detección**. En general, existe una **tendencia a la disminución** de la concentración de herbicidas en estos puntos de detección, a excepción de 5 herbicidas en los que se registra un aumento y 4 en los que no cambia.

Para la **siembra directa**, los puntos de detección de aguas subterráneas muestran que **el glifosato se encuentra en el 59,9% de los puntos**, frente al 76,9% de puntos en los que se encuentra fuera de la siembra directa. Este aspecto también **es coherente con la baja movilidad del glifosato y la capacidad de las técnicas de siembra directa para reducir las vías por las que movilizarse, al actuar directamente sobre la estructura del suelo y su capacidad de retención**.

En el caso de la siembra directa, los puntos de detección en aguas subterráneas muestran un descenso de $-0,0004 \mu\text{g/L}$, menor al registrado en los puntos no influenciados por la misma, en los que este descenso se estima en $-0,010 \mu\text{g/L}$.

En aguas subterráneas no parece haber diferencias significativas entre la siembra directa y la agricultura convencional en la influencia en el contenido de glifosato en los puntos de control, aunque **se detecta una disminución descendente significativa en los puntos de siembra directa**. Tampoco parece haber evidencia de que la siembra directa influya de manera diferente a la agricultura convencional en las concentraciones de AMPA en aguas subterráneas, aunque se produce un efecto significativo en la reducción de este metabolito en estos puntos de detección influenciados por la siembra directa que no es observable en aquellos del grupo de control.

El estudio de caso realizado sobre dos puntos de detección de aguas superficiales, influido por superficies en regadío, con una separación inferior a 10 km, para la que se puede asumir que las condiciones edafoclimáticas pueden ser similares, se observa que el glifosato y el AMPA presentan una concentración media inferior en siembra directa ($0,03 \mu\text{g/l}$) frente al laboreo convencional ($0,06 \mu\text{g/l}$), a pesar de que en ambos puntos la mayor concentración de todos los herbicidas corresponde al glifosato y al AMPA.

En aguas subterráneas, el estudio de caso muestra que, el glifosato es la sustancia con mayor concentración en la serie temporal, tanto en 2022 como en 2023, para siembra directa y para el punto de control. El AMPA también es la sustancia con mayor concentración, junto con el glifosato, pero en este caso sólo aparece en 2023 para siembra directa y no aparece en la serie de las mediciones del punto de control.

Finalmente, con estas conclusiones no parece haber evidencias sólidas sobre la incidencia de la siembra directa en la calidad del agua, probablemente al considerar en los análisis una serie tan corta de tiempo en la que hay una influencia mayor de la siembra directa por el PEPAC. Los resultados diferentes, bien tratando el conjunto de las explotaciones o bien focalizando sobre un estudio de caso, llevan a la conclusión de que es necesario ampliar el estudio cuando se tenga una serie de años más prolongada, en la que los efectos de la siembra directa hayan podido superar la inercia que pueda tener el agua al cambio de los indicadores.

9.2. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa a la mitigación del cambio climático a través de la captura de carbono por los suelos agrícolas?

9.2.1. Factor de Éxito 4: La siembra directa favorece el secuestro de carbono por los suelos

Los análisis llevados a cabo permiten introducir las siguientes conclusiones:

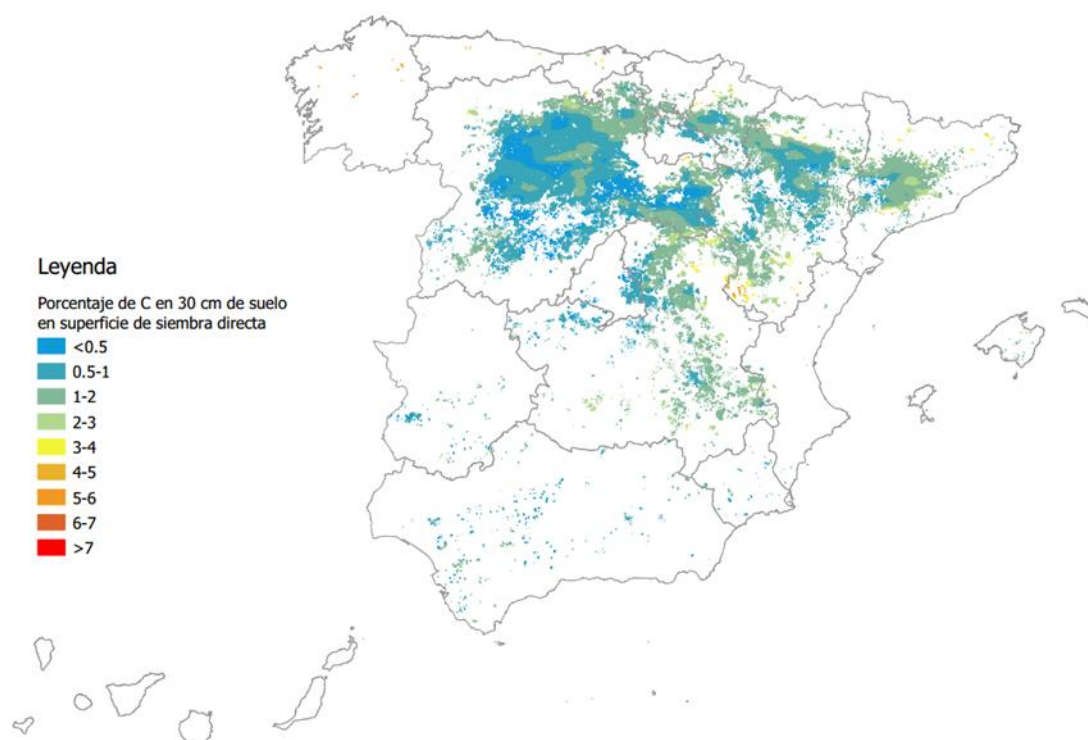
- Hay diferencias positivas de retención de carbono en los suelos de siembra directa, aunque con diferencias estimadas entre las distintas fuentes consultadas.

El suelo representa la mayor reserva de carbono orgánico de la biosfera, suponiendo el 80% del carbono almacenado en los ecosistemas terrestres (Lal *et al.* 2008, citado en González *et al.* 2020). La acumulación de carbono en el suelo gracias a determinadas prácticas de gestión sostenible de la tierra es la opción más viable para la lucha contra la degradación de las tierras y para el secuestro de carbono.

Como se ha desarrollado en la metodología, la estimación del Carbono Orgánico del Suelo-COS- se realiza a partir de las propuestas metodológicas detalladas en los documentos de “Iniciativa 4 por mil: El carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España” y “*Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027*”. Para ello, previamente se consultan los datos de la estimación del carbono orgánico del suelo (MITERD)¹⁵⁶, que servirán de partida del estado del COS en España.

La información del MITERD, del año 2022, sobre la estimación del carbono orgánico en España en los 30 cm de suelo se cruza cartográficamente con las parcelas de 2023 de la RSU, con el objetivo de disponer de información cuantitativa sobre el porcentaje de carbono y el COS retenido en los primeros 30 cm del suelo de la superficie de siembra directa. El resultado de este cruce se muestra en el siguiente mapa.

Figura 35. Mapa del porcentaje de carbono en los primeros 30 cm del suelo en la superficie de siembra directa.



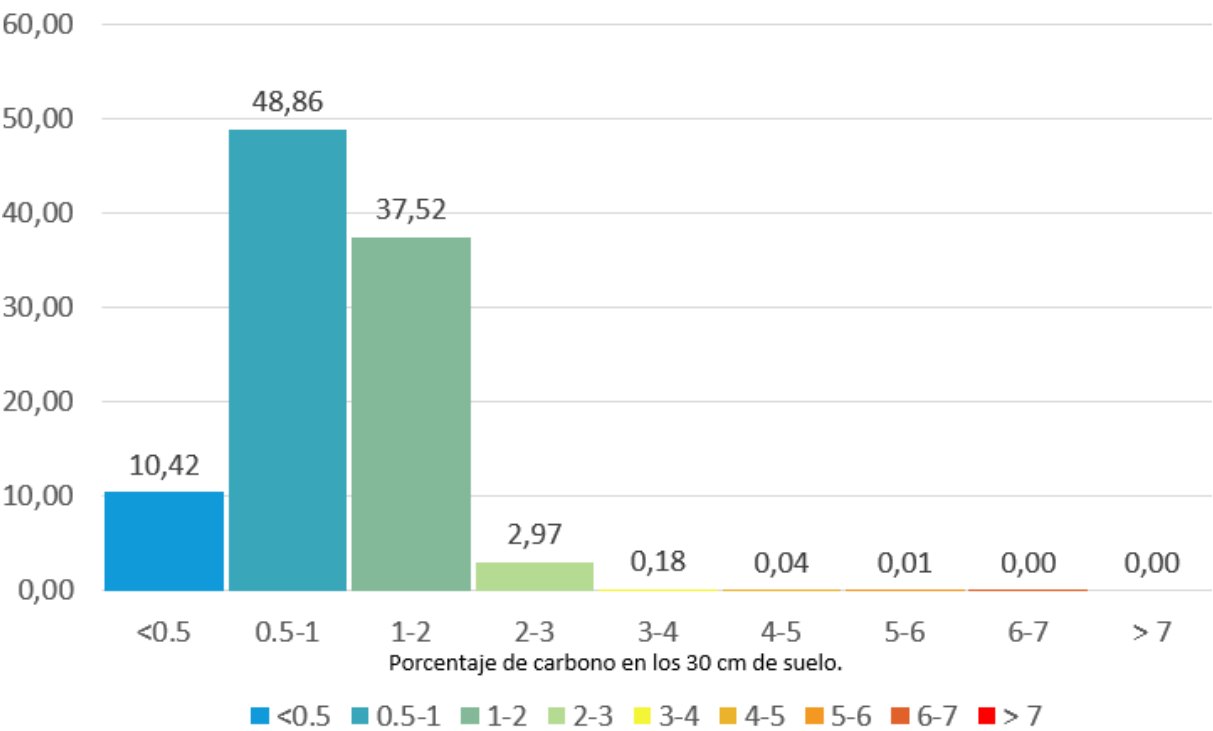
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la estimación del carbono orgánico del suelo, del MITERD (2022) y RSU de 2023.

A través del análisis realizado **se estima que, en 2022, casi el 60% de la superficie donde en 2023 se ha aplicado siembra directa disponía de un porcentaje de carbono en los**

¹⁵⁶ <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/cos.html>.

primeros 30 cm de suelo por debajo del 1% y que para algo más del 37% de superficie este porcentaje se encuentra entre 1 y el 2%. También se aprecia que el porcentaje de la superficie de siembra directa que tenía más del 2% de carbono en el suelo es muy bajo (Gráfica 62, Figura 35).

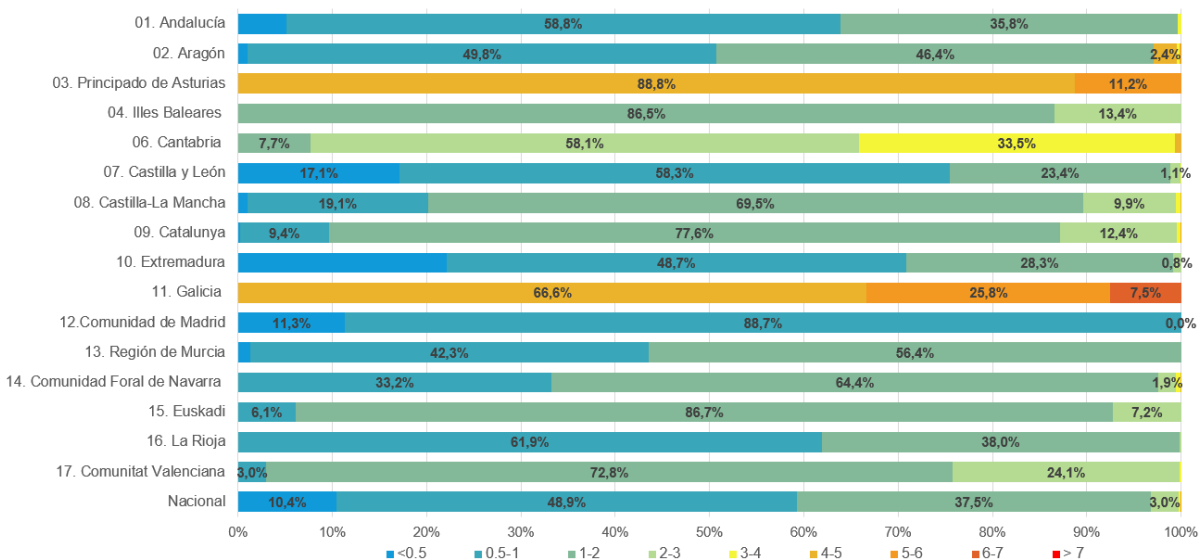
Gráfica 62. Porcentaje de superficie de siembra directa (2023) en cada rango de carbono en el suelo (2022), a nivel nacional.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la estimación del carbono orgánico del suelo, del MITERD (2022) y RSU de 2023.

Los datos por CCAA muestran que la **cornisa cantábrica**, y en concreto el Principado de Asturias y Galicia, **presentan la mayor parte de su superficie por encima de 4% de carbono en el suelo, y junto con Cantabria con más del 92% de la superficie por encima de rango de 2% de carbono en el suelo** son las CCAA con mayor porcentaje de superficie de siembra directa con contenido de carbono en los suelos (Gráfica 63).

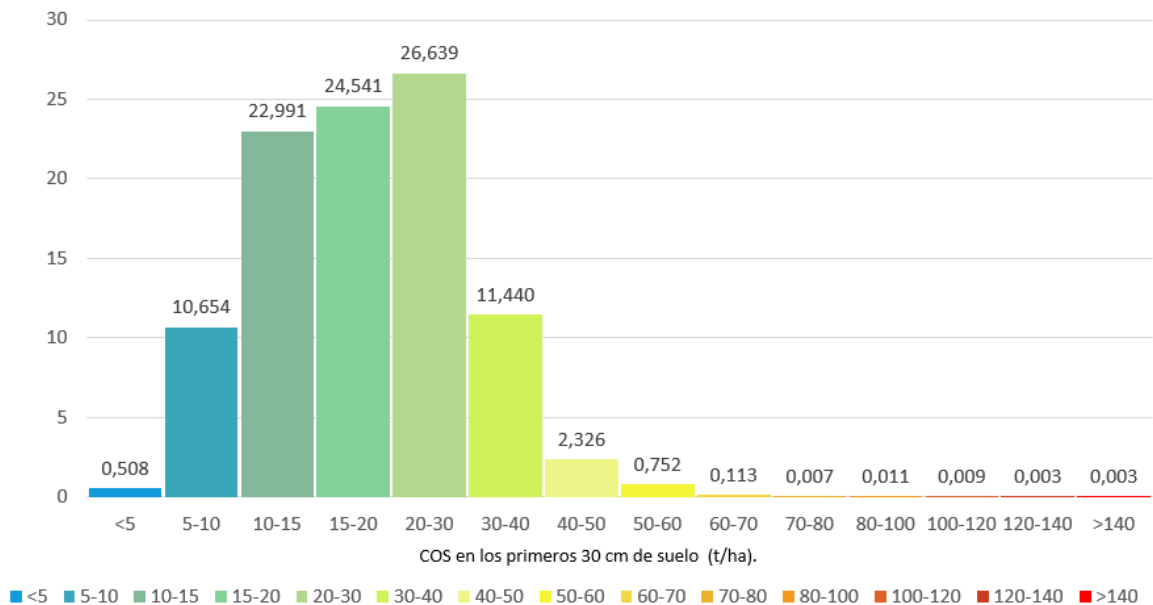
Gráfica 63. Porcentaje de superficie de siembra directa en cada rango de carbono en el suelo, por CCAA.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la estimación del carbono orgánico del suelo, del MITERD y RSU de 2023.

El 96% de la superficie de siembra directa tenía en 2022 un contenido de carbono orgánico del suelo en los primeros 30 cm (COS30) por debajo de los 40 t/ha, y prácticamente el 75% de la superficie tenía un contenido de COS entre el 10 y 30 t/ha (Gráfica 64).

Gráfica 64. Porcentaje de superficie de siembra directa en cada rango de COS del suelo a nivel nacional.

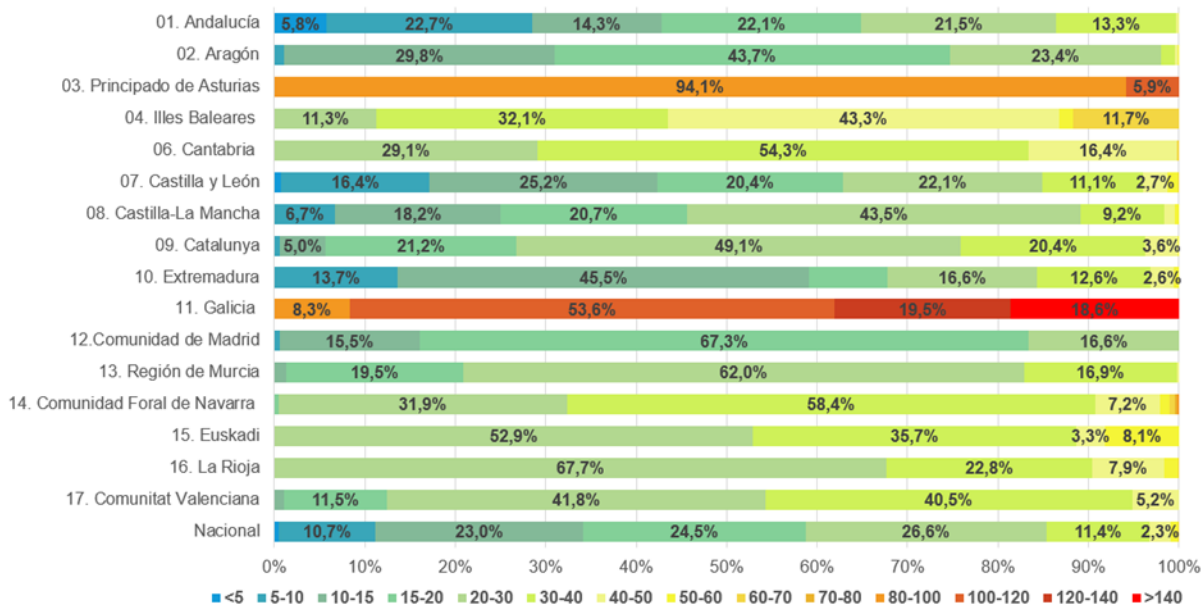


Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la estimación del carbono orgánico del suelo, del MITERD (2022) y RSU de 2023.

Con más del 60% de la superficie de siembra directa por debajo de las 20 t/ha de COS, destacan la Comunidad de Madrid, Aragón, Extremadura, Andalucía y Castilla y León. Por el

contrario, en Galicia y el Principado de Asturias prácticamente toda la superficie retiene más de 80 t/ha de COS (Gráfica 65).

Gráfica 65. Porcentaje de superficie de siembra directa en cada rango de COS del suelo, por CCAA.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la estimación del carbono orgánico del suelo, del MITERD y RSU de 2023.

Estos datos muestran el estado del COS en España en 2022, y sirven de línea de base para la aplicación de las metodologías y estimaciones posteriores.

La primera estimación del COS se realiza a partir de la metodología descrita en el informe “Iniciativa 4 por mil: El carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España”. Según este informe, la retención de carbono¹⁵⁷ orgánico en la superficie de siembra directa se estima en **0,85 t/ha**, por lo que la aplicación de la siembra directa del PEPAC contribuye a retener unas **1.183.625,85 t COS** en el total de la superficie del año 2023 y **1.192.346,00 t de COS** en el año 2024 (Tabla 29). Si bien es necesario diferenciar la superficie que se implementa por primera vez en esta práctica, y por lo tanto es atribuible¹⁵⁸ al PEPAC, el COS relativo al **72,5% de la superficie de siembra directa en 2023 (858.456,45 t COS/año)** y al **73,4% de la superficie de 2024 (874.695,63 t COS /año)**, ya que en el resto de superficie ya se cultivaba con esta práctica en el periodo anterior, es decir, un 27,4% de superficie de siembra directa en 2023 y un 26,6% en 2024. Además, reseñar que de la encuesta realizada a las personas que aplican la práctica de siembra directa se extrae que un 21,9% confirma que ya realizaba esta práctica con anterioridad a la implementación del PEPAC.

¹⁵⁷ Dato establecido en el informe 4 por mil, en base a los valores indicados en González-Sánchez et al. (2012), valor medio de los estudios realizados con datos de fijación hasta 10 años, en base a 29 referencia sobre estudios realizados en el territorio nacional.

¹⁵⁸ Para cuantificar los resultados atribuibles al PEPAC se ha considerado la superficie de siembra directa que se cuantifica en el RSU de 2022, para considerar la misma fuente de datos que la de 2023 y 2024. No obstante, esta atribución está sujeta a la limitación 3, descrita en el capítulo 6, sobre las discrepancias entre las superficies incluidas en ESYRCE y el RSU.

Tabla 29. Estimación de los efectos beneficiosos de la siembra directa en el secuestro de carbono en el suelo y en la eliminación de emisiones de GEI.

Anualidad PEPAC	Continuidad o implantación de la práctica de siembra directa	Cuantificación del aumento de COS (t ha ⁻¹ año ⁻¹) Valores medios de fijación hasta 10 años	Superficie (ha)	COS (t de C año ⁻¹)	CO ₂ eq (t año ⁻¹)
2023	Superficie que mantiene la práctica de siembra directa desde 2022 (antes del PEPAC)	0,85	382.552,23	325.169,40	1.193.372
	Superficie de siembra directa desde 2023 (nueva en el PEPAC)		1.009.948,77	858.456,45	3.150.535
	TOTAL		1.392.501,00	1.183.625,85	4.343.907
2024	Superficie que mantiene la práctica de siembra directa desde 2022 (antes del PEPAC)	0,85	373.706,32	317.650,37	1.165.777
	Superficie de siembra directa desde 2023 o 2024 (nueva en el PEPAC)		1.029.053,68	874.695,63	3.210.133
	TOTAL		1.402.760,00	1.192.346,00	4.375.910

Fuente: elaboración propia a partir de la información del documento *Iniciativa 4 por mil: y Balance de aplicación de la PAC (2023 y 2024)*.

Por otro lado, en el indicador de impacto establecido en el marco de seguimiento y evaluación del PEPAC, I.11 “Mejora del secuestro de carbono”, se establecen los subindicadores I.11.1 “Estimación del contenido total de carbono orgánico en suelos de tierras agrícolas”, que se mide en mega toneladas (Mt) de C, y el subindicador I.11.2. “El contenido medio de carbono orgánico en tierras agrícolas”, que se mide en gramos de carbono por kg (g de C/kg), como se ha detallado en la metodología.

Para obtener una estimación del subindicador I.11.2 en g/kg de suelo, se multiplica el dato de COS en t/ha por un factor de conversión de 0,454545455¹⁵⁹, obteniéndose, como resultado, la concentración de carbono orgánico del suelo (COS) en tierras de cultivo con siembra directa (Tabla 29).

¹⁵⁹ Para obtener estos datos se utiliza la densidad aparente media para España del documento de MIERTD de estimación del carbono orgánico del suelo.

Tabla 30. Estimación de los efectos beneficiosos de la siembra directa en el secuestro de carbono en el suelo.

Anualidad PEPAC	Continuidad o implantación de la práctica de siembra directa	I.11.2 Estimación del contenido total de carbono orgánico en suelos de tierras agrícolas (Mt de C)	I.11.2 Estimación de los cambios de COS a lo largo del tiempo
2023	Superficie que se mantiene de 2022	0,33	0,39
	Superficie nueva de siembra directa	0,86	0,39
2024	Superficie que se mantiene de 2022	0,32	0,39
	Superficie nueva de siembra directa	0,87	0,39

Fuente: elaboración propia a partir de la información del documento *Iniciativa 4 por mil: y Balance de aplicación de la PAC (2023 y 2024)*.

Como resultado, se estima que el indicador de impacto I.11 2. “Estimación de los cambios de COS a lo largo del tiempo”, es decir, **la concentración de carbono orgánico del suelo en tierras de cultivo con siembra directa, aumenta en las dos anualidades una media de 0,39 g/kg de suelo.**

Para aplicar la metodología basada en el informe “*Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027*”, del Servicio de Evaluación de la Red europea de la PAC (Helpdesk) y de las fuentes de información consultadas, en primer lugar, se ha cuantificado la superficie declarada con siembra directa en el PEPAC.

Para ello, se ha extraído la información publicada sobre el seguimiento del PEPAC¹⁶⁰. En concreto, se consultan los datos del balance de la aplicación de la PAC en 2023 y 2024 (Tabla 31).

Tabla 31. Superficie de siembra directa apoyada en 2023 y 2024

Intervención	Importe unitario	Superficie apoyada (ha) de Siembra directa PEPAC	
		2023	2024
1PD31001803V1 - Ecorrégimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano.	1PD31001803V1002	1.206.850	1.229.412
	1PD31001803V1005		
	1PD31001803V1004 1PD31001803V1006	646	508
1PD31001804V1 - Ecorrégimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo".	1PD31001804V1 002 1PD31001804V1003	67.296	68.487

¹⁶⁰ [Seguimiento y evaluación del Plan Estratégico.](#)

Intervención	Importe unitario	Superficie apoyada (ha) de Siembra directa PEPAC	
		2023	2024
1PD31001805V1 - Ecorrégimen "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de regadío".	1PD31001805V1 002	117.641	104.333
	1PD31001805V1005		
	1PD31001805V1004	69	20
	1PD31001805V1006		

Fuente: balance de aplicación de la PAC, 2023 y 2024¹⁶¹. 1PD31001803V1002- Importe agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de secano península; 1PD31001803V1005- Importe con complemento de plurianualidad agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de secano península; Importe agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de secano I. Baleares 1PD31001803V1004; 1PD31001803V1006- Importe con complemento de plurianualidad agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de secano I. Baleares; 1PD31001804V1 002- Importe agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo; 1PD31001804V1003- Importe con complemento de plurianualidad agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo; 1PD31001805V1 002- Importe agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de regadío península; 1PD31001805V1005- Importe con complemento de plurianualidad agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de regadío península; 1PD31001805V1004- Importe agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de regadío I. Baleares; 1PD31001805V1006- Importe con complemento de plurianualidad agricultura de conservación-siembra directa en tierras de cultivo de regadío I. Baleares.

El resultado de aplicar los coeficientes de mitigación expuestos en el apartado de metodología¹⁶², a esta ejecución, muestran que la implementación de la práctica de siembra directa en cultivos de secano contribuye a mejorar la calidad del suelo a través de la retención de carbono, con unas **292.159,82 t de COS** en el año 2023 y en **294.312,04 t de COS** en el año 2024 bajo las intervenciones de "Agricultura de carbono y agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo". La práctica en secano es el que mayor implementación tiene en España (Tabla 32).

Tabla 32. Resultados de la estimación de siembra directa, retención de COS.

Intervención	Práctica sostenible	COS (t de C/año)	
		2023	2024
Siembra directa en tierras de cultivo de secano.	S2X Cobertura del suelo - General	253.343,85	258.048,61
	R11 Rotación de cultivos	-	-
Siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo".	S2X Cobertura del suelo - General	14.119,32	14.369,21
	R11 Rotación de cultivos	-	-
Siembra directa en tierras de cultivo de regadío".	S2X Cobertura del suelo - General	24.696,65	21.894,23
	R11 Rotación de cultivos	-	-
TOTAL	-	292.159,82	294.312,04

Fuente: elaboración propia a partir del documento "Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027 period, General methodology" y de la información del Balance de aplicación de la PAC. La rotación no se ha considerado a efectos de no sobredimensionar el valor obtenido, como se ha indicado en las limitaciones (capítulo 6)

¹⁶¹ Seguimiento y evaluación del Plan Estratégico.

¹⁶² Para esta evaluación se utiliza el coeficiente medio establecido en el Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027. En esta fuente se cita que los coeficientes se han obtenido mediante metarrevisiones de artículos científicos estableciéndose coeficiente inferior, medio y superior para establecer un intervalo de confianza del 95%. Como se detalla en la metodología, el Helpdesk centra el enfoque en los posibles efectos positivos de las prácticas agrícolas apoyas mediante las intervenciones de la PEPAC y la buenas condiciones agrarias y medioambientales (BCAM). No constituye una evaluación del impacto adicional del PEPAC en las emisiones actual de la agricultura y el sector LULUCF en comparación con una situación hipotética sin la PAC ni con la situación anterior a 2023. Tampoco se considera el incentivo de prácticas agrícolas con impactos ambientales negativos.

La superficie de siembra directa apoyada por el PEPAC se divide entre aquella de la que se tiene constancia que en 2022 ya aplicaba la siembra directa, de aquella en la que no se aplicaba esta práctica antes del PEPAC. Es decir: 1) superficie de siembra directa de 2022 que se mantiene al implementar el PEPAC, y 2) superficie donde se implementa siembra directa al aplicar el PEPAC.

Aproximadamente, el 72,5% en 2023 y el 73,4% de 2024 de la superficie de siembra directa implementa esta práctica por primera vez¹⁶³, y suponen una reducción de emisiones de 211.896,76 t de C/año y 215.905,00 t de C/año, respectivamente. En el resto de superficies en las que ya se aplicaba la práctica, la retención COS en el suelo anual supone el 80.263,06 t de C en el año 2023 y al 78.407,05 t de C en el año 2024, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 33. Estimación de los efectos beneficiosos de la siembra directa en el secuestro de carbono en el suelo.

Anualidad PEPAC	Continuidad o implantación de la práctica de siembra directa	Superficie (ha)	COS (t de C año ⁻¹)
2023	Superficie que se mantiene de 2022	382.552,23	80.263,06
	Superficie nueva de siembra directa	1.009.948,77	211.896,76
2024	Superficie que se mantiene de 2022	373.706,32	78.407,05
	Superficie nueva de siembra directa	1.029.053,68	215.905,00

Fuente: elaboración propia a partir del documento “Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027 period, General methodology” y de la información del Balance de aplicación de la PAC. Nota: para obtener el valor del COS retenido se obtiene dividiendo el CO₂eq (t CO₂eq/año) por el coeficiente 3,67, que resulta de la relación de pesos moleculares del CO₂ y C (44/12).

A partir de estos datos, se obtiene que la retención de COS por hectárea, resulta en un valor medio de 0,21 t C/ha/año.

Los resultados obtenidos con el análisis de estos informes estiman unos valores de COS en siembra directa mayores que los presentes con otras prácticas agrarias tradicionales. Esto coincide con las conclusiones de algunos estudios previos. Moreno-García y col. (2020), por ejemplo, muestra en su artículo que la siembra directa puede aumentar hasta tres veces el secuestro de carbono habitual. Por todo ello, el empleo de siembra directa ha crecido en las últimas tres décadas como método de mantener y aumentar el contenido de COS del suelo (Dimassi y col., 2014).

Estas conclusiones, también están alineadas y muestran coherencia con la motivación de las personas que aplicaron la siembra directa en la explotación en los comienzos de la misma, según la experiencia de la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV), ya que las **primeras experiencias de siembra directa se producían en su mayoría porque se detectaban situaciones de muy baja fertilidad y productividad en el suelo**, con rendimientos productivos muy bajos. En estas situaciones, **las personas titulares**

¹⁶³ Para cuantificar los resultados atribuibles al PEPAC se ha considerado la superficie de siembra directa que se cuantifica en el RSU de 2022, para considerar la misma fuente de datos que la de 2023 y 2024. No obstante, esta atribución está sujeta a la limitación 3, descrita en el capítulo 6, sobre las discrepancias entre las superficies incluidas en ESYRCE y el RSU.

de explotaciones pedían el apoyo de la AEACSV para incluir la práctica en un intento de recuperar el potencial productivo del suelo, que luego se tradujo en resultados positivos de manera generalizada.

Por otro lado y de manera complementaria, los avances de resultados del estudio de “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España”¹⁶⁴, realizado por el MAPA con la colaboración del INIA-CSIC a partir de los datos disponibles de la campaña 2023 (13.596 muestras de parcelas de suelos), incluye entre sus conclusiones que **en las parcelas en las que se aplica siembra directa, el contenido de COS por hectárea en los primeros 30 cm de suelo es de 2 t C/ha superior a aquellas en las que se practica el laboreo tradicional, como se muestra en la siguiente tabla.**

Tabla 34. Resultados parciales de COS de la red de monitorización del estudio “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España”

Tipo de cultivo	N	C orgánico (g/Kg)	SOC Stock (t C/ha)	SOC Stock (t C/ha)
Herbáceos _SD_H1	642	12,19	8,04	21,98
Herbáceos _SD_H2	640	10,06	13,94	
Herbáceos _LB_H1	2.404	10,62	7,22	20,00
Herbáceos _LB_H2	2.384	9,07	12,78	

Fuente: Jornada Agricultura y Ciencias, Ponencia: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (INNIA-CSIC), estudio “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España”. Nota: De cada parcela se dispone de información sobre las dos profundidades indicadas en el estudio, una primera representativa de los primeros 10 cm de profundidad (H1) y una segunda de los 10 a 30 cm siguientes (H2). Las parcelas de siembra directa se identifican con SD y las de laboreo convencional con LB.

De manera complementaria, para esta evaluación se accede a información 20 segmentos con información de un total de 40 parcelas de siembra directa y sus pares, incluidas en el estudio anterior, que se ha desarrollado por el CSIC con un universo mayor de parcelas. Estos datos permiten desarrollar un estudio de caso que se presenta a continuación:

Tabla 35. Distribución de las muestras analizadas disponibles de la práctica de siembra directa.

Distribución	Nº de Segmentos		Nº de Parcelas	
	Secano	Regadío	Secano	Regadío
Andalucía	1	1	2	2
Aragón	1	1	2	2
Cantabria	1	1	2	2
Castilla la Mancha	1	1	2	2
Castilla y León	1	1	2	2
Catalunya	1	1	2	2
Madrid	1	1	2	2
Navarra	1	1	2	2
Galicia	1	1	2	2

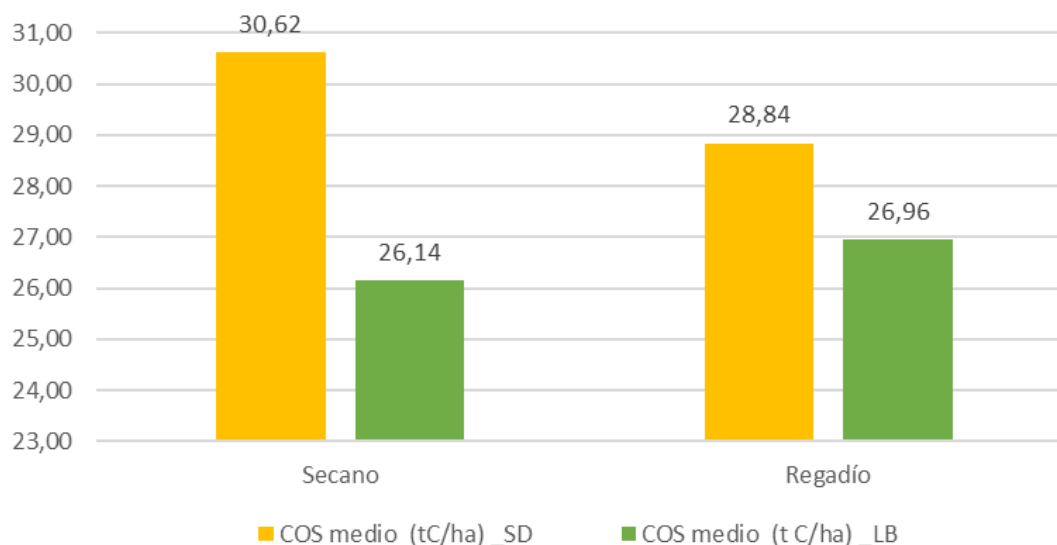
¹⁶⁴ Convenio MAPA-CSIC para el seguimiento y evaluación con base científica del plan estratégico de la PAC 2023-2027 de España. [Grupos de investigación | PTI AGRIAMBIO](#)

Distribución	Nº de Segmentos		Nº de Parcelas	
	Secano	Regadío	Secano	Regadío
La Rioja	1	1	2	2
Total	10	10	20	20

Fuente: elaboración propia a partir de la muestra de datos del Estudio "Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España".

En este conjunto de datos, también se refleja, por norma general, un mayor valor medio de COS en los suelos bajo la práctica de siembra, como se muestra en la siguiente gráfica.

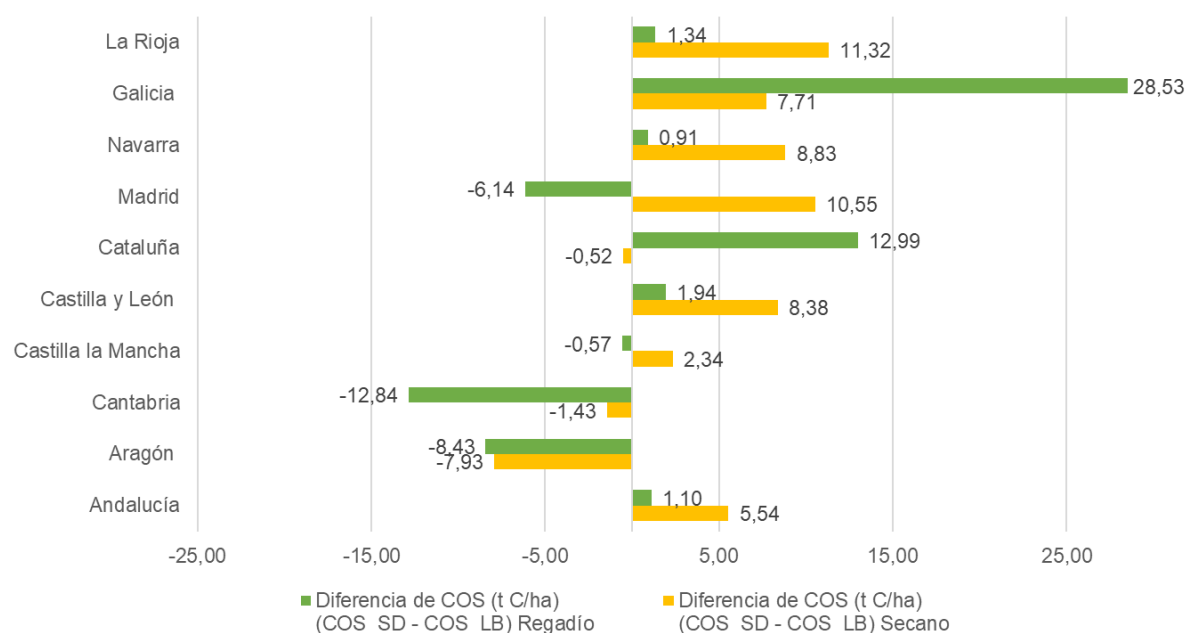
Gráfica 66. Valor medio de COS (t C/ha) en los primeros 30 cm de los pares de parcelas seleccionados.



Fuente: elaboración propia a partir de la muestra de datos del Estudio "Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España". SD: siembra directa; LB: laboreo convencional.

No obstante, hay pares concretos de parcelas donde se invierte esta tendencia (Gráfica 67), como es el caso de los herbáceos de secano de Aragón, Cantabria y Catalunya y en herbáceos de regadío de Aragón, Cantabria, Castilla-La Mancha y Madrid, en los que las parcelas de laboreo tradicional (LB) presentan una mayor concentración de COS en el suelo que las que tienen la práctica de siembra directa (SD).

Gráfica 67. Diferencia del valor de COS (t C/ha) en los primeros 30 cm de los pares de parcelas seleccionados (siembra directa y laboreo tradicional).

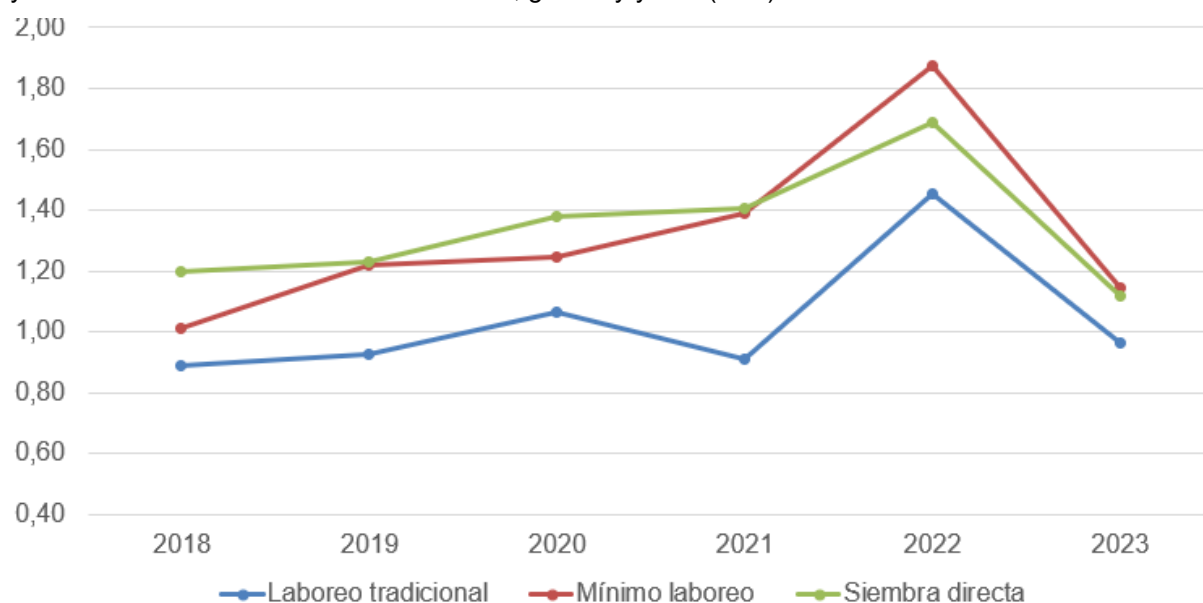


Fuente: elaboración propia a partir de la muestra de datos del Estudio “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España”.

El estudio de “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España” realizado por el MAPA con la colaboración del INIA-CSIC, en sus primeros resultados está dando reflejo del efecto positivo de las prácticas de siembra directa tiene en la retención de carbono orgánico en el suelo (COS), no obstante es necesario tomar estos resultados con prudencia ya que se está en la primera etapa del estudio y solo se trata de avances de resultados, aunque con mucha fiabilidad al tratarse de un universo muy amplio. Será necesario esperar a los trabajos de extensión del estudio a todo el territorio estatal, que abarcaran no solo los resultados obtenidos hasta ahora y siguientes, sino que tiene previsto incorporar otras informaciones sobre el potencial de los recintos (SIGPAC), la tendencia de las prácticas de agricultura del carbono (RSU) o la situación de partida de COS en el suelo (INIA 2016).

De manera complementaria, el IRIAF Albaladejito ha realizado un seguimiento de la materia orgánica en sus parcelas de ensayo, comparando el laboreo convencional, el mínimo laboreo y la siembra directa, de una rotación con la secuencia girasol-cebada-yeros, medida a través del % de C total y del % de materia orgánica, durante el periodo 2018-2023. En el mismo se ha medido el pH de los suelos, y los campos de ensayo tienen un suelo con pH en torno a 8, y una clasificación limo-arcillosa, con una proporción de arena en torno al 40%, de arcilla alrededor del 30% y de limo alrededor del 30%, con variaciones entre parcelas, pero en estos márgenes. Las comprobaciones se han hecho en parcelas cultivadas de cebada, yeros y girasol y los resultados en las medias de materia orgánica de estos cultivos en conjunto y su evolución, son los que se muestran a continuación.

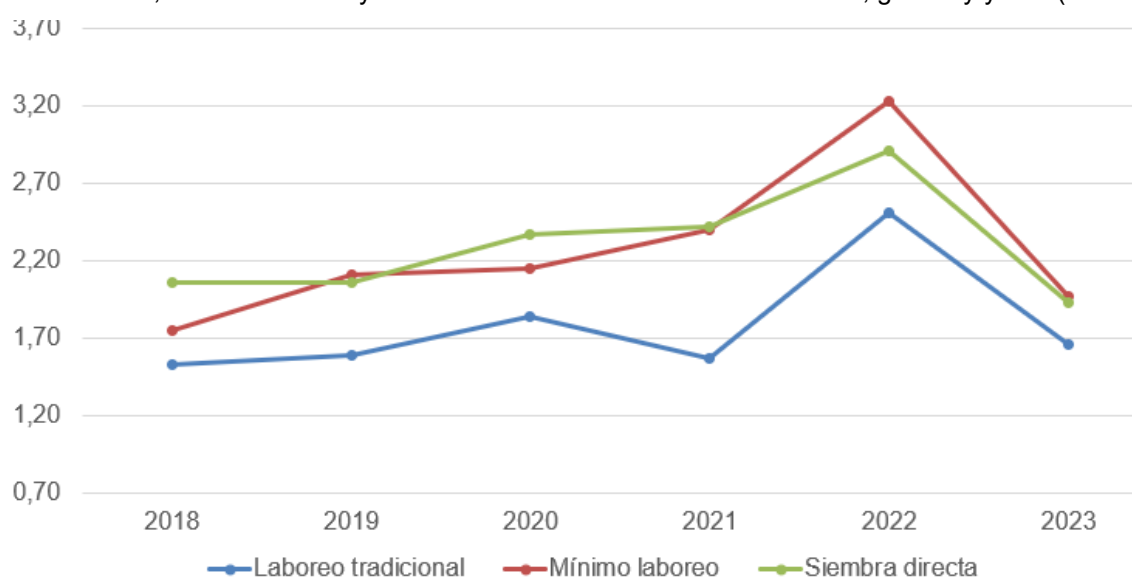
Gráfica 68. Evolución de la proporción de C en parcelas de ensayo de siembra directa, mínimo laboreo y laboreo tradicional de cultivos de cebada, girasol y yeros (% C).



Fuente: resultados del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras.

En los resultados se observa que en la serie de años muestreada las dos prácticas destinadas a la conservación del suelo tienen un % de C superior al del laboreo convencional. Además, se observa que el mínimo laboreo puede llegar a alcanzar proporciones superiores a las de la siembra directa. La tendencia de la materia orgánica es similar a la mostrada por el carbono. El contenido de materia orgánica en las tres prácticas es ascendente ya que, como informan los técnicos del IRIAF, los restos de cultivo se pican y se esparcen en las tres tipologías de parcelas de ensayo, lo que ha ido incrementando la materia orgánica en las tres tipologías de prácticas. Aun así, en condiciones similares, la siembra directa y el mínimo laboreo conservan en mayores proporciones la materia orgánica frente al laboreo convencional.

Gráfica 69. Evolución de la proporción de materia orgánica (MO) en el suelo en parcelas de ensayo de siembra directa, mínimo laboreo y laboreo tradicional de cultivos de cebada, girasol y yeros (% MO).



Fuente: resultados del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras.

Por lo tanto, **se comprueba la diferencia positiva de retención de carbono en los suelos de siembra directa, aunque con diferencias estimadas entre distintas fuentes.** Los ensayos del IRIAF Albaladejito muestran evidencias sólidas de que las dos prácticas de conservación del suelo retienen una cantidad de materia orgánica superior al del laboreo convencional, en las mismas condiciones de suelo y climáticas. Además, los resultados de aplicar los restos de cultivo picados y esparcidos tienen repercusión en el incremento de materia orgánica a largo plazo, en todas las prácticas.

De manera complementaria, estos resultados se complementan con los recogidos en la biblioteca de evidencias de las prácticas agrarias creada por el JRC, en la que se incluye un apartado específico para el manejo del suelo y artículos especializados en secuestro de carbono¹⁶⁵. De un total de 29 artículos recopilados para el no laboreo, aproximadamente la mitad muestran evidencias sobre un efecto positivo en el secuestro de carbono y del resto, en la mayor parte los efectos son no significativos o los resultados no han sido comprobados estadísticamente.

En conclusión, **se estima que, en 2022, casi el 60% de la superficie donde en 2023 se ha aplicado siembra directa disponía de un porcentaje de carbono en los primeros 30 cm de suelo por debajo del 1% y que para algo más del 37% de superficie se encuentra entre 1 y el 2%.** En este contenido de carbono, la cornisa cantábrica supone una excepción ya que supera estos contenidos del 2%.

Además, **el 96% de la superficie de siembra directa tenía en 2022 un contenido de carbono orgánico del suelo en los primeros 30 cm (COS30) por debajo de los 40 t/ha, y prácticamente el 75% de la superficie tiene un contenido de COS entre el 10 y 30 t/ha.**

Con este nivel de partida o línea de base, la siembra directa se ha aplicado en 2023 en una superficie de 1.392.501 ha y en 2024 en 1.402.760 ha, y ha contribuido a retener unas **1.183.625,85 t COS** en el total de la superficie del año 2023 y **1.192.346,00 t de COS** en el año 2024, teniendo en cuenta las estimaciones realizadas con la iniciativa 4 por mil. Con este resultado, se estima que el indicador de impacto I.11 2. “Estimación de los cambios de COS a lo largo del tiempo”, es decir, la concentración de carbono orgánico del suelo en tierras de cultivo con siembra directa **aumenta en las dos anualidades una media de 0,39 g/kg de suelo.**

Esta estimación de aumento de retención de COS está alineada con la tendencia de los resultados obtenidos al aplicar la metodología del informe “*Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027*”, que apuntan a un incremento producido por la implementación de la práctica de siembra directa en cultivos de secano contribuye a mejorar la calidad del suelo a través de la retención de carbono, con unas **292.159,82 t de COS** en el año 2023 y en **294.312,04 t de COS** en el año 2024. Como se observa, la tendencia es de incremento, aunque el nivel de incremento es significativamente diferente si se considera esta metodología o la anterior. **A través de esta**

¹⁶⁵ [JRC - Farming Practices Evidence library – dashboard](#)

metodología se estima que la retención de COS por hectárea resulta en un valor medio de 0,21 t C/ha/año.

Por otro lado, los avances de **resultados del estudio “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España”** ¹⁶⁶, realizado por el MAPA con la colaboración del INIA-CSIC a partir de los datos disponibles de la campaña 2023 también señalan que en las parcelas en las que se aplica **siembra directa**, el contenido de COS por hectárea en los primeros 30 cm de suelo es de **2 t C/ha superior a aquellas en las que se practica el laboreo tradicional**.

Las conclusiones podrán reforzarse con los resultados definitivos del Estudio “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España” ya que se basa en mediciones reales en parcelas de siembra directa y sus pares, con un universo muy amplio y representativo del territorio nacional. Además, esta cuantificación también se ve apoyada por la motivación de las personas que comenzaron a aplicar la siembra directa, en los principios de esta práctica y luego han seguido aplicándola, basada en la necesidad de mejorar la fertilidad de los suelos de sus explotaciones.

9.3. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones procedentes de prácticas agrícolas?

9.3.1. Factor de Éxito 5: La siembra directa incide en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los análisis llevados a cabo permiten introducir las siguientes conclusiones:

- Los resultados apuntan a la reducción de emisiones de GEI por la siembra directa, debido al aumento en la retención de carbono en el suelo, así como por el menor uso de combustible, debido a la reducción de labores.

Existen numerosos estudios de investigación que muestran que con la agricultura de conservación se mejora la calidad de los suelos y del agua, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y se secuestra una mayor cantidad de carbono, mitigando así el cambio climático.

Así mismo, también hay personas que ejercen la agricultura que gestionan su explotación con la práctica de siembra directa, desde hace unos años, y la experiencia apunta a que esta práctica regenera y mejora sustancialmente las condiciones del suelo en donde se practica, puesto que mejora su estructura y aumenta el nivel de materia orgánica. No obstante, también indican que hay que tener en cuenta que en algunos momentos es necesario realizar labores mecánicas mínimas para así esparcir los restos vegetales del cultivo anterior, airear la tierra, evitar problemas de compactación del terreno o incluso mejorar la nascencia de determinados cultivos como el girasol.

¹⁶⁶ Convenio MAPA-CSIC para el seguimiento y evaluación con base científica del plan estratégico de la PAC 2023-2027 de España. [Grupos de investigación | PTI AGRIAMBIO](#).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (las siglas en inglés FAO) “el contenido de materia orgánica se incrementa rápidamente después de cambiar las prácticas de manejo de suelos hacia la agricultura de conservación, incluyendo la labranza cero, la labranza mínima y la retención de residuos sobre la superficie del suelo”. Su máximo exponente en cultivos herbáceos es la siembra directa (SD), en la que el suelo no recibe labor alguna desde la recolección del cultivo hasta la siembra siguiente, manteniéndose todos los restos de la cosecha.

En esta pregunta de evaluación se propone responder a los logros de la siembra directa del PEPAC en materia de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Para ello, se han consultado dos metodologías basadas en los estudios científicos¹⁶⁷ que permiten estimar y cuantificar el efecto de esta práctica en la mitigación del cambio climático a través del sector de uso de la tierra, cambios de usos de la tierra y silvicultura (UTCUTS), en concreto en el CRT 4B del inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI).

Para cuantificar la magnitud de la reducción de las emisiones, aplicando la metodología del informe “**Iniciativa 4 por mil: El carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España**”, se estima que la práctica de siembra directa contribuye a la mitigación del cambio climático con la reducción de las emisiones de CO₂eq a la atmosfera (Tabla 36), en unas **4.343.907 t de CO₂eq** en el año 2023 y en **4.375.910 t de CO₂eq** en el año 2024.

Tabla 36. Estimación de los efectos beneficiosos de la siembra directa en el secuestro de carbono en el suelo y en la eliminación de emisiones de GEI.

Anualidad PEPAC	Cuantificación del aumento de COS (t ha ⁻¹ año ⁻¹) Valores medios de fijación hasta 10 años	Siembra directa en 2022 (antes)	Superficie (ha)	COS (t de C año ⁻¹)	CO ₂ eq (t año ⁻¹)
2023	0,85	Con SD en 2022	382.552,23	325.169,40	1.193.372
		Sin SD en 2022	1.009.948,77*	858.456,45	3.150.535
	TOTAL		1.392.501,00	1.183.625,85	4.343.907
2024	0,85	Con SD en 2022	373.706,32	317.650,37	1.165.777
		Sin SD en 2022	1.029.053,68*	874.695,63	3.210.133
	TOTAL		1.402.760,00	1.192.346,00	4.375.910

Fuente: elaboración propia a partir de la información del documento *Iniciativa 4 por mil: y Balance de aplicación de la PAC (2023 y 2024)*. Nota: para obtener el valor del CO₂ evitado se obtiene multiplicando el COS por el coeficiente 3,67, que resulta de la relación de pesos moleculares del CO₂ y C (44/12). *nueva superficie impulsada por el PEPAC. Para la superficie de siembra directa de 2022 se ha tomado la referencia de la RSU para emplear la misma fuente que en 2023 y 2024, a pesar de las discrepancias de información entre ESYRCE y RSU.

Sin embargo, como se ha explicado para la evaluación del COS, hay que tener en cuenta que el cambio se produce aproximadamente en un 72,5% de la superficie declarada con siembra

¹⁶⁷ Iniciativa 4 por mil: El carbono orgánico del suelo como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en España (MITERD) y Informe “Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027”, del Servicio de Evaluación de la PAC Helpdesk.

directa en 2023 y un 73,4% en 2024, lo que supone que podrían atribuirse¹⁶⁸ al **PEPAC 3.150.535 t CO₂eq/año y de 3.210.133 t CO₂eq/año, respectivamente** ya que hay superficie de siembra directa en la cual ya se realizaba esta práctica con anterioridad (Tabla 36), como también confirman los resultados de la encuesta realizada a las personas que aplican esta técnica.

Entre los problemas relacionados con la materia orgánica apuntados en el sondeo de opinión a las personas que declaran la práctica (anexo IV), se señala una dificultad muy frecuente relacionada con la excesiva cantidad de paja o tamo tras la cosecha, que afecta a la nascencia del cultivo siguiente y al trabajo de la sembradora. Entre las soluciones más habituales se encuentran el empacado de la paja, su trituración o distribución uniforme en el terreno, e incluso puede cosecharse utilizando un molinillo o esparcidor.

Según la metodología desarrollada por el Helpdesk en el documento “*Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027*”, también se estima que la siembra directa, en la totalidad de la superficie declarada, favorece la mitigación del cambio climático, incidiendo en la reducción de las emisiones de CO₂eq a la atmosfera (Tabla 37) en, aproximadamente, **1.072.226,54 t de CO₂eq** en el año 2023 y **1.080.125,20 t de CO₂eq** en 2024.

Tabla 37. Resultados de la estimación de siembra directa, emisiones de CO₂eq.

Intervención	Práctica sostenible	Efectos en CRT 4.B (t CO ₂ eq/año)	
		2023	2024
Siembra directa en tierras de cultivo de secano	S2X Cobertura del suelo - General	929.771,92	947.038,40
	R11 Rotación de cultivos	-	-
Siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo"	S2X Cobertura del suelo - General	51.817,92	52.734,99
	R11 Rotación de cultivos	-	-
Siembra directa en tierras de cultivo de regadío"	S2X Cobertura del suelo - General	90.636,70	80.351,81
	R11 Rotación de cultivos	-	-
TOTAL		1.072.226,54	1.080.125,20

Fuente: elaboración propia a partir del documento “*Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027 period, General methodology*” (28 junio 2024) y de la información del Balance de aplicación de la PAC.

Si se considera sólo la nueva superficie en la que se aplica la práctica impulsada por el **PEPAC¹⁶⁹**, se incide en una reducción de emisiones de **777.661,11 t CO₂eq/año, en 2023 y en 792.371,33 t CO₂eq/año, en 2024**. En el resto de superficie, que corresponde al 27,4% de 2023 y el 26,6% de 2024, la siembra directa se implementa con anterioridad y se está

¹⁶⁸ Para cuantificar los resultados atribuibles al PEPAC se ha considerado la superficie de siembra directa que se cuantifica en el RSU de 2022, para considerar la misma fuente de datos que la de 2023 y 2024. No obstante, esta atribución está sujeta a la limitación 3, descrita en el capítulo 6, sobre las discrepancias entre las superficies incluidas en ESYRCE y el RSU.

¹⁶⁹ Para cuantificar los resultados atribuibles al PEPAC se ha considerado la superficie de siembra directa que se cuantifica en el RSU de 2022, para considerar la misma fuente de datos que la de 2023 y 2024. No obstante, esta atribución está sujeta a la limitación 3, descrita en el capítulo 6, sobre las discrepancias entre las superficies incluidas en ESYRCE y el RSU.

contribuyendo al mantenimiento y conservación de este efecto de la agricultura de conservación en herbáceos (Tabla 38).

Tabla 38. Superficie de siembra directa dentro del PEPAC que Continúa y Nueva respecto a la anualidad 2022) y reducción de las emisiones gases efecto invernadero.

Anualidad PEPAC	Continuidad o implantación de la práctica de siembra directa	Superficie (ha)	CO ₂ eq (t año ⁻¹)
2023	Superficie que mantiene la práctica de siembra directa desde 2022 (antes del PEPAC)	382.552,23	294.565,43
	Superficie de siembra directa desde 2023 (Nueva en el PEPAC)	1.009.948,77	777.661,11
2024	Superficie que mantiene la práctica de siembra directa desde 2022 (antes del PEPAC)	373.706,32	296.735,37
	Superficie de siembra directa desde 2023 o 2024 (Nueva en el PEPAC).	1.029.053,68	792.371,33

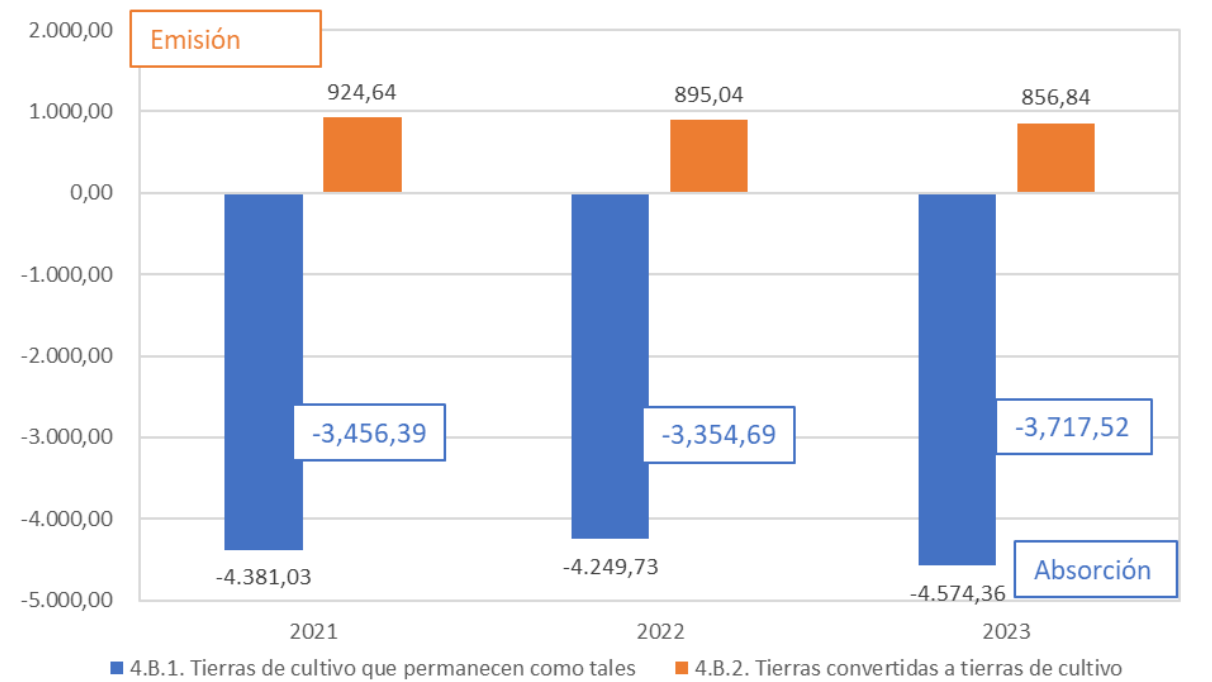
Fuente: elaboración propia a partir del documento “Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027 period, General methodology” (28 junio 2024) y de la información del Balance de aplicación de la PAC.

En la comunicación del inventario nacional de gases de efecto invernadero a la Comisión Europea¹⁷⁰, y en concreto en el apartado 6.5, se indica en la categoría 4B la variación de las existencias de C y de las emisiones/absorciones asociadas que tienen lugar en las Tierras de cultivo.

En los últimos tres años la información de emisiones de CO₂eq de las tierras de cultivo reflejan una absorción neta próxima a los -3.500 Kt CO₂ al año, con un descenso en la anualidad 2022 (Gráfica 70 y Gráfica 71). No obstante, reseñar que el inventario nacional de emisiones para este cálculo de los cultivos herbáceos que permanecen como cultivos herbáceos durante el periodo analizado supone que el carbono orgánico del suelo (COS) está en equilibrio, es decir, no se tiene en cuenta el potencial de retención de prácticas de conservación de carbono en el suelo ya que, en su mayoría, los suelos se siguen sometiendo a las prácticas tradicionales (laboreo tradicional), aunque ya hay estadísticas que apuntan a que se realizan prácticas conservadoras (siembra directa) en este tipo de cultivos, con una tendencia creciente a lo largo de los últimos 14 años.

¹⁷⁰ Comunicación a la Comisión Europea en cumplimiento del reglamento (UE) 2018/1999 comunicación al secretariado de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (<https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-es-nid-edicion-2025-.pdf>).

Gráfica 70. Emisiones/absorciones de gases efecto invernadero de la categoría tierras de cultivo (4B), 2021 a 2023 (Kt).



Fuente: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI), MITERD.

La absorción de CO₂eq de la siembra directa en suelo a través de la metodología del documento Iniciativa 4 por mil y la desarrollada por el Helpdesk, están relacionadas con los datos publicados en el inventario nacional de gases de efecto invernadero en la categoría 4B. No obstante, estas estimaciones tienen una metodología diferente por lo que es necesario tomar los porcentajes con cierta prudencia.

Así, al tomar como referencia la información del MITERD de 2023 sobre las emisiones de CO₂eq y valorar el peso en la disminución de las mismas, se puede estimar **que la reducción al aplicar la práctica de siembra directa supone un peso respecto a las emisiones/absorciones de la categoría 4B del inventario nacional de gases de efecto invernadero de entre el 7,83%, en el caso de la superficie que ya venía aplicando la siembra directa antes de la aplicación del PEPAC y el 21,12% para aquella superficie en la que la práctica se ha impulsado con el PEPAC al aplicar la metodología del Helpdesk y mucho más elevado el efecto si se aplica la metodología del informe iniciativa 4 por mil, que sitúa en 31,73% y en 85,55% la variación (Tabla 39).**

Tabla 39. Peso de la absorción media de CO₂eq de siembra directa del PEPAC (t CO₂eq/ año) respecto a las emisiones/absorciones la categoría 4B del inventario nacional de gases de efecto invernadero.

Metodología de estimación		Iniciativa 4 por mil		Metodología Helpdesk	
Continuidad o implementación de siembra directa SD		Sup. que se mantiene de 2022	Sup. nueva de siembra directa	Sup. que se mantiene de 2022	Sup. nueva de siembra directa
Estimación de la absorción de CO ₂ eq en el suelo por la práctica de siembra directa (t CO ₂ eq)	2023	1.193.371,68	3.150.535,19	294.565,43	777.661,11
	2024	1.165.776,87	3.210.132,95	287.753,87	792.371,33
	Media 2023-2024	1.179.574,27	3.180.334,07	291.159,65	785.016,22
Emisiones/absorciones CO ₂ e en categoría 4B el inventario nacional de gases de efecto invernadero (2023) (Kt CO ₂ eq)		-3.717,52			

Metodología de estimación		Iniciativa 4 por mil		Metodología Helpdesk	
Continuidad o implementación de siembra directa SD		Sup. que se mantiene de 2022	Sup. nueva de siembra directa	Sup. que se mantiene de 2022	Sup. nueva de siembra directa
Peso de la estimación de la absorción de CO ₂ eq de siembra directa respecto las emisiones/absorciones de la categoría 4B del inventario nacional de gases de efecto invernadero	2023	-32,10%	-84,75%	-7,92%	-20,92%
	2024	-31,36%	-86,35%	-7,74%	-21,31%
	Media 2023-2024	-31,73%	-85,55%	-7,83%	-21,12%

Fuente: elaboración propia a partir de la información de la iniciativa 4 por mil, Helpdesk, RSU 2023 y 2024 e inventario nacional de gases de efecto invernadero.

En la contribución a la mitigación del cambio climático, además de la reducción de emisiones derivada de la retención de carbono descrita anteriormente, también se incide en la reducción de emisiones a través de un menor consumo de energético. La evidencia obtenida con la experiencia de los más de 25 años de experiencia de la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV)¹⁷¹, que lleva más de 25 años apostando por la siembra directa, indica que esta técnica supone un ahorro energético, debido a la reducción del número de labores y, en términos generales, cuando el equilibrio del suelo tras los primeros años se ha restablecido y la persona que aplica la práctica ya tiene conocimiento de la misma, no tiene porqué conllevar una reducción de las producciones. El consumo energético asociado a las diferentes prácticas agrícolas llevadas a cabo (laboreo, aplicación de abonos y enmiendas, riego, tratamientos fitosanitarios, etc.) se centra en el uso de combustibles fósiles, especialmente gasóleo, lo que implica inevitables emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI). En tanto que estas se reducen con la siembra directa, las emisiones descienden en consecuencia.

Por ello, de manera complementaria, para el análisis de la incidencia de la siembra directa en las emisiones de GEI se consulta la metodología descrita en el estudio del **Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía-IDAE**, detallada en el apartado de metodología (apartado 5.3 y Anexo I. Metodología. Técnicas aplicadas). Al aplicar los coeficientes asociados a cada grupo de cultivo con la superficie de siembra directa se obtiene la estimación de la reducción del consumo de gasóleo inducido por la práctica, respecto al laboreo convencional. En el caso de que en toda la superficie declarada de siembra directa se hubiera desarrollado previamente Laboreo Convencional (LC) y posteriormente se hubiera aplicado la siembra directa con la implementación del PEPAC, se **estima una reducción del consumo de gasóleo al año de 46.619.789,57 l/año en 2023 y de 45.696.066,20 l/año en 2024**, con una media anual de las dos primeras anualidades de ejecución de 46.157.927,89 litros de gasóleo al año (Tabla 40).

¹⁷¹

<https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/reforma-de-la-pac/plan-estrategico-pac-post-2020/documentos/practicas-sostenibles-priman-nueva-pac.pdf>.

Tabla 40. Reducción del consumo de gasóleo de la superficie de siembra directa de 2023 y 2024 (l/año) en comparación con laboreo convencional.

Superficie de SD y grupo de cultivo	% de superficie de cada grupo de cultivo		Coeficiente reducción del consumo de gasóleo (comparativa siembra directa - convencional)		Reducción del consumo de gasóleo (l/año)	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Superficie total (ha)	1.392.501,00	1.402.760,00	-		46.619.789,57	45.696.066,20
Cereales en SD (%)	66,43%	66,49%	36,51		33.774.048,89	34.051.051,57
Leguminosas en SD (%)	11,23%	9,52%	41,00		6.412.728,56	5.475.449,13
Oleaginosas en SD (%)	8,96%	8,20%	39,2		4.893.611,51	4.510.291,87
Pratenses en SD (%)	2,22%	2,32%	37,946		1.170.886,47	1.237.303,16
Industriales en SD (%)	0,18%	0,11%	37,946		94.310,53	58.105,95
Hortalizas en SD (%)	0,15%	0,10%	37,946		81.518,63	53.781,85
Otros cultivos en SD (%)	0,36%	0,58%	37,946		192.684,97	310.082,68
Barbecho en SD (%)	10,46%	12,67%	No se considera		-	-

Fuente: elaboración propia a partir de la información del IDAE, Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación, 2009 y RSU 2023 y 2024.

No obstante, no toda la superficie de siembra directa puede ser atribuida al PEPAC¹⁷², por lo que se procede a reducir este consumo en las mismas proporciones. En el caso de aplicar esta reducción de superficie, no atribuible al PEPAC, se **estima una reducción del consumo de gasóleo al año de 33.845.967,22 l/año en 2023 y de 33.540.912,50 l/año en 2024**, con una media anual en estas dos primeras anualidades de ejecución de 33.693.439,91 litros de gasóleo al año.

Por último, se valora la diferencia de emisiones de CO₂ equivalente en la eficiencia energética de la siembra directa. Para ello, se utiliza el factor de emisión del gasóleo B de las instalaciones fijas publicado por el MITERD, 2,737 kg CO₂eq/litro¹⁷³. Este factor de emisiones permite estimar una **reducción de las emisiones de CO₂eq de toda la superficie de siembra directa en 126.334,25 t CO₂eq/año** (Tabla 41) de media en las dos anualidades, para cada uno de los dos años implementados, si se considera que toda la superficie de siembra directa del PEPAC inicialmente estaba en laboreo convencional y **de 92.218,95 t**

¹⁷² Para cuantificar los resultados atribuibles al PEPAC se ha considerado la superficie de siembra directa que se cuantifica en el RSU de 2022, para considerar la misma fuente de datos que la de 2023 y 2024. No obstante, esta atribución está sujeta a la limitación 3, descrita en el capítulo 6, sobre las discrepancias entre las superficies incluidas en ESYRCE y el RSU.

¹⁷³ https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemision_tcm30-542746.xlsx.

CO₂eq/año como resultado del impulso del PEPAC a esta práctica, con la nueva superficie.

Tabla 41. Reducción de las emisiones de CO₂eq por el ahorro en el consumo de gasóleo con la superficie de siembra directa del PEPAC (t CO₂eq/año) en comparación con el laboreo convencional.

Superficie de SD nueva		Superficie total de SD	Nueva superficie de SD
Estimación de la reducción de consumo de gasóleo	2023	46.619.789,57	33.845.967,22
	2024	45.696.066,20	33.540.912,59
	Media 2023-2024	46.157.927,89	33.693.439,91
Coeficiente de emisiones del gasóleo B (kgCO ₂ eq/litro)		2,737	
Estimación de la reducción de CO ₂ eq del gasóleo	2023	127.598,36	92.636,41
	2024	125.070,13	91.801,48
	Media 2023-2024	126.334,25	92.218,95

Fuente: elaboración propia a partir de la información del IDAE, Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación, 2009 y RSU 2023 y 2024.

Se puede estimar que, por hectárea de siembra directa, existe una reducción de emisiones de CO₂eq a la atmosfera de **90,38 Kg CO₂eq/ha** de media para las dos anualidades de estudio del PEPAC, asociado a la reducción del consumo de gasóleo en las labores del cultivo de la nueva superficie de siembra directa impulsada por el PEPAC (Tabla 42).

Tabla 42. Reducción media de las emisiones de CO₂eq por cada nueva hectárea de siembra directa impulsada por el PEPAC (Kg CO₂eq/ha año).

Año	2023	2024	Media 2023-2024
Superficie nueva de SD (ha)	1.010.955,73	1.029.625,84	1.020.290,78
Reducción del consumo de gasóleo (laboreo convencional a siembra directa (Kg CO ₂ eq/ha año)	91,63	89,16	90,38

Fuente: elaboración propia a partir de la información del IDAE, Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación, 2009 y RSU 2023 y 2024.

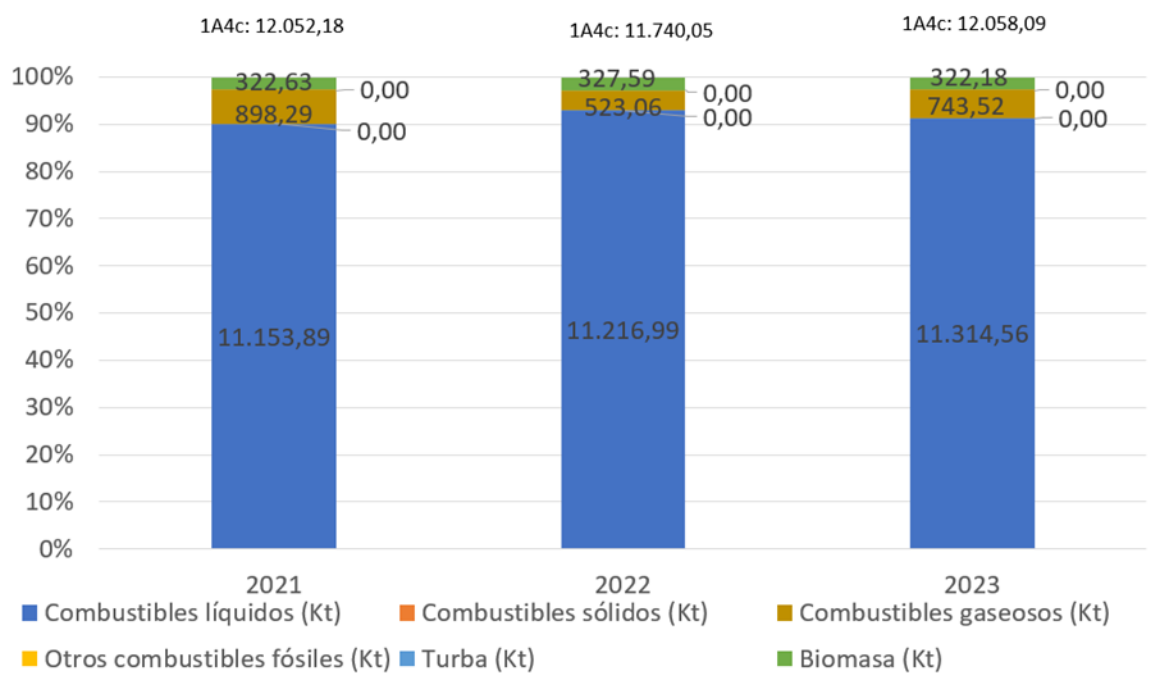
En la comunicación del inventario nacional de gases de efecto invernadero a la Comisión Europea¹⁷⁴, se indica que en la categoría 1A4 Combustión en otros sectores, se recoge las emisiones generadas en las actividades de combustión de los sectores no industriales, entre los que se incluyen los sectores residencial, comercial e institucional (RCI), así como **la combustión en agricultura, selvicultura, acuicultura y pesca**.

La estimación relacionada con el sector de agricultura, selvicultura y pesca se recoge en la actividad y los requerimientos energéticos asociados a la misma, para lo que se estima que la práctica totalidad el combustible es gasóleo. Según se indica en el documento del inventario de gases de efecto invernadero, la demanda total energética en este sector muestra una evolución general de crecimiento debido, principalmente, al aumento del parque de maquinaria móvil agrícola (principal actividad consumidora en este sector) y, con carácter secundario, a la demanda en las instalaciones fijas de establecimientos agrícola-ganaderos.

¹⁷⁴ Comunicación a la Comisión Europea en cumplimiento del reglamento (UE) 2018/1999 comunicación al secretariado de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (<https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/es-nid-edicion-2025-.pdf>).

En los últimos tres años la información de emisiones de CO₂eq de los combustibles asociados a la actividad agricultura, selvicultura, acuicultura y pesca (categoría 1A4c), se mantiene próxima a las 12.000 Kt al año, con un descenso en la anualidad 2022 (Gráfica 71).

Gráfica 71. Emisiones de gases efecto invernadero de la categoría de combustión del sector de agricultura, selvicultura y pesca (1A4c), 2021 a 2023 (Kt).



Fuente: *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI), MITERD.*

La reducción de las emisiones CO₂eq de la siembra directa, asociada al ahorro en los consumos de gasóleo, se puede relacionar con los datos publicados en el inventario nacional de gases de efecto invernadero en la categoría 1A4c. No obstante, estas estimaciones tienen una metodología diferente por lo que es necesario tomar los porcentajes con cierta prudencia.

Así, al tomar como referencia la información del MITERD de 2023 sobre las emisiones de CO₂eq y valorar el peso en la reducción de las emisiones al implementar la práctica de siembra directa, **se puede estimar que la reducción al aplicar la misma supone un peso respecto a las emisiones de la categoría 1A4c del inventario nacional de gases de efecto invernadero de entre el 0,28%, en el caso de la superficie que ya venía aplicando la siembra directa antes de la aplicación del PEPAC y el 0,76% para aquella superficie en la que la práctica se ha impulsado con el PEPAC** (Tabla 43).

Tabla 43. Peso de la reducción media de las emisiones de CO₂eq de siembra directa del PEPAC (t CO₂eq/año) respecto a las emisiones la categoría 1A4c del inventario nacional de gases de efecto invernadero.

Supuestos de laboreo antes del PEPAC.	Continuidad o implementación de siembra directa SD	Estimación de la reducción de CO ₂ eq del gasóleo en la práctica de siembra directa (t CO ₂ eq)			Emisiones CO ₂ eq en categoría 1A4c el inventario nacional de gases de efecto invernadero (2023) (Kt CO ₂ eq)	Peso de la estimación de la reducción de CO ₂ eq del gasóleo de siembra directa respecto las emisiones de la categoría 1A4c del inventario nacional de gases de efecto invernadero		
		2023	2024	Media 2023-2024		2023	2024	Media 2023-2024
Reducción del consumo de gasóleo (laboreo convencional a siembra directa)	Superficie que se mantiene de 2022	35.054,22	33.319,67	34.186,95	12.058,09	0,29%	0,28%	0,28%
	Superficie nueva de siembra directa	92.544,14	91.750,46	92.147,30		0,77%	0,76%	0,76%

Fuente: elaboración propia a partir de la información del IDAE, Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación, 2009, RSU 2023 y 2024 e inventario nacional de gases de efecto invernadero. La superficie de 2022 es aquella obtenida del RSU, aunque es necesario tener en cuenta las discrepancias de esta fuente con ESYRCE.

Estos resultados cuantitativos están alineados con las conclusiones de las investigaciones sobre siembra directa de cereales iniciadas en España¹⁷⁵ en 1980 cuyos resultados ponen de manifiesto que la práctica de la siembra directa no afectaba al rendimiento de los cereales, consiguiéndose en cambio reducir en un 80% los consumos energéticos. Poco después, se fueron extendiendo este tipo de ensayos a otras regiones españolas, destacando los realizados, desde 1982 hasta la actualidad, por el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA) en Andalucía¹⁷⁶.

En conclusión, los estudios de referencia y las aportaciones de la AEACSV **apuntan a la reducción de emisiones de GEI por la siembra directa**, por el aumento en la retención de carbono en el suelo y por el menor uso de combustible, por la reducción de labores están contribuyendo a mitigar el cambio climático.

Al aplicar la metodología propuesta por la **Iniciativa 4 por mil** se estima que la implementación de la práctica de siembra directa en nueva superficie con el PEPAC contribuye a la mitigación del cambio climático con la reducción de las emisiones de CO₂eq a la atmosfera, en unas **3.150.535 t de CO₂eq** en el año 2023 y en **3.210.133 t de CO₂eq** en el

¹⁷⁵ En la finca El Encín (Madrid), cuyos ensayos fueron llevados a cabo en base a un convenio entre la ETSIA de la Universidad Politécnica de Madrid y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

¹⁷⁶ en la finca Tomejil en Carmona (Sevilla), en colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad de Córdoba; los realizados por el Instituto Técnico y de Gestión Agraria en Navarra; y los llevados a cabo en Castilla y León por los departamentos técnicos de empresas relacionadas con el sector agrario.

año 2024.

De manera complementaria, si se estima esta contribución con la metodología proporcionada por el Helpdesk en el documento “***Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027***”, también se estima que la nueva superficie de siembra directa impulsada por el PEPAC, reduce las emisiones de CO₂eq a la atmosfera en, aproximadamente, **777.661,11 t CO₂eq/año, en 2023 y en 792.371,33 t CO₂eq/año, en 2024**, que supone un orden de magnitud diferente a la anterior metodología.

Esto permite estimar que la absorción de emisiones al aplicar la siembra directa supone un peso respecto a las recogidas para las tierras de cultivo (categoría 4B) del inventario nacional de gases de efecto invernadero del 85% para la iniciativa 4 por mil y de 21% en la metodología del Helpdesk para aquella superficie en la que la práctica se ha impulsado con el PEPAC.

A través de la metodología propuesta por el IDAE, la superficie de siembra directa que ha impulsado el PEPAC contribuiría a una reducción **del consumo de gasóleo al año de 33.845.967,22 l/año en 2023 y de 33.540.912,50 l/año en 2024**. Esto conlleva estimar una **reducción media** de las emisiones de CO₂eq de la nueva superficie de siembra directa en **92.218,95 t CO₂eq/año** para cada uno de los dos años implementados, **lo que se traduce en una reducción de emisiones de CO₂eq a la atmosfera de en 90,38 Kg CO₂eq/ha de media para las dos anualidades de estudio del PEPAC**.

La estimación de la reducción de emisiones al aplicar la siembra directa **supone un peso respecto a las emisiones de la actividad agricultura, silvicultura, acuicultura y pesca (categoría 1A4c) del inventario nacional de gases de efecto invernadero del 0,76% para aquella superficie en la que la práctica se ha impulsado con el PEPAC**.

9.4. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa en la mejora de la gestión y conservación de los suelos agrícolas?

9.4.1. Factor de Éxito 6: La siembra directa reduce la erosión del suelo.

Los análisis llevados a cabo permiten introducir las siguientes conclusiones:

- La mayor parte de la siembra directa se ha ubicado en zonas de erosión hídrica baja.
- La siembra directa contribuye a reducir el riesgo de erosión de la superficie cultivada. La reducción de la erosión media se estima en 3,4 t·ha⁻¹·año⁻¹ en la superficie de secano y 1,1 t·ha⁻¹·año⁻¹ para la superficie de regadío.

El objetivo de este factor de éxito es mostrar los logros de la siembra directa en materia de erosión del suelo. Para ello se ha empleado como indicador, el indicador de impacto **I.13** llamado “**Reducción de la erosión del suelo**”, que tiene como base el indicador de contexto **C.41** incluido en la ficha de la Comisión¹⁷⁷, denominado “**Erosión del suelo por**

¹⁷⁷ Indicadores de contexto e impacto 25/10/2024 – Versión 10.0 ([Context and Impact indicators](#)).

el agua: Porcentaje de tierras agrícolas con erosión del suelo moderada y severa”. Este indicador está compuesto por 2 subindicadores específicos:

1. Ratio estimada de suelo perdido por erosión hídrica ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)
2. Porcentaje de superficie agrícola en riesgo moderado o severo de erosión del suelo (%).

Como se ha detallado en el apartado de metodología, estos subindicadores específicos evalúan la pérdida de suelo mediante procesos de erosión hídrica proporcionando una estimación de las áreas afectadas por una cierta tasa de erosión del suelo de moderado ($>5 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) a severa ($>10 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$). Está basado en el modelo de Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (llamado RUSLE2015) (JRC-Ispra) que fue desarrollado para evaluar la erosión del suelo por el agua en la Unión Europea.

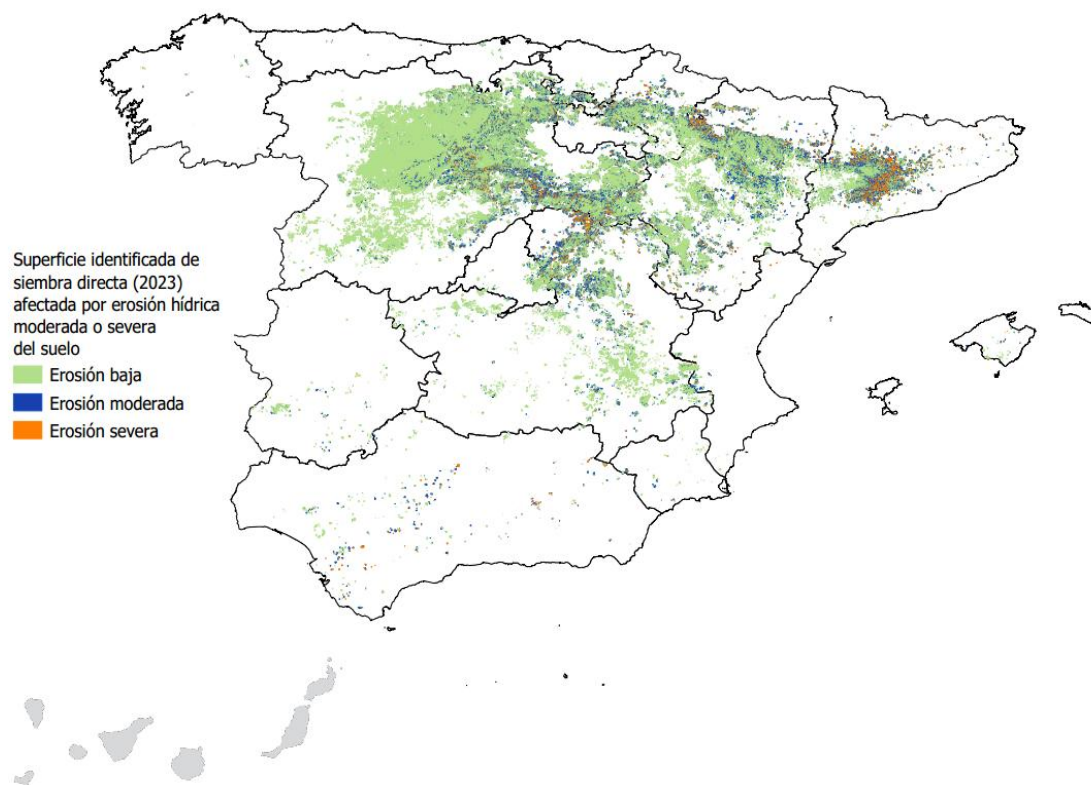
Teniendo en cuenta las indicaciones de la “*Guideline assessing RDP Achievement and impacts in 2019*”¹⁷⁸ y el cálculo del modelo RUSLE2016 explicado anteriormente en la metodología (apartado 5.3 y Anexo I. Metodología. Técnicas aplicadas), se estudian, a continuación, para el cálculo del indicador I.13 y para el factor de éxito que nos concierne, los efectos de la siembra directa en relación con la erosión del suelo.

Con el resultado de cruzar la superficie de siembra directa declarada en 2023 y la información de erosión del suelo por el agua proporcionada por RUSLE2016, como se ha introducido en la metodología, **se estima que la superficie de siembra directa en España se ubica en zonas en las que la tasa media de pérdida de suelo por erosión hídrica era en 2016 de 4,1 toneladas por hectárea y año.**

Más del 80% de la superficie de siembra directa se clasificó como de baja erosión ($0 < 5 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) mientras que un 14,3% presenta una erosión moderada ($5 < 10 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) y un 4,4% con riesgo de erosión severa ($\geq 10 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) (Figura 36).

¹⁷⁸ European Commission – Directorate-General for Agriculture and Rural Development – Unit C.4 (2018): *Guidelines. Assessing RDP achievements and impacts in 2019*. Brussels, August 2018. (https://ec.europa.eu/enrd/sites/default/files/evaluation_publications/twg5_part_1-2_rdp_impacts_august2018.pdf).

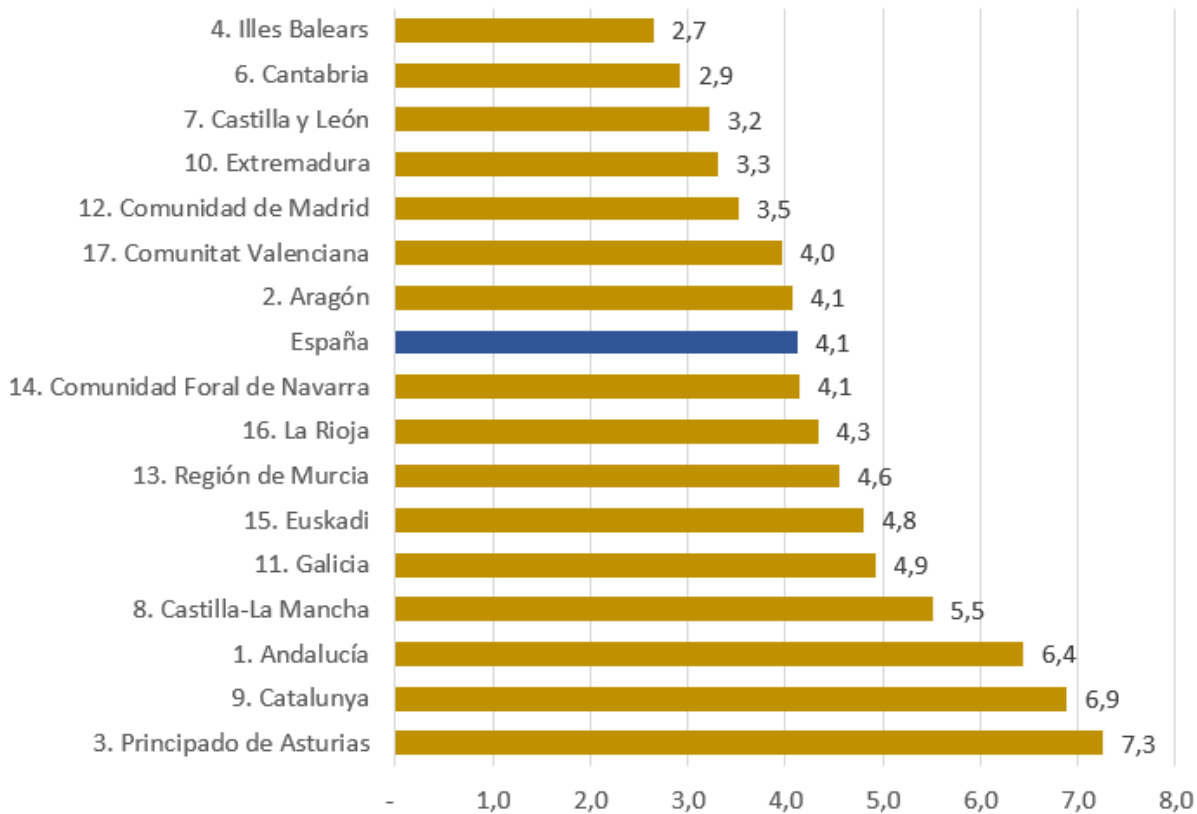
Figura 36. Superficie de siembra directa en riesgo de pérdida de suelos por erosión baja, moderada y severa en España.



Fuente: elaboración propia a partir de European Soil Data Centre (ESDAC), Erosión del suelo por agua (RUSLE2016) y RSU 2023.

A nivel regional, la tasa media de erosión hídrica en la superficie de siembra directa, declarada en 2023, estaba en 2016 por encima de la media nacional en 9 CC.AA., destacando el Principado de Asturias ($7,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), Catalunya ($6,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) y Andalucía ($6,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$). En contraposición, con la menor tasa de erosión hídrica, se encuentran Illes Balears ($2,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), Cantabria ($2,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) y Castilla y León ($3,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$).

Gráfica 72. Tasa media de erosión hídrica en 2016 en la superficie de siembra directa 2023 por CCAA.



Fuente: elaboración propia a partir de European Soil Data Centre (ESDAC), Erosión del suelo por agua (RUSLE2016) y RSU 2023.

Siguiendo con el análisis de la tasa de erosión (categorizada como baja, moderada y severa) en superficie de siembra directa a escala regional, se puede observar que las CC.AA. con mayor porcentaje de superficie de siembra directa que en 2016 tenían un riesgo de erosión moderado, superando el 30%, son Comunitat Valenciana, Región de Murcia, Andalucía, Euskadi y Catalunya. Con más del 15% de superficie con riesgo severo en 2016 se encuentran Principado de Asturias, Catalunya y Andalucía (Tabla 44).

Tabla 44. Porcentaje de superficie de siembra directa de 2023 con riesgo de pérdida de suelo bajo, moderado o severo para el año 2016.

	% de superficie de siembra directa		
	Erosión baja 0 < 5 t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	Erosión moderada >= 5 < 10 t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	Erosión severa >= 10 t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹
1. Andalucía	51,7%	32,1%	16,2%
2. Aragón	76,4%	19,1%	4,5%
3. Principado de Asturias	59,8%	18,6%	21,6%
4. Illes Balears	78,3%	17,1%	4,5%
6. Cantabria	84,6%	13,2%	2,2%
7. Castilla y León	88,1%	9,5%	2,3%
8. Castilla-La Mancha	76,2%	17,6%	6,2%
9. Catalunya	50,3%	30,8%	18,9%
10. Extremadura	87,7%	11,2%	1,1%
11. Galicia	68,4%	25,3%	6,3%
12. Comunidad de Madrid	84,2%	14,3%	1,5%
13. Región de Murcia	54,8%	39,1%	6,1%
14. Comunidad Foral de Navarra	77,7%	18,0%	4,3%

	% de superficie de siembra directa		
	Erosión baja $0 < 5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$	Erosión moderada $\geq 5 < 10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$	Erosión severa $\geq 10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$
15. Euskadi	59,8%	31,7%	8,5%
16. La Rioja	72,1%	22,4%	5,5%
17. Comunitat Valenciana	55,6%	41,0%	3,4%
España	81,3%	14,3%	4,4%

Fuente: elaboración propia a partir de European Soil Data Centre (ESDAC), Erosión del suelo por agua (RUSLE2016) y RSU 2023.

Por lo tanto, la mayoría de superficies declaradas en 2023 con práctica de siembra directa en España (81,3%) presentaban en 2016 una erosión hídrica del suelo baja ($0 < 5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) mientras que el 4,4% se ha ubicado en zonas con una erosión hídrica severa ($\geq 10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y un 14,3% en zonas de erosión moderada (≥ 5 y $< 10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), por lo que teniendo en cuenta los efectos positivos de la práctica en la erosión, documentados en la bibliografía, es previsible una incidencia relevante en la erosión del suelo.

Tras este análisis que permite ubicar la situación de partida de la superficie de siembra directa declarada en 2023, se muestra en la Tabla 45 la información de los puntos de muestreo del Inventario Nacional de Erosión del Suelo (INES), seleccionados finalmente tras todo el proceso desarrollado anteriormente en el apartado de metodología, para evaluar la evolución en la erosión que se produce al aplicar la práctica de siembra directa, en distintas parcelas en función de las condiciones preliminares que las caracterizaban. Se realiza una comparación de las labores realizadas en estos puntos, su Factor C y pérdidas de suelo ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), tanto antes como después de la implementación del PEPAC (realización de la práctica de siembra directa).

Tabla 45. Puntos de muestreo del INES estudiados en relación con la práctica de siembra directa en el PEPAC.

Punto de muestreo	Antes de la implementación del PEPAC			Después de la implementación		
	Labores	Factor C	Pérdidas de suelo (t/ha año)	Labores ¹⁷⁹	Factor C	Pérdidas de suelo (t/ha año)
31936 Navarra (Cultivo en secano con <= 5% de pendiente y con un contenido de MO ¹⁸⁰ del 2,1)	Se han dado las labores típicas de la zona.	0,13608447	1,9462	Veza de grano en secano, se realiza siembra directa (Nov) I, antes de la siembra un tratamiento de herbicidas (oct). Esta superficie rota con cebada o trigo blando.	0,125050	1,7884
19031 Guadalajara (Cereales de invierno (trigo) en secano, con <= 10% de pendiente y con un contenido de MO del 2,5)	Se han dado las labores típicas de la zona. Lo restos del cultivo se incorporan y pastorean (rastreo)	0,29774304	7,4661	Cebada en secano, se realiza siembra directa (Nov), antes de la siembra un tratamiento de herbicidas (oct) y otro en abril. Fertilización y tratamiento insecticidas y fungicidas necesarios hasta la cosecha en junio. Esta superficie rota con veza.	0,125550	3,1482
42375 Soria (Cereales de invierno y girasol en secano, con <= 10% de pendiente y con un contenido de MO del 0,8)	Se han dado las labores típicas de la zona. Lo restos del cultivo se incorporan (rastreo)	0,30708217	3,6153	Cebada (maltera) en secano, se realiza siembra directa (Nov), un tratamiento de herbicidas (abril). Así como la fertilización y tratamientos insecticidas y fungicidas necesaria hasta la cosecha en julio. Esta superficie rota con trigo blando.	0,071720	0,8444
9931 Burgos (Girasol en secano, con <= 10% de pendiente y con un contenido de MO del 3,7)	Se han dado las labores típicas de la zona. Lo restos del cultivo se incorporan (rastreo)	0,16464672	6,7830	Girasol linoleico en secano, se realiza siembra directa (May), y un tratamiento de herbicidas (Ene). La cosecha en septiembre. Esta superficie rota con cebada.	0,111566	4,5962
47063 Valladolid (Cereales de invierno en secano, con <= 10% de pendiente y con un contenido de MO del 1,5)	Se han dado las labores típicas de la zona. Lo restos del cultivo se incorporan (rastreo)	0,18982633	0,8709	Cebada en secano, se realiza siembra directa (Nov) con un pase de labor en abril, antes de la siembra un tratamiento de herbicidas (oct). Así como la fertilización necesaria hasta la cosecha en julio. Esta superficie rota con girasol.	0,143523	0,6585

¹⁷⁹ Información obtenida de [Redes TECO- Red Cultivos](#).

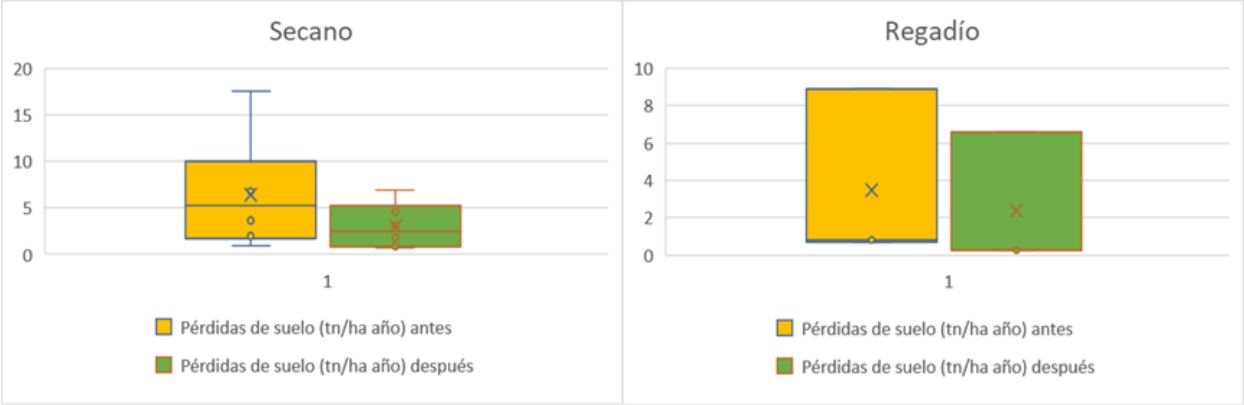
¹⁸⁰ Materia orgánica.

Punto de muestreo	Antes de la implementación del PEPAC			Después de la implementación		
	Labores	Factor C	Pérdidas de suelo (t/ha año)	Labores ¹⁷⁹	Factor C	Pérdidas de suelo (t/ha año)
500087 Zaragoza (Cebada en secano con >10 y <=30% de pendiente y con un contenido de MO del 1,2)	Se han dado las labores típicas de la zona. Lo restos del cultivo se empacan y pastoreo (rastreo)	0,20782206	17,5884	Cebada (pienso) en secano, se realiza siembra directa (Nov) con tres tratamientos de herbicidas (Ene, Feb y Mar). Así como la fertilización y tratamientos fungicidas necesarios hasta la cosecha en junio. Esta superficie rota con habas.	0,081881	6,9298
9300 Burgos (Trigo en regadío con <= 10% de pendiente y con un contenido de MO del 2,1)	Se han dado las labores típicas de la zona. Lo restos del cultivo se incorporan (rastreo)	0,17629859	0,8225	Trigo blando en regadío, se realiza siembra directa en octubre 1 tratamiento herbicida en febrero. A si mismo se realiza la fertilización y los tratamientos fungicidas e insecticidas necesarios hasta la cosecha en junio. Esta superficie rota con remolacha.	0,058592	0,2734
22258 Huesca (alfalfa y maíz en regadío con <= 10% de pendiente y con un contenido de MO del 1,4)	Se han dado las labores típicas de la zona. Lo restos del cultivo se empacan e incorporan (rastreo)	0,21695431	0,7099	Maíz en regadío, se realiza siembra directa en junio y dos pases de herbicidas uno antes y otro después de la siembra en ese mismo mes. Posteriormente los tratamientos fungicidas, insecticidas y fertilización necesarios hasta la cosecha en diciembre. Esta superficie rota con cebada u hortalizas.	0,082582	0,2702
25305 Lérida (Maíz en regadío con >10 y <=30% de pendiente y con un contenido de MO del 6,1)	Se han dado las labores típicas de la zona. Lo restos del cultivo se incorporan (rastreo)	0,06414713	8,8702	Trigo duro en regadío, se realiza siembra directa (dic) con un pase de labor en enero, antes de la siembra un tratamiento de herbicidas. Así como la fertilización necesarios hasta la cosecha en junio. Esta superficie rota con maíz de grano.	0,047430	6,5586

Fuente: elaboración propia, puntos de muestreo del INES e información de las operaciones de siembra directa del Redes TECO-Red cultivos.

Los valores de pérdida de suelo obtenidos tras aplicar la ecuación de RUSLE en los 9 puntos muestreados antes de la siembra directa, reflejan una mayor dispersión, mientras que los valores posteriores a la aplicación de esta técnica muestran una dispersión menor del indicador de pérdida de suelo (Gráfica 73). **La variación en la dispersión muestra cómo el cambio de la práctica agraria a siembra directa contribuye a reducir el riesgo de erosión de la superficie cultivada.**

Gráfica 73. Dispersión de los valores de erosión en los puntos de muestreo seleccionados, antes y después de la aplicación de la práctica de siembra directa.



Fuente: elaboración propia.

Si se calculan la media de las pérdidas de suelo por erosión tanto antes como después de la intervención de la práctica de siembra directa en los diferentes puntos muestreados para secano y para regadío (Tabla 46), en función de las intervenciones en las que se han declarado, se obtiene que en estos puntos de muestreo **se estima una reducción de la erosión de 3,4 t·ha⁻¹·año⁻¹ en la superficie de secano y 1,1 t·ha⁻¹·año⁻¹ para la superficie de regadío**. Estos resultados se utilizan como coeficientes para estimar la reducción de erosión esperada en la práctica de siembra directa.

Tabla 46. Variación media de las pérdidas de suelo por hectárea en la superficie de siembra directa.

Grupo	Punto de muestreo	Pérdidas de suelo medias, antes del PEPAC (t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	Pérdidas de suelo medias después del PEPAC (t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	Variación Pérdidas medias por ha (t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)
Siembra directa en tierras de cultivo de secano	6 puntos de muestreo en secano	6,378	2,994	-3,384
Siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo				
Siembra directa en tierras de cultivo de regadío	3 puntos de muestreo en regadío	3,468	2,367	-1,100

Fuente: elaboración propia.

A partir de la variación de pérdidas medias por hectárea según la intervención, se estima la pérdida de suelo de toda la superficie de siembra directa (1.392.501 ha en 2023 y 1.402.760ha en 2024) como la diferencia entre la estimación de las pérdidas medias de suelo en los puntos consultados del INES, multiplicada por la superficie de las intervenciones relacionadas. **Se obtiene así una reducción media de 4.476.086,24 t·año⁻¹ de pérdida de suelo por erosión**

en la superficie con siembra directa de 2023 y 2024. De media, la superficie en que se implementan estas intervenciones presenta una reducción media de 3,203 t·ha⁻¹·año⁻¹.

Tabla 47. Variación en las pérdidas de suelo en el total de superficie de siembra directa.

Grupo	Superficie de cultivo (ha)		Variación media de pérdidas por ha (t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	Variación media pérdidas de suelo (t·año ⁻¹)	
	2023	2024		2023	2024
Siembra directa en tierras de cultivo de secano	1.207.496,00	1.229.920,00	-3,384	-4.086.246,96	-4.162.131,27
Siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo	67.295,00	68.487,00		-227.730,77	-231.764,57
Siembra directa en tierras de cultivo de regadío	117.710,00	104.353,00	-1,100	-129.496,69	-114.802,21
Total	1.392.501,00	1.402.760,00	-3,203	-4.443.474,42	-4.508.698,06

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la superficie de siembra directa apoyada por el PEPAC se divide en aquella de la que se tiene constancia que en 2022 ya se venía aplicando la práctica y la que se empezó a implementar incentivada con el PEPAC, por lo que no todo el logro en la reducción de la erosión es atribuible¹⁸¹ al PEPAC. **Por ello, la reducción de la pérdida de suelo media de la nueva superficie de siembra directa, atribuible al PEPAC se estima en 3.265.147,3 t·año⁻¹.**

Tabla 48. Superficie de siembra directa dentro del PEPAC que continúa, nueva con respecto a la anualidad de 2022 y reducción de la pérdida de suelo.

Anualidad PEPAC	Continuidad o implantación de la práctica de siembra directa	Superficie (ha)	Reducción de la pérdida de suelo (t año ⁻¹)
2023	Superficie que mantiene la práctica de siembra directa desde 2022 (antes del PEPAC)	382.552,23	1.220.725,19
	Superficie de siembra directa desde 2023 (Nueva con el PEPAC)	1.009.948,77	3.222.749,23
2024	Superficie que mantiene la práctica de siembra directa desde 2022 (antes del PEPAC)	373.706,32	1.201.152,70
	Superficie de siembra directa desde 2023 o 2024 (Nueva con el PEPAC).	1.029.053,68	3.307.545,36

Fuente: elaboración propia. La superficie de 2022 es aquella obtenida del RSU, aunque es necesario tener en cuenta las discrepancias de esta fuente con ESYRCE.

De manera complementaria, las personas que han respondido al sondeo de opinión (anexo IV) indican en el 80,6% de los casos que perciben una erosión del suelo menor y que este se defiende mejor frente a las lluvias torrenciales, frente a un 4,8% que no está de acuerdo con este planteamiento, y un 7,8% que no nota cambios. Se indica que se aprecia una reducción visible

¹⁸¹ Para cuantificar los resultados atribuibles al PEPAC se ha considerado la superficie de siembra directa que se cuantifica en el RSU de 2022, para considerar la misma fuente de datos que la de 2023 y 2024. No obstante, esta atribución está sujeta a la limitación 3, descrita en el capítulo 6, sobre las discrepancias entre las superficies incluidas en ESYRCE y el RSU

de la erosión, que se muestran como “suelos más estables y sin arrastres visibles hacia los arroyos en episodios de lluvia” y mejora de la “capacidad de infiltrar agua y mantener humedad”.

Aportan información cualitativa resultante de su experiencia, indicando que ciertas rejas pueden generar un aumento de la erosión, en comparación con el disco.

Estos resultados se complementan con los recogidos en la biblioteca de evidencias de las prácticas agrarias creada por el JRC¹⁸², en la que se incluye un apartado específico para el manejo del suelo. En el mismo se recoge el artículo “Efectos de las técnicas de conservación del suelo en el control de la erosión hídrica: un análisis global¹⁸³”, en el que se realiza una revisión exhaustiva para comparar los efectos de las técnicas de conservación del suelo en el control de la erosión hídrica. En el mismo se llega a la conclusión de que las técnicas de conservación del suelo tuvieron efectos positivos significativos en el control de la erosión hídrica y, en general, fueron más efectivas para reducir la pérdida anual de suelo (84%) que para reducir la escorrentía anual (53%).

De manera complementaria a los resultados anteriores, también se recoge en esta biblioteca el artículo “Impacto de la labranza en la erosión del suelo por el agua: discrepancias debidas al clima y las características del suelo”¹⁸⁴, focalizado en la cuantificación del impacto del no laboreo en la escorrentía, la concentración de sedimentos las pérdidas de suelo, presenta los resultados del análisis de 282 parcelas pareadas de escorrentía pareadas, con labranza cero y con labranza convencional en todo el mundo, además del meta-análisis sobre 41 estudios de investigación. Los resultados muestran que se produce una menor concentración de sedimentos **y las pérdidas de suelo fueron 56 y 60% más bajas en no laboreo que con laboreo convencional**, respectivamente, aunque la proporción cambia en función de la longitud de la parcela (mayores en parcelas largas), la pendiente (mayores en pendientes más pronunciadas), la textura del suelo (mayores diferencias en suelos poco arcillosos) y el clima (mayores en climas templados). Aunque en promedio no hubo diferencias en el coeficiente de escorrentía, el no laboreo disminuyó el coeficiente de escorrentía en aproximadamente un 40% en comparación con el laboreo convencional en suelos acolchados, en climas fríos (<10 C) y para experimentos realizados >5 años.

El abandono del laboreo redujo las pérdidas de suelo en un 60%, sin mostrar un efecto sobre la escorrentía. Esta reducción en la pérdida de suelo es significativa en las regiones templadas y frías, mientras que, en zonas tropicales, los cambios no llegan a ser significativos entre labranza cero y labranza convencional.

Junto a los anteriores, también se recoge otro meta-análisis llevado a cabo por Sunn, Y. et al., 2015¹⁸⁵, sobre los controles de labranza cero en la escorrentía, que analiza la eficacia del no laboreo en la reducción de la escorrentía superficial y explora los factores que controlan la eficacia. Los resultados mostraron que, en general, **el no laboreo redujo significativamente la escorrentía en un 21,9% y un 27,2% en comparación con la labranza reducida y laboreo**

¹⁸² https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/JRC_FP_EVIDENCE_LIBRARY/index.html.

¹⁸³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718326081>.

¹⁸⁴ [Tillage impact on soil erosion by water: Discrepancies due to climate and soil characteristics, N. Mhazo, P. Chivenge, V. Chaplot. 2016.](#)

¹⁸⁵ No-tillage controls on runoff: A meta-analysis Yanni Sun, Yongjun Zeng, Qinghua Shi, Xiaohua Pan, Shan Huang (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198715000884>).

convencional, respectivamente. También se apunta a una mayor eficacia del no laboreo en la reducción de la escorrentía en pendientes moderadas, y sin significatividad estadística en pendientes suaves (<5%) y pronunciadas (>10%). En comparación con el laboreo convencional, la eficacia del no laboreo en la reducción de la escorrentía disminuyó con el tiempo, mientras que no se encontró tal tendencia en relación con laboreo convencional. La escorrentía se redujo significativamente con el no laboreo cuando se dejan los restos de cultivo en comparación con el laboreo convencional, pero no con la eliminación de los rastrojos.

De manera complementaria, el estudio¹⁸⁶ llevado a cabo por varios autores en relación a la agricultura de conservación, muestra entre los resultados expuestos, que la **agricultura de conservación mejora la infiltración del agua multiplicando la tasa de infiltración por 3**, ya que aumenta la capacidad de absorber mayores cantidades de agua con mayor rapidez en el perfil del suelo, lo que permite una mejor conservación del suelo durante períodos de fuertes lluvias.

En conclusión, los valores sobre la erosión del suelo obtenidos, comparando la situación de las parcelas objeto del estudio de caso antes de aplicar la siembra directa y simulando la aplicación de la misma con la ecuación de RUSLE, muestran que **la práctica de la siembra directa contribuye a reducir el riesgo de erosión de la superficie cultivada. La reducción de la erosión media se estima en 3,4 t·ha⁻¹·año⁻¹ en la superficie de secano y 1,1 t·ha⁻¹·año⁻¹ para la superficie de regadío. De media la superficie en que se implementa la práctica de la siembra directa, presenta una reducción media de 3,203 t·ha⁻¹·año⁻¹. En relación con esta reducción, el meta análisis de N.Mhazo sobre 41 estudios de investigación, muestra que las pérdidas de suelo son entre un 56 y 60% más bajas en no laboreo que con laboreo convencional¹⁸⁷.**

La reducción de la pérdida de suelo media de la superficie de siembra directa, atribuible al PEPAC¹⁸⁸, se estima en 3.265.147,30 t·año⁻¹, teniendo en cuenta que hay parte de la superficie en la que ya se venía aplicando la práctica de manera previa al inicio del PEPAC.

9.5. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa en la mejora de calidad de los suelos agrícolas?

9.5.1. Factor de Éxito 7: La siembra directa incide en la mejora de la calidad del suelo.

Los análisis llevados a cabo permiten introducir las siguientes conclusiones:

- La siembra directa incide en la mejora de la calidad del suelo en aspectos diversos como son el aumento de la materia orgánica, la biodiversidad y la estructura del mismo, la infiltración del agua y la humedad del suelo, no sólo por la reducción del laboreo y la

¹⁸⁶ *Boosting the European Green Deal in the crop production sector: Conservation Agriculture and the tools for its implementation in Denmark, France, Germany, Italy, Poland and Spain.*

¹⁸⁷ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916302389>.

¹⁸⁸ Para cuantificar los resultados atribuibles al PEPAC se ha considerado la superficie de siembra directa que se cuantifica en el RSU de 2022, para considerar la misma fuente de datos que la de 2023 y 2024. No obstante, esta atribución está sujeta a la limitación 3, descrita en el capítulo 6, sobre las discrepancias entre las superficies incluidas en ESYRCE y el RSU.

permanencia del rastrojo sino también con la rotación del cultivo y la plurianualidad de la práctica.

- Existe una mayor riqueza y diversidad microbiana con la rotación de cultivos. La rotación se ha producido en el 80,8% de las hectáreas que coinciden en las anualidades 2023 y 2024.
- La plurianualidad se ha registrado en una superficie de 1.159.218,1 ha.
- Los compromisos para la aplicación de siembra directa son difíciles de cumplir en determinadas circunstancias, lo que incide en la aplicación de la práctica.

Los aspectos que ponen de manifiesto la calidad de un suelo son diversos y afectan a distintos indicadores en los que, como se ha ido exponiendo a lo largo de este informe, incide positivamente la siembra directa respecto al laboreo convencional, como por ejemplo la **materia orgánica, la erosión del suelo, la biodiversidad y la estructura¹⁸⁹ del mismo**.

Por un lado, los resultados del proyecto SoilBIO, reflejan que debido a la incorporación de restos vegetales y de materia orgánica externa, el contenido de carbono orgánico en los suelos con manejo de siembra directa es mayor que en el manejo convencional. Esto podría indicar una mayor formación de agregados del suelo, una mayor fertilidad y liberación de nutrientes conforme se mineraliza la materia orgánica, que pueden estar disponibles para el cultivo y una mayor capacidad de retención y almacenamiento de agua. Además de una mayor capacidad de intercambio catiónico. Todo ello va a favorecer una mayor actividad de los microorganismos y la mesofauna del suelo. Sin olvidar la contribución a la mitigación del cambio climático al actuar como un sumidero de carbono. Esto los convierte en estrategias clave para mitigar el cambio climático, **mejorar la salud del suelo y aumentar la resiliencia de los sistemas agrícolas**.

Profundizando en los resultados de fertilización del suelo de este proyecto, en la Tabla 49, se muestra la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los primeros 20 centímetros del suelo que oscila entre 28 (siembra directa y ecológico) y 30 (agricultura convencional) cmol+/kg, valores medios. La CIC es un indicador general de fertilidad del suelo, que depende principalmente del contenido en materia orgánica y de la presencia y tipo de minerales de arcilla.

Tabla 49. Capacidad de intercambio catiónico (CIC), potasio de cambio (K) y fósforo disponible (P disponible) en suelo en función del manejo.

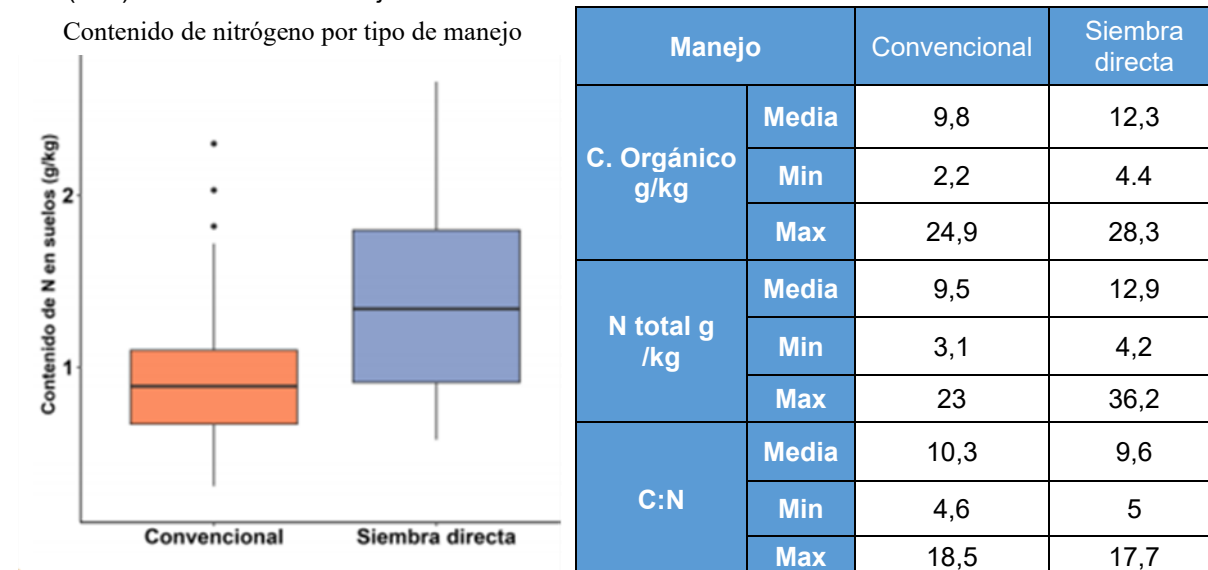
Manejo	CIC cmol+/kg			N cmol+/kg			P disponible mg/kg		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
Convencional	30,6	10,1	69,8	0,58	0,11	2,02	26,3	3,4	86,1
Siembra directa	28,0	10,2	69,3	0,78	0,12	3,9	17,5	1,4	50,7

Fuente: Guía del proyecto [SoilBIO](#).

En relación con el contenido de carbono orgánico y nitrógeno del suelo, los resultados del proyecto SoilBIO (Figura 37), muestran una relación C/N de valores por debajo de 10, lo que indica que el potencial de mineralización o liberación de nitrógeno disponible para los cultivos en suelos de siembra directa es mayor que en el manejo convencional.

¹⁸⁹ La incidencia de la siembra directa se trata en numerosas citas, como por ejemplo en el curso sobre siembra directa de la Red PAC, la entrevista con la AEACSV, la entrevista con el IRIAF Albaladejito, el proyecto SoilBIO, que se han incluido con detalle en el resto de factores de éxito en los que se trata el resto de aspectos relacionados con la calidad del suelo

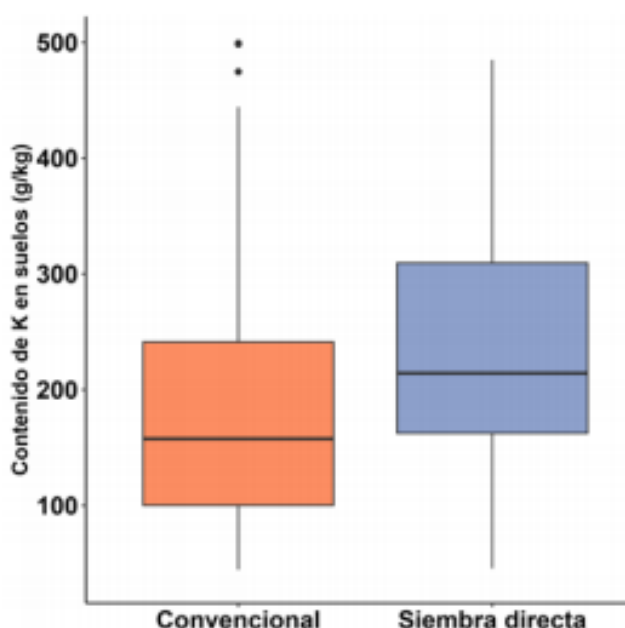
Figura 37. Carbono orgánico (C orgánico), nitrógeno total (N total) y relación carbono orgánico: nitrógeno total (C:N) en función del manejo.



Fuente: Guía del proyecto [SoilBIO](#).

En cuanto al contenido de potasio, los resultados (Figura 38) indican que la siembra directa puede favorecer una mayor disponibilidad de potasio en el suelo en comparación con el manejo convencional. Esto puede estar relacionado con un menor grado de alteración del suelo, una mayor incorporación de materia orgánica (residuos vegetales, fertilizantes de base orgánica) cuya mineralización libera más potasio y mejores condiciones para la retención de nutrientes.

Figura 38. Contenido de potasio por tipo de manejo.

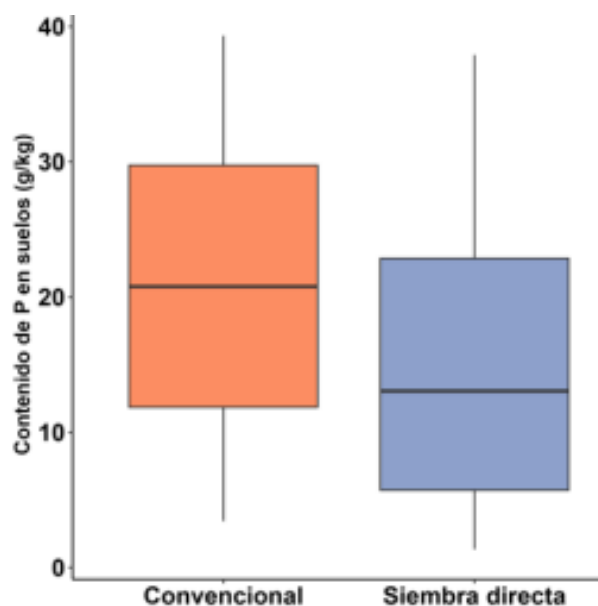


Fuente: Guía del proyecto [SoilBIO](#).

En relación con la concentración de fósforo disponible en suelo y la fertilidad del suelo, los resultados indican que el manejo convencional tiende a concentrar más fósforo en el suelo, probablemente debido al uso regular de fertilizantes minerales y a su mayor solubilidad que los fertilizantes o enmiendas orgánicas. En contraste, los sistemas de siembra directa muestran niveles más bajos de este nutriente, lo que puede estar relacionado con una menor aplicación

de fertilizantes sintéticos o una liberación más gradual del fósforo presente en la materia orgánica, y al no laboreo (el fertilizante fosfórico tiende a aplicarse junto a la semilla y se produce una estratificación de su contenido en suelo mayor que en sistemas convencionales, donde, al aplicar laboreo, se homogeneiza el contenido del mismo en la capa arable).

Figura 39. Contenido de potasio por tipo de manejo.



Fuente: Guía del proyecto [SoilBIO](#).

Los resultados de SoilBIO indican que **la práctica de siembra directa muestra ser más favorable para mantener y aumentar la salud integral del suelo a largo plazo.**

Más allá de que las prácticas asociadas directamente a la siembra directa (la reducción del laboreo, la siembra directa sobre el rastrojo o el mantenimiento de la cubierta vegetal todo el año) tengan un efecto positivo en la calidad del suelo, el diseño de la intervención en el PEPAC ha previsto **compromisos adicionales** que también pueden influir en la calidad del suelo. Entre ellos destaca *“la aplicación de la rotación de cultivos sobre el total de la superficie en la que se realiza la práctica de agricultura de conservación, exceptuando a la superficie con especies pluri anuales, salvo en su año de implantación”*, incluyendo en la rotación aquella que se produce en el mismo año. Además, la incidencia positiva de la siembra directa en la calidad del suelo también se verá incrementada en la medida en la que el nivel de acogida del incentivo para aplicar la pluri anualidad sea mayor, o de manera proporcional a la superficie que se acoja al mismo, tal y como se contempla en el diseño de la intervención.

La rotación (junto a la diversificación) forma parte de los tres principios de la agricultura de conservación, junto con la mínima alteración mecánica del suelo, y el mantenimiento de una cobertura vegetal, que en este caso se convierte en permanente, al permanecer el rastrojo de la cosecha anterior en el suelo.

Los resultados en los que incide la rotación se recogen en la **biblioteca de evidencias de las prácticas agrarias creada por el JRC**¹⁹⁰, en el apartado para el manejo del suelo, donde se

¹⁹⁰ https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/JRC_FP_EVIDENCE_LIBRARY/index.html

incluyen artículos en los que se analiza **la rotación en relación con la salud del suelo, tanto en materia de nutrientes como de calidad biológica**. En este caso, del total de 43 artículos recopilados, aproximadamente **dos tercios apuntan resultados positivos significativos**, y del resto, la mayor parte no aporta evidencias sobre efectos significativos o los resultados no han sido probados estadísticamente.

Como ejemplos en los que se hallan evidencias de resultados positivos de la rotación de cultivos, el artículo “el impacto de la rotación de cultivos en la diversidad microbiana del suelo: un metaanálisis¹⁹¹”, se centra en determinar si la disminución de la diversidad de cultivos aéreos afecta la biodiversidad microbiana subterránea mediante la realización de un metaanálisis de estudios que comparan monocultivos y rotaciones de cultivos, basando los índices de riqueza y diversidad taxonómica en métodos de huellas dactilares moleculares y bioquímicas. Los resultados apuntan que **existe una mayor riqueza y diversidad microbiana con la rotación de cultivos, con efectos más fuertes sobre la riqueza microbiana en ensayos de rotación más largos**, ya que los suelos bajo una mayor diversidad de cultivos en rotación produjeron mayores puntajes de riqueza microbiana y diversidad. El metaanálisis también concluye que la **consideración de leguminosas a la rotación no tuvo efectos consistentes sobre la diversidad o riqueza microbiana** y que no está claro si el efecto general de rotación sobre la diversidad microbiana promueve el funcionamiento del ecosistema en términos de ciclo de nutrientes y resistencia al estrés.

Por otro lado, el artículo “¿La diversidad de cultivos agrícolas mejora la biomasa microbiana del suelo y la dinámica de la materia orgánica? Un metaanálisis¹⁹²”, se centra en 122 estudios para examinar los efectos de la rotación de cultivos en las concentraciones totales de Carbono (C) y Nitrógeno (N) en el suelo, y las reservas de C y N de biomasa microbiana de ciclo más rápido que juegan un papel clave en el ciclo de nutrientes del suelo y los procesos físicos como la formación de agregados. Se examina específicamente cómo el tipo de cultivo de rotación y las prácticas de manejo influyen en la dinámica de C y N en diferentes climas y tipos de suelo y se encontró que agregar **uno o más cultivos en rotación a un monocultivo aumentó el C total del suelo en un 3,6% y el N total en un 5,3%, pero cuando las rotaciones incluyeron un cultivo de cobertura (es decir, cultivos que no se cosechan, pero se producen para enriquecer el suelo y capturar N inorgánico), el C total aumentó en un 8,5% y el N total en un 12,8%. Las rotaciones aumentaron sustancialmente las reservas de biomasa microbiana del suelo C (20,7%) y N (26,1%),** y estos efectos abrumadores sobre la biomasa microbiana no fueron influenciados por el tipo de cultivo o las prácticas de manejo. **Las rotaciones de cultivos, especialmente las que incluyen cultivos de cobertura, mantienen la calidad y la productividad del suelo al mejorar el C, el N y la biomasa microbiana del suelo,** lo que los convierte en una piedra angular para los agroecosistemas sostenibles.

Teniendo en cuenta lo anterior, **se ha procedido a analizar cómo se está produciendo el compromiso de la rotación, de forma que complemente aspectos sobre la incidencia de la práctica de la siembra directa en el suelo que ya se han detallado en otros factores de**

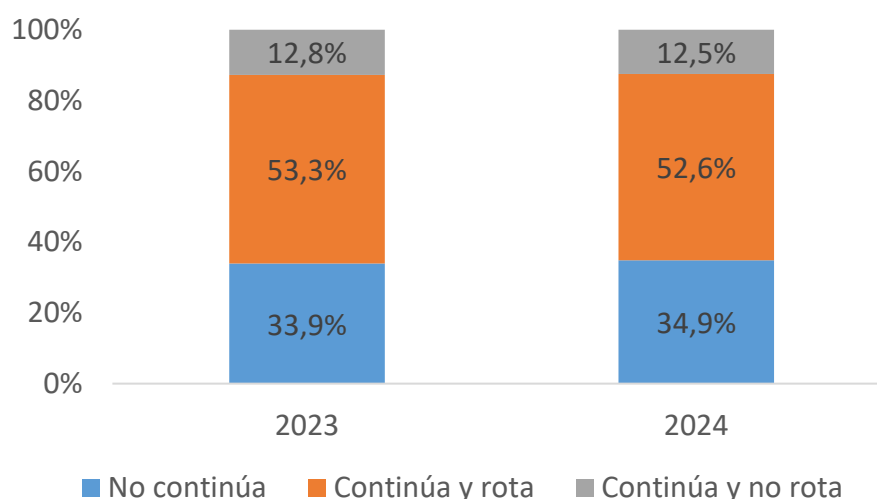
¹⁹¹ [El impacto de la rotación de cultivos en la diversidad microbiana del suelo: un metaanálisis - ScienceDirect](#)

¹⁹² [¿La diversidad de cultivos agrícolas mejora la biomasa microbiana del suelo y la dinámica de la materia orgánica? Un metaanálisis - McDaniel - 2014 - Aplicaciones ecológicas - Biblioteca en línea de Wiley](#)

éxito. Para ello, a partir de la información proporcionada en la Solicitud única, a través del RSU, se ha analizado qué información está asociada a cada recinto en la declaración de cada persona sobre su explotación, vinculando el compromiso de rotación tanto a la persona como al recinto.

Los resultados de los análisis llevados a cabo para observar cómo se ha producido la rotación muestran que de aquellas superficies que mantuvieron la continuidad entre ambos años, en España **el 66,1% de la superficie nacional en la que se practicó siembra directa durante 2023 tuvo continuidad en 2024.** De igual manera para el año 2024, el peso de la superficie que también se declaró bajo la práctica en 2023 supone el 65,1% del total, identificada a través de su localización o recintos. **De esta superficie coincidente en ambas anualidades se observa que en el 80,8% presenta rotación de cultivos, es decir en el 52,6% del total de superficie de 2024 y el 53,3% de 2023, se tiene constancia de que presenta una rotación de cultivos en la superficie de siembra directa,** como se refleja en la Gráfica 74. De la misma forma que en las tablas anteriores, la superficie incluida en la columna 2024 es aquella que se declara en esta campaña, con la caracterización resultante del cruce con 2023.

Gráfica 74. Gestión de la superficie adscrita a siembra directa en 2023 y 2024. Porcentaje de superficie total en España.



Fuente: elaboración propia a partir de la información de la RSU 2023-2024. La columna 2024 muestra la situación de la superficie conforme a la que había en 2023

Con un detalle superior para analizar la rotación, en el nivel del tipo del cultivo, la Gráfica 75 recoge las sucesiones más frecuentes, siendo el trigo blando y la cebada los cultivos más recurrentes. No obstante, sólo se han tenido en cuenta dos anualidades de cultivo, que son insuficientes para hacer un análisis completo ya que las rotaciones idóneas o más frecuentes, según apunta la experiencia de la Asociación Española de Conservación de Suelos Vivos (AEACSV), pueden ser tres o cuatro tipos de cultivos para completar un ciclo de rotaciones.

Gráfica 75. Combinaciones de cultivos más frecuentes en 2023 y 2024. Porcentajes.



Fuente: elaboración propia a partir de la información de la RSU 2023-2024.

Una de las principales razones de la rotación y diversificación del cultivo es **evitar la continuidad de dinámicas de plagas y enfermedades** controlando mejor el sistema y optimizando la utilización de productos fitosanitarios, reduciendo la resistencia a fitosanitarios, entre otros aspectos.

El **39,7% de las personas** que han respondido al sondeo de opinión (anexo IV) apunta que **los compromisos para percibir la ayuda son difíciles de cumplir y limitan la aplicación de la siembra directa**. Aunque la normativa permite la repetición de cultivos y por eso establece una rotación del 40% de la explotación, posiblemente con un objetivo de flexibilizar compromisos, facilitar la acogida de la ayuda y la motivación para aplicar la práctica, la AEACSV recomienda **cambiar el tipo de cultivo (Ej. No sembrar cereal sobre cereal)**, ya que en el mismo tipo de cultivo, el manejo o la estrategia agronómica suele ser igual, es decir, las plagas y enfermedades y los fitosanitarios empleados, la profundidad de las raíces, etc. son similares y al repetir el tipo de cultivo consecutivamente podría favorecer la aparición de malezas de difícil control generando pérdidas económicas y resistencias a fitosanitarios.

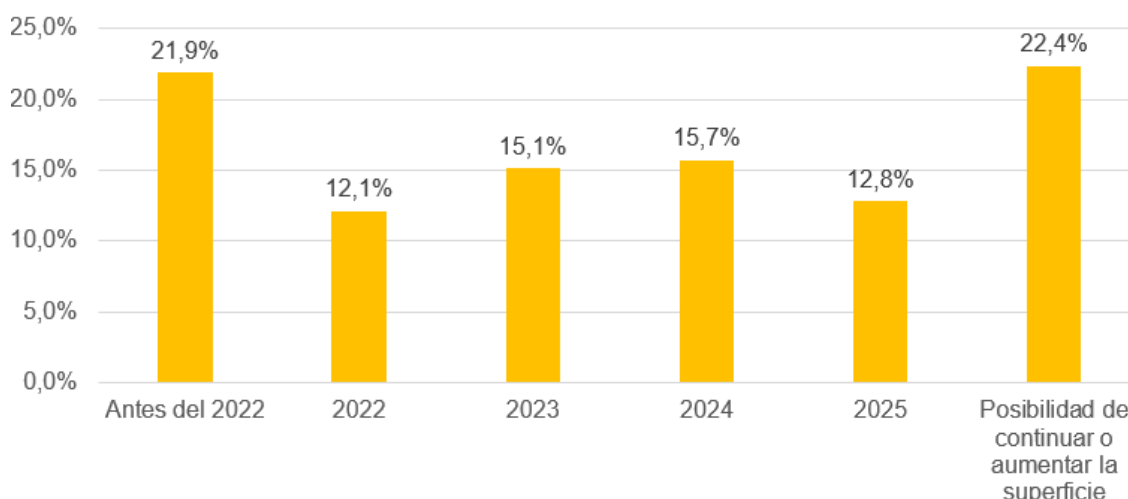
La AEACSV ha recomendado con frecuencia una rotación en la que el cereal se repita con más frecuencia, con el fin de obtener un suelo con mayor cobertura vegetal, por ejemplo, en una rotación de cereal-cultivo alternativo (girasol o leguminosa)-cereal-cultivo alternativo, **apareciendo dos veces el cereal en el ciclo completo de la rotación. De esta forma, se complementan los cultivos ya que el girasol aporta residuos más duraderos, el cereal cubre una mayor superficie y la leguminosa se degrada muy rápido.**

No obstante, el desconocimiento técnico inicial sobre el manejo de los rastrojos, el diseño de rotaciones y el control de malas hierbas se han identificado como barreras por los asistentes a los eventos realizados por la AEACSV en el marco del convenio con el MAPA. En este sentido, las soluciones propuestas por esta entidad inciden en una formación más práctica y continuada, las rotaciones de cultivo adaptadas a cada zona, el manejo integrado de malas hierbas y

reducción progresiva del laboreo y la cooperación entre agricultores, asesores y cooperativas, entre otros.

En el sondeo de opinión realizado a las personas que han aplicado la práctica¹⁹³ se observa que hay una elevada proporción que ya venía aplicando la práctica antes del PEPAC (21,9%), bien en 2022 o anterior a este año, y una proporción ligeramente superior de personas que tienen previsto continuar con la misma o aumentar la superficie en la que la aplican (22,4%).

Gráfica 76. Proporción de personas que responden al sondeo de opinión en función de los años en los que han aplicado la práctica.



Fuente: sondeo de opinión a las personas que han declarado la siembra directa en 2023 o 2024, realizado en octubre 2025.

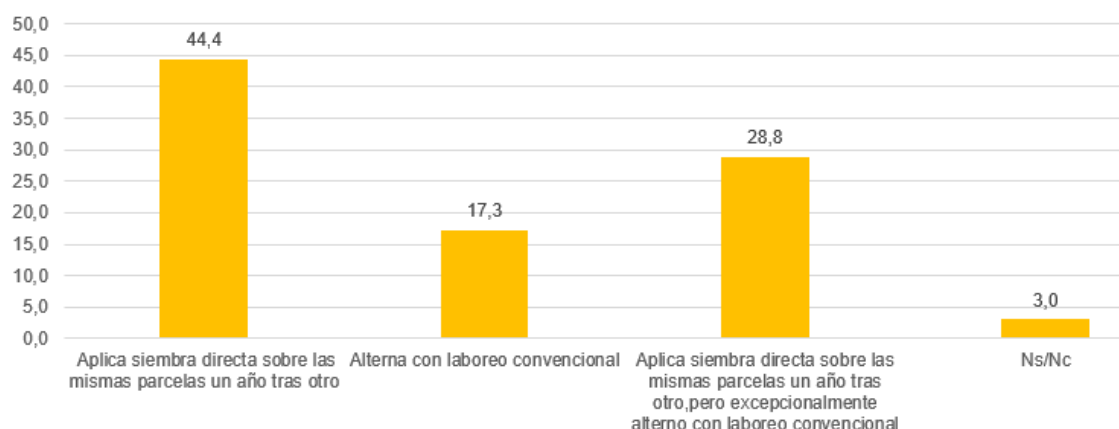
En relación a la plurianualidad, en 2023 **el 82,6% de los recintos marcaron su intención de atender este compromiso, con una superficie de 1.159.218,1 ha.** Además, el porcentaje de recintos de 2024 que marcan plurianualidad se reduce respecto a la campaña anterior, de un 82,6% a un 72,5%, el 62,9% de los recintos que se incorporan a la práctica en 2024 marcan plurianualidad y el 77,6% de los recintos que se han declarado bajo la práctica simultáneamente en 2023 y 2024 han marcado plurianualidad en 2024.

Al consultar por la plurianualidad directamente a las personas encuestadas, la información recogida muestra que **un 44,4% aplica siembra directa sobre las mismas parcelas un año tras otro, un 17,3% alterna con laboreo convencional y un 28,8% aplica siembra directa sobre las mismas parcelas un año tras otro, pero excepcionalmente alterna con laboreo convencional, como se refleja en la siguiente gráfica.**

En este caso, el 62,1% ha solicitado la prima complementaria prevista para incentivar la plurianualidad, al 13,5% no le interesa el compromiso y por lo tanto no ha solicitado la prima y el 15,1% desconocía este aspecto.

¹⁹³ Para más detalle del contenido completo de la encuesta y los resultados, consultar el anexo IV.

Gráfica 77. Gestión de la plurianualidad por las personas que aplican la siembra directa (%).

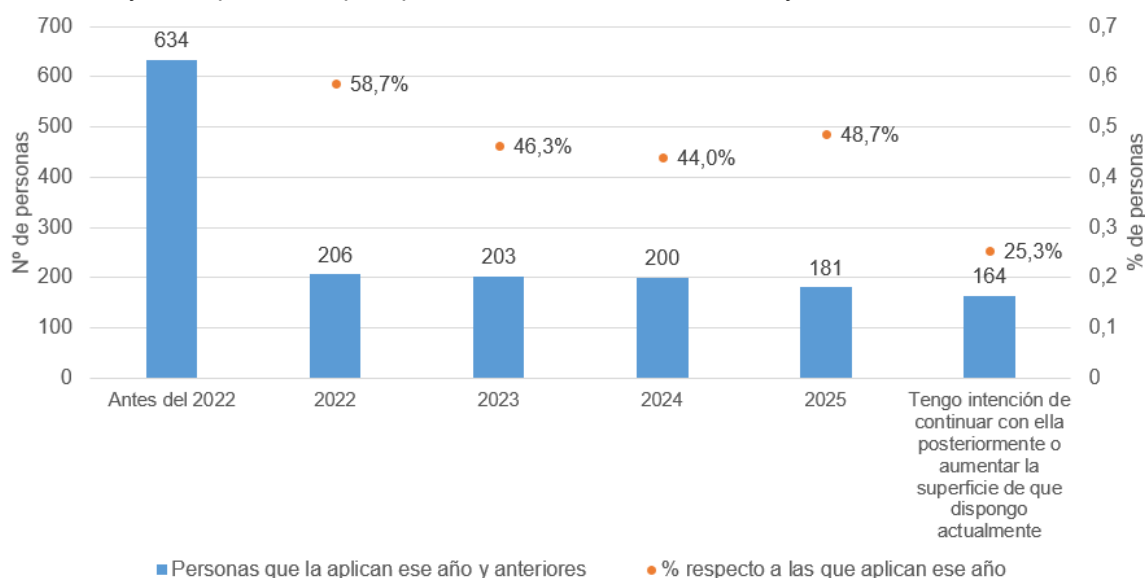


Fuente: sondeo de opinión a las personas que han declarado la siembra directa en 2023 o 2024, realizado en octubre 2025.

Además, si se analiza qué personas están aplicando la siembra directa consecutivamente, es decir, la superficie está siendo objeto de plurianualidad a más largo plazo, se observa que **en 2022 casi un 59% de las personas que la declaraban ya venían aplicando la siembra directa** en años anteriores, un total de 206 personas, lo que supone un 21% de las 995 personas que han respondido a la encuesta indicando que aplicaban la práctica. Esta cantidad de personas repite reiteradamente la práctica en los años siguientes y la va manteniendo hasta el 2025, donde algunas personas dejan de aplicar la misma, es decir, en 2025 hay 164 personas que han contestado la encuesta y aplican la práctica desde antes de 2022 hasta 2025.

Como se observa, en 2022 se produce un descenso en las personas que declaran la práctica en su explotación. No obstante, esto no supone una evidencia real de que la práctica se haya abandonado, **ya que hay personas que dejan de declararla por las consecuencias administrativas que puede conllevar y podrían decantarse por la práctica de rotación, según la percepción de la AEACSV.**

Gráfica 78. Nº y % de personas que aplican la siembra directa un año y todos los anteriores.



Fuente: sondeo de opinión a las personas que han declarado la siembra directa en 2023 o 2024, realizado en octubre 2025. La proporción de personas se calcula respecto a aquellas que han indicado que aplican la práctica ese año. El número de personas indicado en un año hace referencia a aquellas que la han aplicado también en la totalidad de los años anteriores.

Las **barreras identificadas** por la AEACSV para la adopción del sistema, analizadas hasta el momento, muestran un **inconveniente para impulsar una mayor plurianualidad** vinculado a la dificultad en el manejo agronómico en el girasol. En este sentido, en **el girasol se necesita una pequeña labor** para que se implante de manera adecuada, pero la falta de flexibilidad para esta labor supone una barrera a la aplicación de la práctica de siembra directa, movilizand una mayor motivación por la ayuda que impulsa la práctica de la rotación, en el marco del mismo ecorrégimen. Para apoyar el análisis de estos inconvenientes, la organización de jornadas, en el marco del convenio AEACSV-MAPA, en las que asisten muchas personas está permitiendo recoger información que una vez analizada mostrará resultados más completos¹⁹⁴.

Aun así, **la AEACSV está detectando que existen posibilidades de aplicar esta labor necesaria para el girasol con una tipología de arado o labores muy localizadas en la línea de siembra**, que no producen alteración importante del suelo y que facilitarían la aplicación de la práctica de siembra directa, en el caso de permitir la flexibilización de los requisitos de la ayuda para el girasol.

En este aspecto también coinciden los técnicos del Centro de Investigación de Albaladejito (IRIAF)¹⁹⁵ que han detectado en sus campos de ensayo problemas para que el girasol desarrolle una raíz importante cuando se encuentra la compactación en las capas algo más profundas. Esto hace que **no encuentre la cantidad de agua necesaria además de promover malformaciones en la raíz**, que no logra superar la compactación y provoca que el girasol **se tumbe con el viento**. También ellos señalan la necesidad de aplicar una labor de chisel para que el girasol se implante bien además de no encontrar problemas en las capas profundas, señalando **el mínimo laboreo o el laboreo en líneas** (strip-till), para evitar esta compactación del suelo que sucede con el tiempo, aunque requiere una inversión inicial importante en la maquinaria necesaria.

El **laboreo en línea** sería una práctica intermedia entre el mínimo laboreo y la siembra directa, en la que sólo se altera la línea de siembra, para cultivos con raíz pivotante, que se siembran en líneas. Este permite preparar el lecho de siembra para el cultivo, manteniendo el resto de la superficie sin alterar, con el resto del rastrojo del cultivo anterior. Los ensayos con este sistema muestran entre sus resultados que **no existen diferencias en el rendimiento entre el laboreo convencional y el laboreo en líneas en el girasol, pero existen diferencias en cuanto a los costes, ya que desciende el número de pases**.

Estas dos técnicas alternativas siguen conservando la estructura del suelo, al ser labores superficiales o bien localizadas en las líneas de cultivo, por lo que también inciden en la paliación de la erosión, si el laboreo se realiza de manera perpendicular a la máxima pendiente, evitarían la compactación a largo plazo, que actualmente promueve el abandono de la práctica y también reducirían la aplicación de fitosanitarios, en opinión de estos técnicos, teniendo en cuenta sus ensayos. Para incidir en la reducción de la erosión, este tendría que hacerse de forma perpendicular a la máxima pendiente.

¹⁹⁴ <https://agriculturadeconservacion.org/2025/10/10/el-convenio-formativo-entre-el-mapa-y-la-aeacsv-para-el-fomento-de-la-agricultura-de-conservacion-logra-la-participacion-de-2-500-profesionales-de-forma-directa-y-de-mas-de-350-000-a-traves-de-la-difu/>

¹⁹⁵ Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal (IRIAT), Castilla-La Mancha, Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras (Cuenca)

Otro inconveniente que limita la aplicación de la práctica reside en la **compactación del terreno** a largo plazo que puede promover que se tengan que aplicar labores verticales durante algún momento a lo largo de los años de la aplicación de la siembra directa. A pesar de que los suelos de siembra directa tienen una mayor cantidad de materia orgánica, que promueve una mejor estructura, hay circunstancias coyunturales como condiciones meteorológicas o suelos que no hayan producido suficiente materia orgánica, etc. que necesitan esta **labor vertical para descompactar el suelo, aunque no es una necesidad generalizada**. En este caso, el compromiso de plurianualidad elegido anualmente ayuda a salvar esta necesidad ocasional de los suelos de siembra directa. En este caso, los técnicos del IRIAF Albaladejito creen que esta necesidad suele aflorar con mucha probabilidad a los 10 o 15 años de su inicio, por lo que sería necesario descompactar y volver a comenzar un nuevo ciclo.

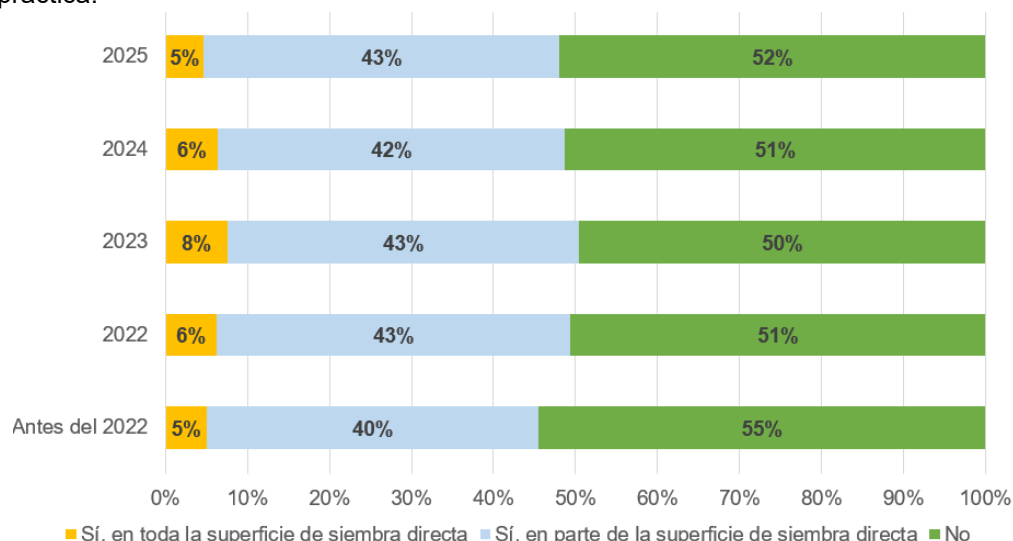
En este aspecto, las personas que han participado en el sondeo de opinión (para más detalle consultar el anexo IV) indican la **necesidad de pasar subsolador o grada cada cierto número de años**.

La experiencia aportada por los técnicos del IRIAF Albaladejito también señala como problemas limitantes para aplicar la práctica a largo plazo la **proliferación de plantas adventicias resistentes a los tratamientos herbicidas**, como coniza o grama, y el vallico según aportan las personas beneficiarias en la encuesta, que van promoviendo un **uso muy elevado de los herbicidas para intentar controlarlas, sin éxito la mayor parte de las veces**, llegando un momento en el que la única solución posible parece el laboreo incluso con volteo, para volver a comenzar el ciclo de nuevo. La experiencia de este centro en los campos de ensayo, y del contacto con las personas que la aplican en la zona, llega a apuntar un **mejor comportamiento del mínimo laboreo tanto en el control de adventicias como en la gestión de los herbicidas, e incluso de la técnica de laboreo en líneas**, a su juicio con un mejor resultado.

En el sondeo de opinión a las personas que han declarado la práctica se aporta que la siembra directa debería ser una herramienta más y se propone alternar ciclos de siembra directa con laboreo mínimo o convencional, especialmente para controlar hierbas o descompactar el suelo, sugiriendo prácticas complementarias como **barbechos semillados con leguminosas** como abono verde, **triturado periódico de la paja** para mantener la cobertura sin exceso de residuos, e **incorporación de estiércol o compost**, que con las normas del ecorrégimen actual no siempre se permite.

En este caso, en el sondeo de opinión (anexo IV) se recoge que el 52,4% de las personas que han respondido no han labrado nunca excepcionalmente, el 35,9% lo ha hecho en una parte de la superficie y el 5,7% en toda la superficie.

Gráfica 79. Relación entre la incidencia de labores excepcionales en siembra directa y el periodo en el que aplica la práctica.



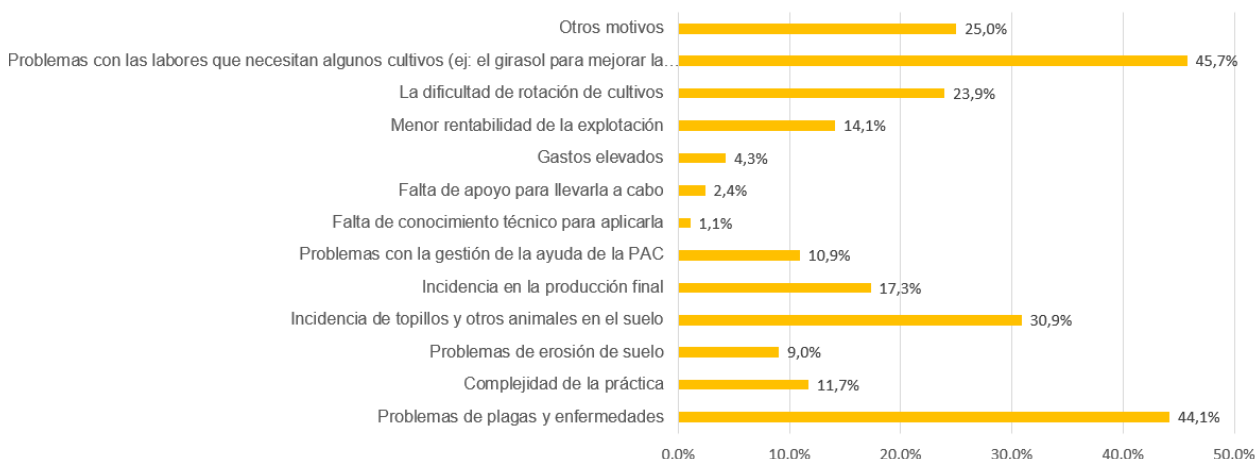
Fuente: sondeo de opinión a las personas que han declarado la siembra directa en 2023 o 2024, realizado en octubre 2025.

Se observa que hay un porcentaje menor, de hasta un 8% de respuestas, en las que se ha tenido que aplicar la labor excepcionalmente en toda la superficie de siembra directa. Esta frecuencia es más elevada en personas que indica que aplicaron la siembra directa en el 2023, por lo que, al igual que aquellas que lo señalan para 2025, puede guardar relación con problemas ajenos al periodo de aplicación de la práctica (como la compactación, la falta de control sobre las malas hierbas, etc.), sino más bien debido a **falta de conocimiento sobre la gestión de la misma, problemas de motivación o climáticos**. También hay un elevado porcentaje de personas que señalan haber aplicado la labor excepcional en parte de la superficie y esta se describe por personas que han solicitado la ayuda en todas las anualidades

Según la información proporcionada por las personas que han contestado al sondeo de opinión, **un 37,8% de las personas han tenido que dejar de aplicar la siembra directa en toda o parte de su explotación en alguna ocasión**. Los motivos apuntados para este abandono residen principalmente en los **problemas con las labores que necesitan algunos cultivos (como el girasol para mejorar la nascencia, entre otros) y aquellos relacionados con las plagas y enfermedades**, como se observa en la siguiente gráfica, a los que se unen otros como la incidencia de topillos y otros animales en el suelo o la dificultad de la explotación. También se observa que **las ayudas PAC han producido la desmotivación de casi un 11%** de las personas que aplicaban la práctica, como por otra parte también apuntaba la AEACSV, según su experiencia y contacto con el sector.

Otros problemas apuntados se refieren a las dificultades en la nascencia y el funcionamiento de las sembradoras de disco en suelos pedregosos y arcillosos. También se señalan problemas con las rotaciones con leguminosas o colza, que se clasifican de inviables en zonas de baja pluviometría, que caracterizan “*secanos duros*”.

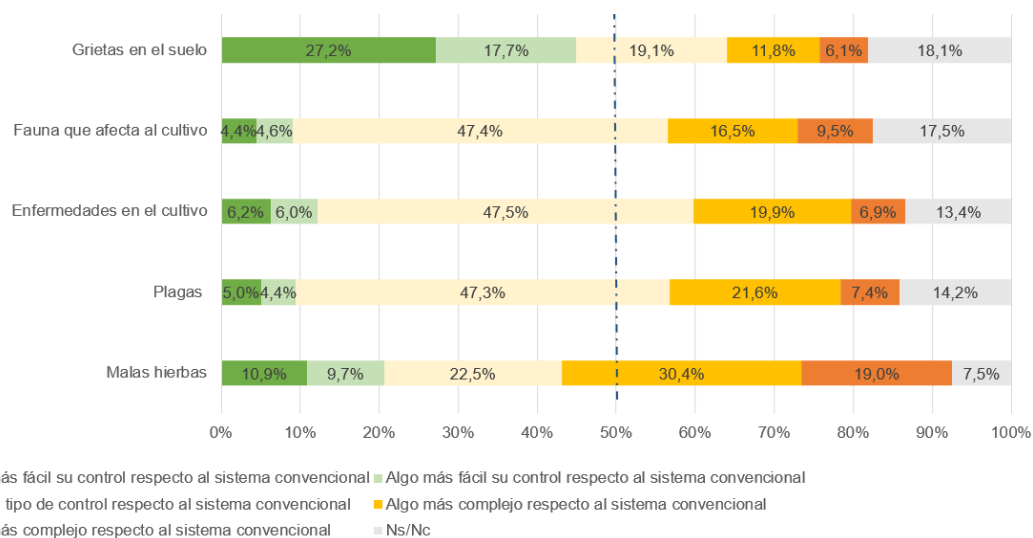
Gráfica 80. Problemas apuntados para dejar de aplicar la práctica o declararla en la explotación.



Fuente: sondeo de opinión a las personas que han declarado la siembra directa en 2023 o 2024, realizado en octubre 2025.

De manera complementaria a las opiniones de las personas expertas anteriormente descritas, las personas que han respondido a la encuesta indican que la gestión de las grietas en el suelo es más fácil de gestionar con la siembra directa, en el 44,9% de las respuestas, apuntando directamente a los resultados de la práctica sobre la erosión. En cambio, y confirmando la percepción de la AEACSV y el IRIAF, **el 49,3% de las respuestas apunta una mayor complejidad de la gestión de las malas hierbas**. El 29% percibe que las plagas son más complejas de gestionar, el 26,8% tiene esta opinión sobre la gestión de las enfermedades y el 26% sobre la fauna que afecta al cultivo.

Gráfica 81. Percepción de las personas que aplican la práctica sobre la gestión de los siguientes aspectos.



Fuente: sondeo de opinión a las personas que han declarado la siembra directa en 2023 o 2024, realizado en octubre 2025.

Así mismo, en materia de calidad del suelo, el estudio¹⁹⁶ llevado a cabo por varios autores en relación a la agricultura de conservación, además de indicar que **la tasa de infiltración aumenta, también detalla que la evaporación es más baja en suelos con agricultura de conservación,**

¹⁹⁶ Boosting the European Green Deal in the crop production sector: Conservation Agriculture and the tools for its implementation in Denmark, France, Germany, Italy, Poland and Spain.

lo que permite lograr una acumulación de humedad más duradera en el suelo y garantizar la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, incluso durante largos períodos de sequía, lo que es relevante en un contexto de sequías que cada vez se producen con más frecuencia o más intensidad.

La AEACSV apunta que **la formación es un aspecto fundamental para el impulso de la práctica exitoso y la mejora de la calidad del suelo con eficacia ya que los primeros años, hasta que consigue estabilizarse el suelo, suelen aparecer problemas agronómicos que pueden hacer desistir de la práctica.**

En el sondeo de opinión realizado, las personas que han declarado la aplicación de la práctica señalan que la **formación necesita adaptarse a las condiciones locales, ya que se detecta carencia de asesores con experiencia real en siembra directa y algunas jornadas formativas son teóricas, pero poco prácticas.** Indican la necesidad de crear programas formativos locales y continuos y subvencionar el asesoramiento agronómico especializado, además de promover redes de intercambio de conocimiento entre agricultores que ya tienen experiencia en la práctica y aquellas que no la tienen.

Por otro lado, en el caso del sondeo de opinión realizado a las personas que han declarado la práctica, el 9,5% de las respuestas, a pesar de haber declarado la misma, finalmente no la ha llegado a aplicar.

Las opiniones de estas personas a la pregunta sobre **qué le motivaría a aplicarla** o qué limita la aplicación de la práctica se resumen a continuación:

1. Condiciones climáticas adversas y baja pluviometría

La gran mayoría de respuestas coinciden en señalar que la **escasez de lluvias, la aridez del suelo y las altas temperaturas** hacen inviable la siembra directa en amplias zonas del país, especialmente en el sureste español. Se menciona que los suelos están **muy compactados y secos**, lo que impide la **germinación adecuada de las semillas** y reduce la rentabilidad.

Las personas agricultoras consideran que esta práctica solo sería viable en **regiones con mayor pluviometría**, como el norte de España, y que mientras no cambien las condiciones climáticas, no resulta aplicable. En muchos casos, se describe el secano extremo y la falta de humedad como causas directas de **fracaso en la implantación del cultivo**, pese al esfuerzo y los costes que conlleva.

Este aspecto no parece alineado con las experiencias de la AEACSV que pone de manifiesto un mejor comportamiento de la siembra directa en años más secos, respecto a la agricultura convencional, además de que cuando llegan a estabilizarse las producciones transcurridos los primeros años, una vez que el agrosistema mejora sus condiciones de partida las producciones son similares al cultivo convencional pero los costes se reducen considerablemente, pero es necesario un periodo de aprendizaje importante porque el sistema de manejo cambia radicalmente.

2. Falta de maquinaria o medios económicos

Un segundo grupo de respuestas alude a la **falta de medios materiales y financieros** como el principal obstáculo.

Quienes responden explican que **no disponen de maquinaria adecuada** para realizar la siembra directa, que las explotaciones son **pequeñas o dispersas**, o que el **coste de adquisición o arrendamiento** de los equipos es inasumible.

Se demanda **mayor apoyo público para la mecanización agraria**, ya que las ayudas disponibles se perciben como insuficientes o demasiado centradas en personas jóvenes, dejando fuera a muchas explotaciones activas con dificultades para modernizarse.

3. Costes de producción y rentabilidad

En este grupo, las respuestas destacan la **falta de rentabilidad económica** como principal motivo de rechazo.

Se señala que los **costes de la siembra directa son elevados**, especialmente por el precio de la maquinaria y la necesidad de **mano de obra cualificada**, mientras que los **precios de venta de los cultivos** son bajos y los **costes de producción han subido de forma desmesurada**. Algunas personas proponen que podría ser viable la aplicación de la práctica sólo si se demuestra un **retorno de inversión claro** (ahorro en insumos, combustible o tiempo) y se apoya con **ayudas adecuadas**. En general, se reclama **abaratarse los costes y mejorar la rentabilidad de las explotaciones**.

Esta respuesta no está alineada con las aportaciones de la AEACSV, ya que actualmente la principalmente la motivación predominante para aplicar siembra directa reside en aspectos económicos, ya que al dejar de labrar hay un descenso del consumo de combustible y un ahorro de costes, estimada en torno al 20% respecto al laboreo convencional.

4. Rechazo o desconfianza hacia la práctica

Varios agricultores expresan **desconfianza, rechazo o desinterés** hacia la siembra directa. Algunas personas manifiestan preferir los **métodos tradicionales** de laboreo, mientras que otras consideran la práctica una “ocurrencia” sin resultados positivos, incluso contraproducente para el medio ambiente.

Otros reconocen simplemente **no tener motivación ni intención** de aplicarla o **no disponer de información suficiente** para valorarla. Este grupo refleja tanto **resistencia al cambio** como **falta de convicción** en la eficacia o los beneficios de la técnica.

5. Factores locales o de gestión de las incidencias técnicas (tipo de cultivo o limitaciones particulares)

Algunas respuestas no cuestionan la técnica en general, pero señalan que **no se adapta a su tipo de explotación o condiciones particulares**.

Se mencionan casos de explotaciones dedicadas a la **vid o al ganado**, donde la siembra directa no tiene sentido productivo, o de **parcelas muy pequeñas o de regadío**, donde la técnica no se puede aplicar.

También aparecen referencias a **problemas específicos**, como la **proliferación de conejos** o las **limitaciones por estar en producción ecológica**, que impiden el uso de herbicidas para controlar las malas hierbas.

6. Condiciones de aplicación, administrativas o normativas

En este grupo se agrupan las opiniones sobre la **burocracia asociada a la PAC** y las **condiciones administrativas** para acceder a ayudas.

Las personas agricultoras reclaman **menos requisitos y trámites**, y piden que las políticas agrarias se centren en **apoyar a quienes realmente producen** y no a quienes solo perciben ayudas sin actividad real.

También se demanda una **revisión del sistema de subvenciones para maquinaria**, al considerarse que **no llega a quienes más lo necesitan** y que en algunos casos ha **encarecido artificialmente los equipos**.

En este aspecto, en la encuesta realizada sobre los procesos de la ayuda, a la que han respondido 14 unidades gestoras de la práctica de la siembra directa, de las regiones como así como la Subdirección General de producciones ganaderas, unidad competente a nivel nacional, el 67% las respuestas apunta a una necesidad de mejoras en el proceso, en un caso por falta de automatización y necesidad de un impulso grande, en otro caso se indica que aunque funciona correctamente debería simplificarse y en el resto, el 53%, se señala que hay etapas que no son del todo fluidas. El 80% de las unidades gestoras ha experimentado problemas con el diseño de la ayuda, la reprogramación o el diseño normativo que dificultan su aplicación. En estos problemas se apunta:

- Complejidad y falta de concreción. Ha existido una falta de adaptación a la práctica real, con excepciones que han dificultado la gestión, con mucha dificultad para su comprensión tanto para la Administración como para los interesados.
- Incertidumbre en el inicio y cambios excesivos entre campañas y dentro de la propia campaña, que obligan a cambiar las aplicaciones y retrasan la gestión
- El control de la ayuda exige una mayor burocracia, tanto para los interesados como para la Administración
- El cálculo de las ayudas es complejo
- La dependencia de una normativa superior condiciona los plazos
- Lentitud en las modificaciones y sus aplicaciones que se valoran con plazos de hasta 18 meses para su aplicación.

Las mejoras propuestas apuntan a la reducción de la complejidad con requisitos más sencillos, tanto para su comprensión como su control, armonización entre comunidades autónomas, la estabilización de los cambios y toma de decisiones y aplicación de los cambios más rápida.

La mayor parte de los problemas citados para no materializar las ayudas residen en la falta de cumplimiento o la dificultad de la comprobación de la condición de agricultor activo, la falta de derechos o la dificultad para cumplir con otros requisitos de la ayuda, además de las penalizaciones en superficie.

Se señala también por las unidades gestoras que el personal que es necesario mejorar la dotación y estabilidad del personal que gestiona las ayudas, la simplificación de las condiciones de la ayuda, de los documentos que se necesitan y estabilidad de los cambios, además de los controles y la monitorización, la automatización de procesos y la mejora de la aplicación informática, la coordinación entre unidades implicadas en la ayuda, mencionando explícitamente

la interrelación con otros Organismos Pagadores a través de mayor fluidez con medios informáticos, la comunicación con las personas solicitantes y aspectos relacionados con la brecha digital, etc.

Por tanto, la percepción de complejidad administrativa coincide tanto por las personas que han solicitado la ayuda como para las personas implicadas en la administración.

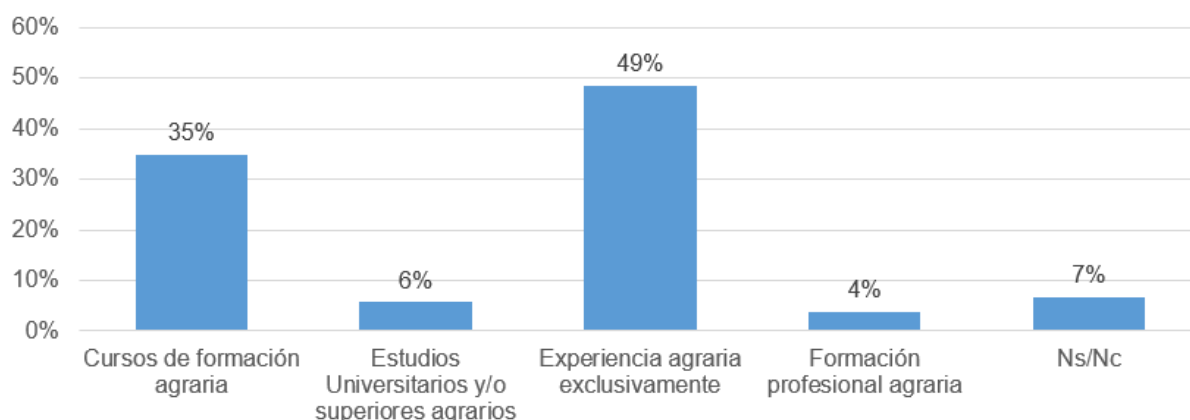
7. Motivaciones ambientales o técnicas

Finalmente, un grupo menor de respuestas muestra una actitud **favorable o reflexiva** hacia la siembra directa, destacando sus posibles **beneficios ambientales y agronómicos**. Se mencionan aspectos como la **reducción del impacto de la maquinaria**, la **conservación de la materia orgánica**, el **ahorro de costes energéticos** y la **mínima erosión del suelo**. No obstante, también se plantean **dudas técnicas** sobre su viabilidad en tierras de secano o sobre si realmente puede ofrecer ventajas en determinados contextos.

Esta percepción de las personas que ejercen la agricultura guarda coherencia con las aportaciones de la AEACSV, que indica que las primeras personas que la aplicaron acudieron a la práctica por una motivación medioambiental, ante la necesidad de mejorar su agroecosistema al detectar una degradación manifiesta del suelo de la explotación. Actualmente esta no es la principal motivación, sino que reside en los aspectos económicos e incluso en la demostración de los resultados de otras personas que la aplican en sus explotaciones con éxito.

Debido a que la práctica supone una complejidad técnica inicial importante, del total de personas que han aportado respuestas al sondeo de opinión llevado a cabo, aquellas que han indicado que no aplican la siembra directa, aunque en su declaración indicaban que lo habían hecho, muestran que disponen de un nivel de formación predominantemente en los niveles con menor formación especializada, ya que el 49% la ha adquirido con la práctica y el 35% en los cursos de formación agraria.

Gráfica 82. Proporción del total de personas que han respondido que no aplican la práctica de la siembra directa en función de su nivel formativo.



Fuente: sondeo de opinión realizado a las personas que han declarado la siembra directa en 2023 y 2024.

Por los motivos anteriores, en los que se percibe que las personas que pueden tener intención de aplicarla no conocen en profundidad el potencial de la intervención o no tienen formación suficiente, posiblemente las acciones formativas e informativas tengan repercusión en el incremento de la motivación, al trasladar evidencias a las personas que quieran aplicarla de los posibles resultados de la práctica, una vez se controlan los aspectos agronómicos hasta la

estabilización del agrosistema. Esto es importante porque la AEACSV indica que existe un periodo inicial en el balance entre las producciones y los costes pueden no ser tan rentables, y por ello, la importancia de la ayuda que compense este aspecto.

También desde Cooperativas Agroalimentarias se señala que la formación es un elemento clave y que han detectado que la falta de formación puede ser un elemento desincentivador de la práctica al haber obtenido resultados negativos en los primeros años por carencia de conocimiento, que lleva a la persona que la ha aplicado a concluir que la práctica no funciona, cuando el problema real reside en la carencia de conocimiento. En este caso se insiste en que hubiera sido necesario un despliegue formativo mayor de manera previa a la aplicación del ecorrégimen. En esta línea, la AEACSV señala que las claves para el éxito para la transición residen en empezar con parcelas piloto y el acompañamiento técnico durante los 2-3 primeros años, entre otros aspectos.

En conclusión, la siembra directa **incide en la mejora de la calidad del suelo en aspectos diversos como son el aumento de la materia orgánica, la biodiversidad y la estructura del mismo, la infiltración del agua y la humedad del suelo, no sólo por la reducción del laboreo y la permanencia del rastrojo sino también con la rotación del cultivo y la plurianualidad de la práctica, dos aspectos introducidos en el diseño de las intervenciones, tal y como se recoge en numerosa bibliografía.**

Las evidencias apuntan a que **existe una mayor riqueza y diversidad microbiana con la rotación de cultivos, con efectos más fuertes sobre la riqueza microbiana en ensayos de rotación más largos, además, también obtienen conclusiones sobre que agregar uno o más cultivos en rotación a un monocultivo aumentó el C total del suelo en un 3,6% y el N total en un 5,3%, pero cuando las rotaciones incluyeron un cultivo de cobertura (es decir, cultivos que no se cosechan, pero se producen para enriquecer el suelo y capturar N inorgánico), el C total aumentó en un 8,5%.**

La rotación del cultivo en los dos años consecutivos se ha producido en el 79,8% de los 610.913 recintos y **en el 80,8% de las hectáreas que coinciden en las anualidades 2023 y 2024**, impulsando resultados positivos en la diversidad microbiana y en las reservas de nutrientes, como se ha analizado a través de las evidencias recopiladas a lo largo de este informe.

Las sucesiones más frecuentes son de cultivos del mismo tipo, con una mayor representatividad de cereal sobre cereal, perdiendo potencial de mejora de la calidad del suelo, ya que la situación idónea se produciría al rotar los tipos de cultivo, y así poder incidir en la continuidad de dinámicas de plagas y enfermedades, evitando la resistencia a fitosanitarios, entre otros aspectos.

La plurianualidad se ha indicado en el 83% de los recintos, con una superficie de 1.159.218,1 ha, impulsando la estabilización del suelo al repetir la práctica durante al menos dos años consecutivos.

La consideración de la flexibilización del diseño de la intervención para incluir una práctica superficial para implantar el girasol mejoraría la aplicación de la siembra directa y de la plurianualidad, y por lo tanto potenciaría los beneficios de la misma, ya que actualmente este cultivo tiene problemas si se aplica la siembra directa tal cual está diseñada en la intervención.

En esta línea, en opinión de las personas que declaran la ayuda, **los compromisos para percibir la ayuda son difíciles de cumplir y limitan la aplicación de la siembra directa.** Se refleja cierta proporción de intercalado del laboreo convencional entre los años que se aplica la siembra directa, pero también un porcentaje relativamente elevado de personas que aplican la práctica desde antes de 2022. Además, en ocasiones **se deja de solicitar la ayuda por la práctica de la siembra directa,** decantándose por la de rotación, **para evitar las consecuencias administrativas que podría conllevar.** Estas barreras administrativas pueden estar suponiendo un inconveniente para impulsar una mayor plurianualidad, especialmente en el caso del girasol.

Una labor en la línea de siembra del girasol, el laboreo en líneas o la aplicación de mínimo laboreo permitirían seguir impulsando los beneficios en materia orgánica, conservación de la calidad del suelo y reducción de la erosión, incluso contribuyendo a reducir la cantidad de herbicidas necesarios, rompiendo las resistencias generadas con las adventicias y mejorando la gestión de las malas hierbas, reducir la compactación que se genera en ocasiones, consiguiendo rendimientos algo más elevados para el cultivo y promoviendo un balance económico que no desmotive, tal y como se observa en algunas situaciones de la siembra directa.

Se cita por algunos técnicos entrevistados y también por las personas que han respondido a la encuesta, la necesidad de romper los ciclos de la siembra directa para descompactar el suelo, eliminar plantas resistentes a los herbicidas, con labores, barbechos sembrados con leguminosas como abono verde, incorporación de estiércol, etc.

El cambio de prácticas de cultivo respecto al laboreo convencional hace de la formación un elemento clave para el impulso de la siembra directa, al menos, hasta la estabilización del suelo. No obstante, se reclama que esta formación se adapte a las necesidades y condiciones locales, impulsando también el conocimiento de los asesores y la aplicación práctica del conocimiento. También se pone de manifiesto que la formación es la clave de un buen progreso del ecorrégimen por el sector, al evitar que los fracasos en la implantación de la práctica se asignen a que esta no funciona en lugar de a la carencia de conocimiento.

9.6. EFICACIA: ¿En qué medida contribuye la siembra directa en la calidad de las masas de agua?

9.6.1. Factor de Éxito 8: La siembra directa incide en la mejora de las masas de agua

Los análisis llevados a cabo permiten apuntar las siguientes conclusiones:

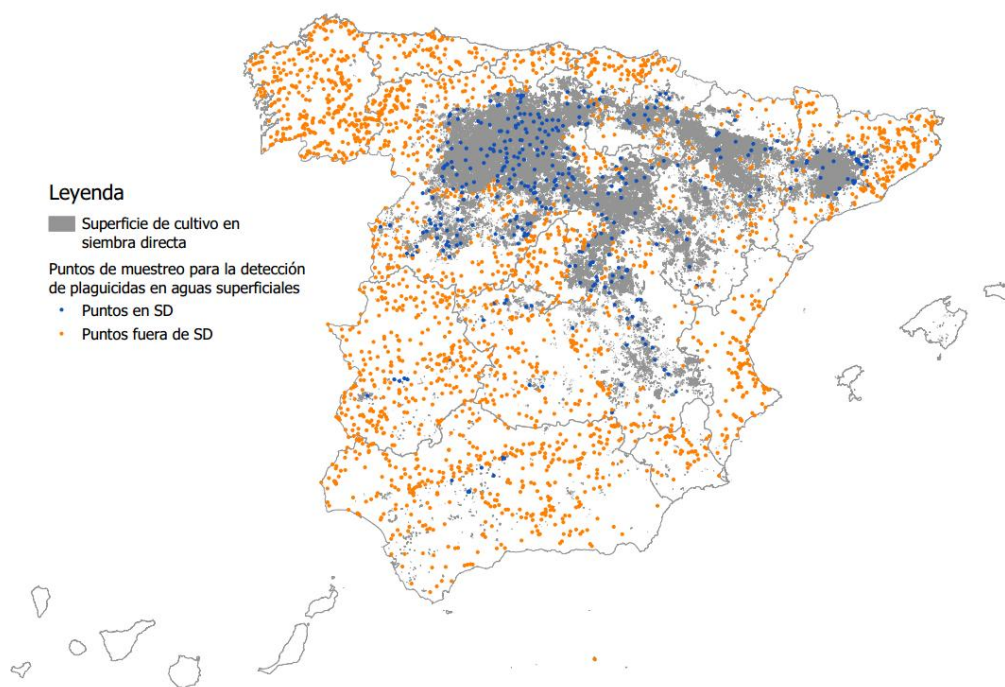
- En aguas superficiales, en los puntos de detección cercanos a la superficie de siembra directa aumenta el porcentaje de los que mejoran la calificación de su calidad.
- En aguas subterráneas la siembra directa podría incidir en el mantenimiento de la calidad de los puntos de agua.
- Los requerimientos asociados a las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos producen mayores efectos en la calidad de agua que los que pueden impulsar los compromisos sobre el plan de abonado y el asesoramiento como herramientas para analizar y optimizar la aplicación de nutrientes.

La Comisión europea no ha definido un indicador de calidad de aguas vinculado con la práctica de la siembra directa. Por ello, para valorar en qué medida la gestión de plaguicidas y herbicidas en la siembra directa incide en la calidad del agua, se propone estudiar el indicador adicional, diseñado de manera específica para esta evaluación, **detección del riesgo por plaguicidas**, que proporciona una visión de la variación en el riesgo de detección de plaguicidas en las aguas superficiales y subterráneas en los puntos influenciados por la siembra directa frente aquellos puntos que no tienen esta influencia o se considera poco significativa. La información para el desarrollo de este indicador se basa en los análisis del estado y calidad de las aguas del MITERD, sobre el diagnóstico de la contaminación por plaguicidas en España¹⁹⁷.

El análisis se ha abordado de manera diferenciada entre aguas superficiales y subterráneas. Además, se ha tratado en primer lugar un análisis general de todos los puntos de manera conjunta para posteriormente diferenciar el análisis entre prácticas (siembra directa y resto de prácticas agrarias). Se han analizado plaguicidas y nitratos, por su incidencia en la calidad de las masas de agua.

Una vez se ha aplicado la metodología expuesta en el Anexo I. Metodología. Técnicas aplicadas, se observa que el número de puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales en 2023 es de 2.656, de los cuales 369 se localizan en zonas de la práctica de siembra directa, mientras que, el resto de puntos, 2.287, se sitúan fuera de las zonas de aplicación de siembra directa de 2023.

Figura 40. Puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales dentro y fuera de la superficie de siembra directa (2023).

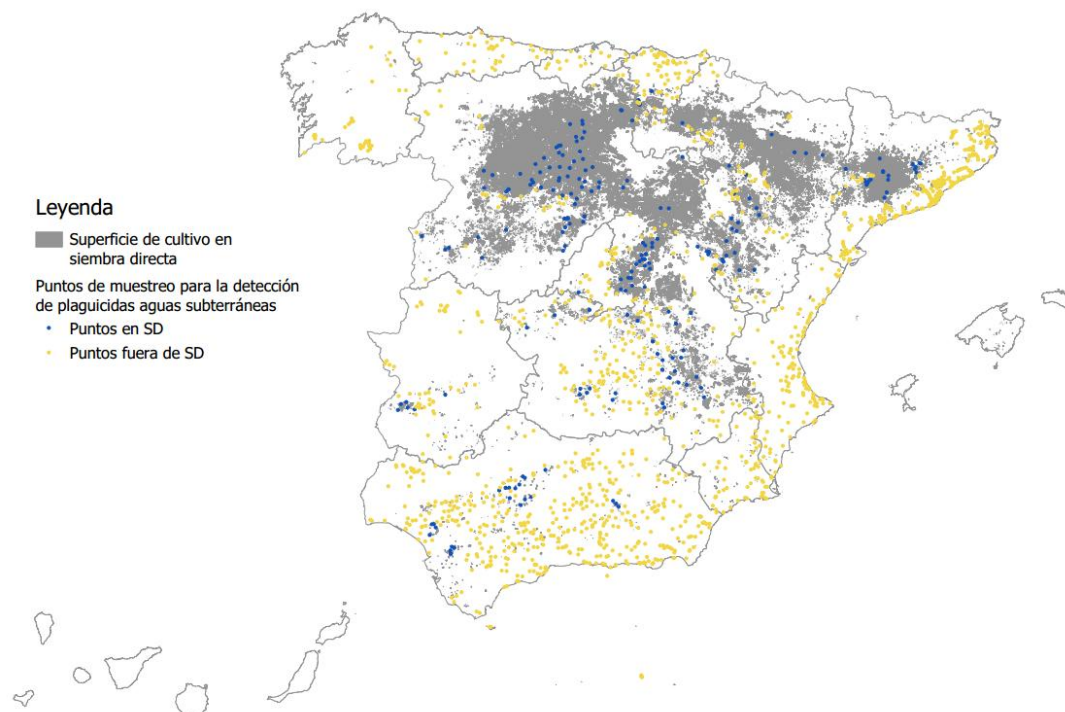


Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

¹⁹⁷ Estado de los plaguicidas en España (<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-nitratos-pesticidas/estado-plaguicidas.html>).

El número de **puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas en 2023** es de 1.637, de los cuales 223 se localizan en zonas de la práctica de siembra directa, mientras que para el resto de puntos 1.414 se considera que la influencia es nula o poco significativa.

Figura 41. Puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas dentro y fuera de la superficie de siembra directa (2023).



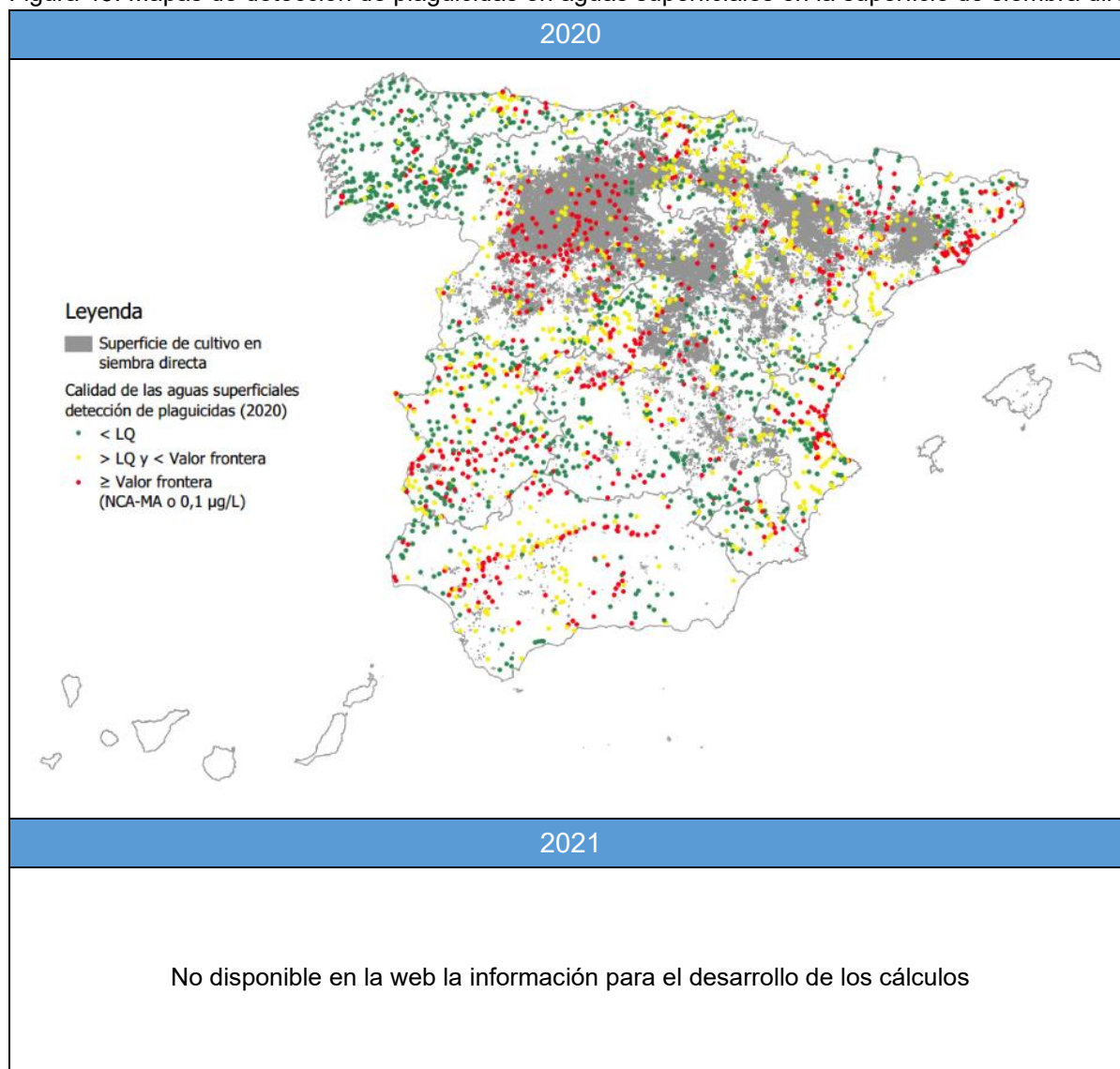
Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

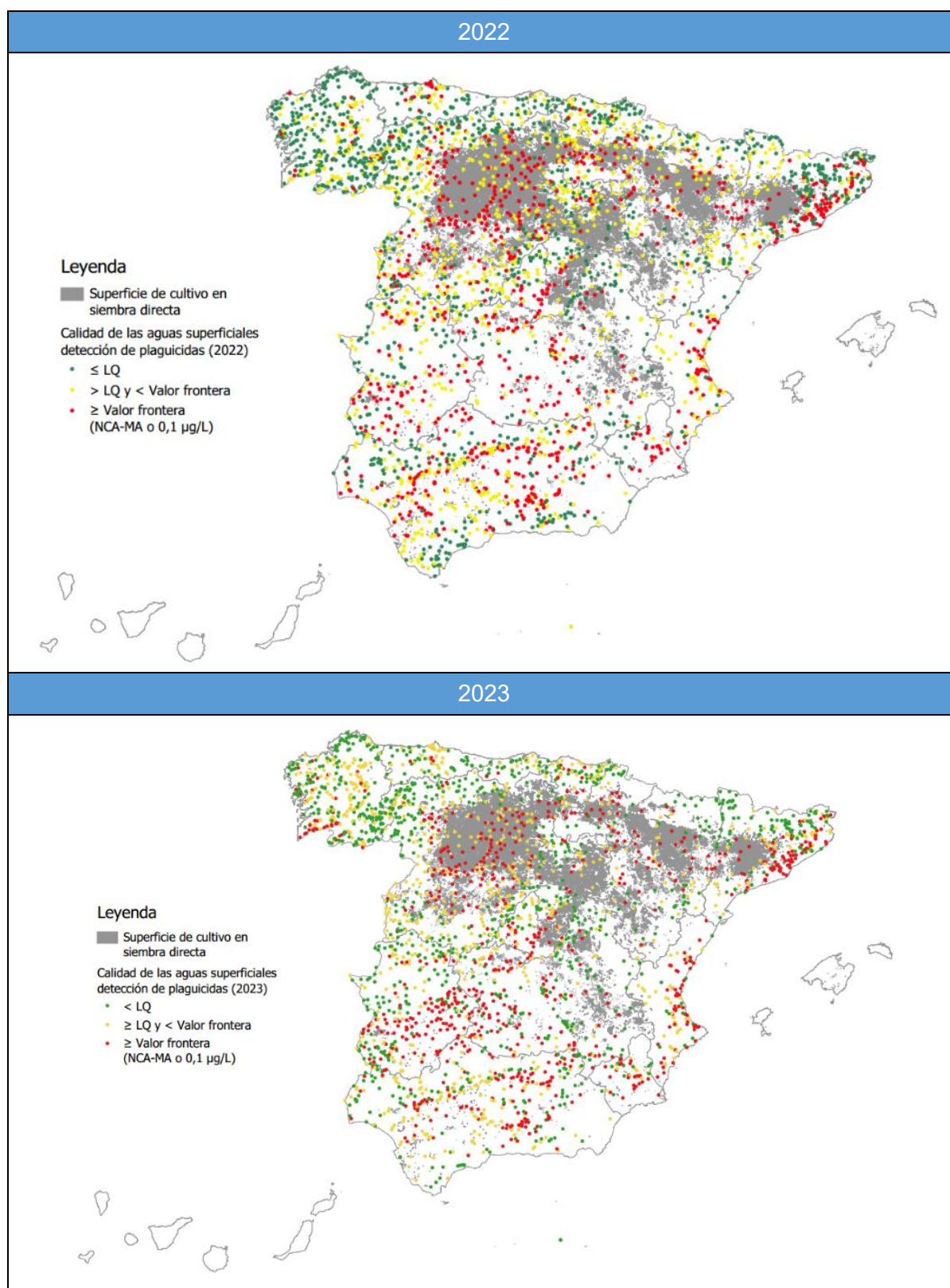
El análisis sobre cómo cambia el riesgo de detección de plaguicidas en las aguas superficiales y subterráneas en cada uno de los puntos, dentro y fuera de la superficie de siembra directa, ofrece a continuación.

Aguas superficiales

En la Figura 42, se muestra la información de los puntos de detección de plaguicidas en las aguas superficiales de cada anualidad en relación con la superficie de siembra directa de 2023, sombreada en gris.

Figura 43. Mapas de detección de plaguicidas en aguas superficiales en la superficie de siembra directa.

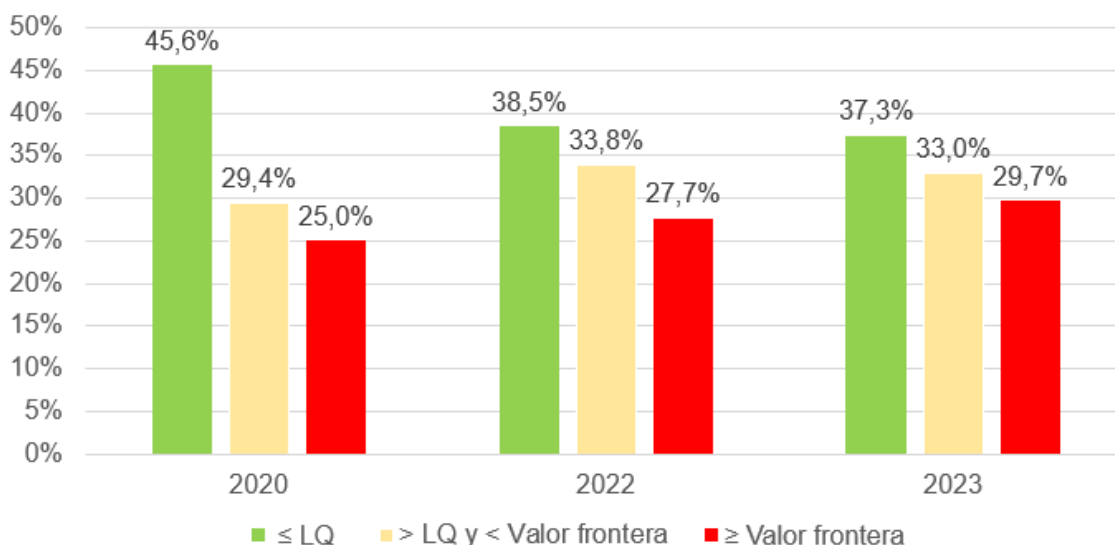




Fuente: Indicadores de Calidad de las Aguas subterráneas: Detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD.

El análisis de la información empleada para esta evaluación, con los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales, muestra que entre 2020 y 2023 se produce un descenso de la proporción de los puntos de detección con la calidad de agua en el nivel $\leq$ LQ, de más calidad, para incrementar la proporción de puntos en los otros dos niveles, de calidad intermedia y superior al valor frontera.

Gráfica 83. Evolución del porcentaje de puntos de detección de cada categoría de riesgo de plaguicidas. Aguas superficiales.



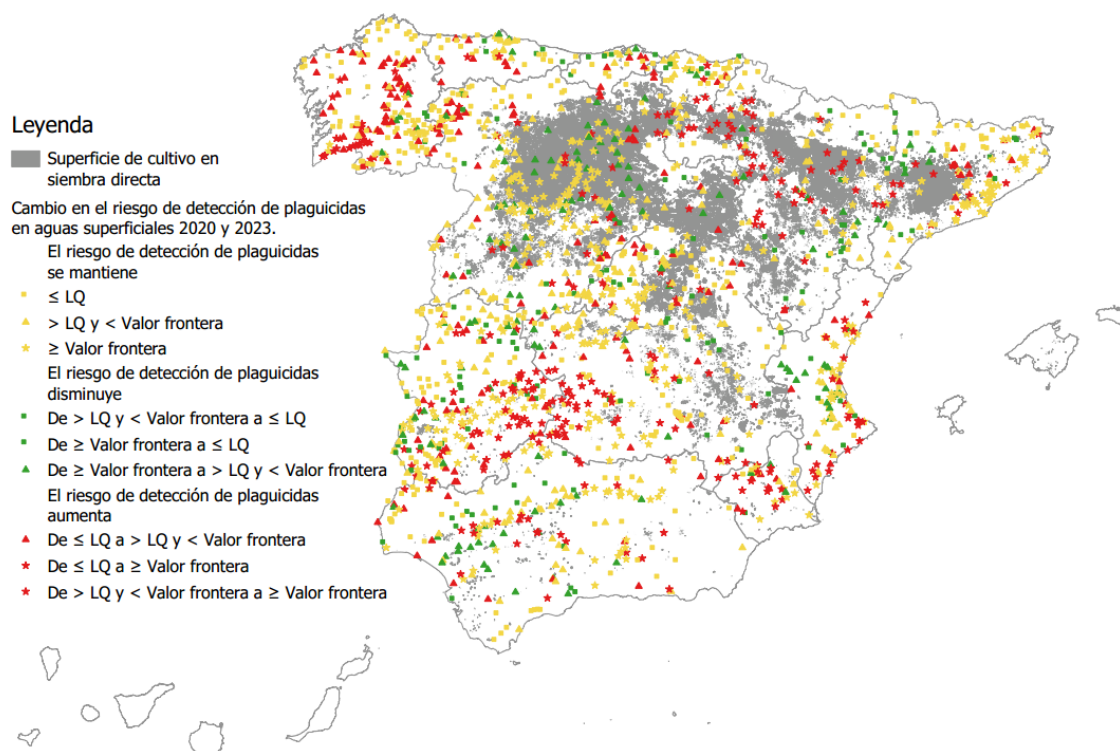
Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD.

Nota: LQ, En una determinación analítica, múltiplo constante del límite de detección que se puede determinar con un grado aceptable de exactitud y precisión.

NCA-MA: Norma de calidad ambiental (media anual): Concentración de un determinado contaminante o grupo de contaminantes en el agua, los sedimentos o la biota, que no debe superarse en aras de la salud humana y el medioambiente. Valor frontera es igual al NCA-MA o 0,1 µg/L según el contaminante.

De los 2.656 puntos de detección de plaguicidas, en el 67,8% (1.802) se dispone de información de las dos anualidades 2020, antes del inicio del PEPAC y 2023, primer año de aplicación.

Figura 44. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis de la información muestra que **en el 57,5% en los puntos de detección no existe variación en la categoría de los mismos**, sombreados en amarillo en la Tabla 50. Además, se observa que **en un 26,8% existe un incremento en la detección de plaguicidas** en el año 2023, sombreados en rojo y **en un 15,6% de los puntos de detección disminuye** en esa anualidad la detección de plaguicidas en relación a 2020, sombreados en verde.

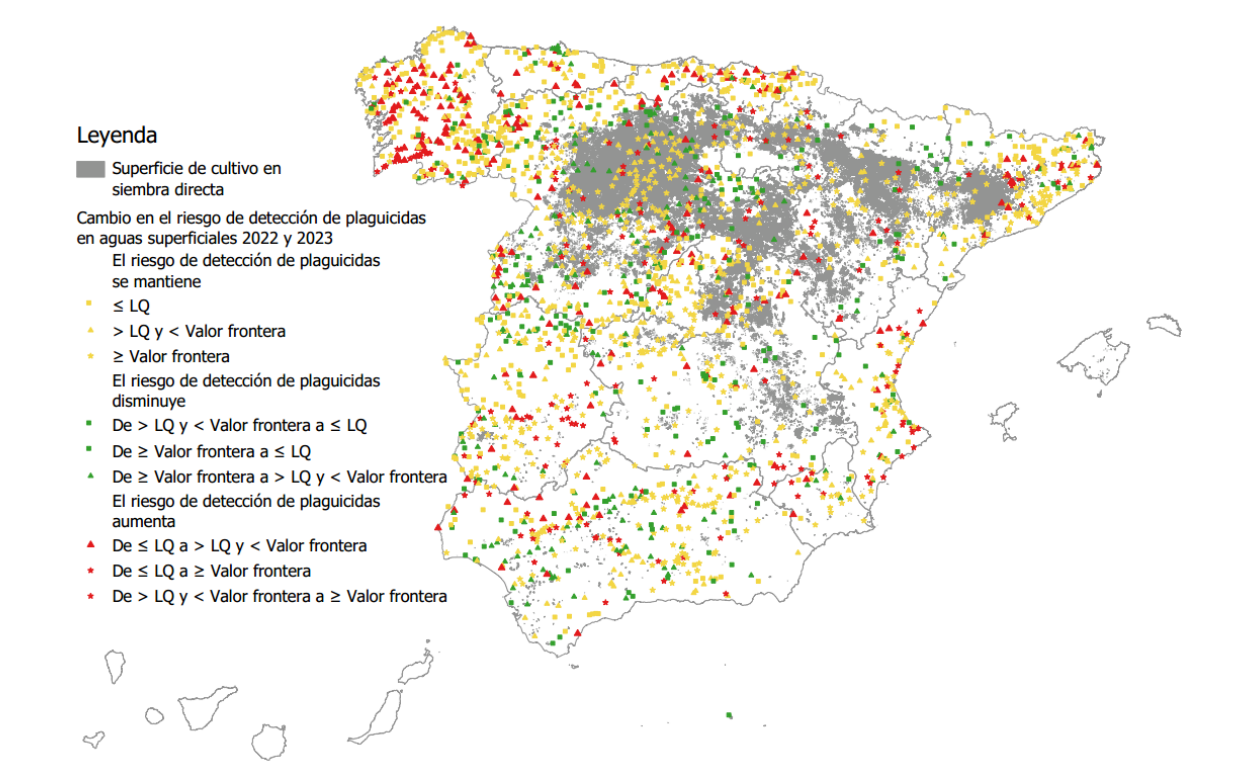
Tabla 50. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023). Número de puntos.

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2020	≤ LQ	451	207	125	783
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	90	245	151	486
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	49	143	341	533
TOTAL		590	595	617	1.802

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023. En verde, se mejora la calidad entre 2020 y 2023; amarillo se mantiene igual; rojo empeora la calidad.

De los 2.656 puntos de detección de plaguicidas, en el 84,5% (2.245) se dispone de información de las dos anualidades 2022 (antes del inicio del PEPAC) y 2023 después del inicio.

Figura 45. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis de la información de estos puntos de detección muestra que **en el 62,2% de los puntos de detección no existe variación en la categoría de los mismos** entre los años 2022, previo al comienzo de la PAC y 2023, como se muestra en amarillo en la Tabla 51. Además, se observa que **en un 18,4% de puntos existe un incremento en la detección de plaguicidas**

en el año 2023, sombreados en rojo en la tabla, frente al **19,4% de los puntos donde disminuye en esa anualidad la detección de plaguicidas en relación a 2022**, coloreados en verde.

Tabla 51. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023).

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2022	≤ LQ	536	212	51	799
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	177	388	150	715
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	79	179	473	731
TOTAL		792	779	674	2.245

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Como se observa, el patrón mostrado por los puntos de detección, **una mayor proporción de puntos mantienen su calidad entre 2022 y 2023, que si se comparan los años 2020 y 2023**. También se observa que si se comparan 2022 y 2023 existe un **menor porcentaje de puntos con empeoramiento de la calidad de aguas y una mayor proporción de puntos que mejoran la calidad**, en relación a la comparación entre 2020 y 2023. No obstante, **este resultado puede estar condicionado por el incremento de puntos entre ambos tramos temporales de contraste**, ya que en la comparación entre 2022 y 2023 existe un 24,6% más de puntos de detección.

Tabla 52. Resumen del análisis de la evolución de la calidad en puntos de detección de plaguicidas en campañas previas a la aplicación del PEPAC y el primer año de su implementación. Aguas superficiales.

	Entre 2020 y 2023	Entre 2022 y 2023
Nº de puntos con información		
≤ LQ	590	792
> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	595	779
≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	617	674
total	1.802	2.245
Evolución en la calidad		
Se mantiene	57,5%	62,2%
Empeora	26,8%	18,4%
Mejora	15,6%	19,4%

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Comparación siembra directa respecto a aquellas zonas no influenciadas por la misma

A partir de la información de los puntos de detección de plaguicidas en las aguas superficiales y con la información de la superficie de siembra directa del PEPAC, se analiza si existe una mayor incidencia de cambios en la detección plaguicidas en aquellas zonas de siembra directa respecto a aquella en la que no se tiene constancia de su implementación, al no haber sido declarada con esta práctica en la Solicitud única.

De los 1.802 puntos de detección que disponen de información en las anualidades 2020 y 2023, 272 se sitúan en superficie de siembra directa. En el resto de estaciones se considera que la relación con la superficie de siembra directa es poco significativa o nula.

Tabla 53. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023) próximas a la superficie de siembra directa.

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2020	≤ LQ	23	21	7	51
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	3	44	44	91
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	6	41	83	130
TOTAL		32	106	134	272

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Tabla 54. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023) resto de puntos.

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2020	≤ LQ	428	186	118	732
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	87	201	107	395
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	43	102	258	403
TOTAL		558	489	483	1.530

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis de la evolución del indicador de calidad de plaguicidas en las aguas superficiales entre 2020 a 2023, refleja que en los puntos de detección cercanos a la **superficie de siembra directa** existe un porcentaje de puntos que mantienen la categoría sobre el riesgo de detección de plaguicidas en agua sin variación 55,1%, inferior al 58,0% de los puntos de detección no influenciados por siembra directa, porque aumenta el porcentaje de los puntos de detección que mejoran la categoría en zonas próximas a siembra directa, obteniendo un 18,4% frente al 15,2% de las que no están influenciadas por la siembra directa. Además, el porcentaje de puntos de detección que empeora el riesgo de detección de plaguicidas en agua es ligeramente inferior en siembra directa, con un 26,5% frente al 26,9% del resto de puntos.

Tabla 55. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023).

	No siembra directa	Siembra directa
Se mantiene	58,0%	55,1%
Empeora	26,9%	26,5%
Mejora	15,2%	18,4%

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Además, se obtiene que, **del total de puntos sin variación, en el 55,1% de siembra directa, 83 puntos, el riesgo de detección de plaguicidas en ambas anualidades se enmarca en la categoría más alta (≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L), frente al 29,1% del resto de puntos, 258 puntos, es decir, hay más proporción de puntos con peor calidad de agua en superficies de siembra directa, y que mantienen su calidad entre anualidades, frente al resto de zonas.**

En conclusión, en la comparativa entre las anualidades 2020 y 2023, se observa que en siembra directa hay más proporción de puntos que mejoran su calidad de agua comparados con los que están situados fuera de siembra directa, aunque hay más proporción de puntos que mantienen su calidad entre anualidades con la peor clasificación. Además, el número de puntos que empeoran su calidad de agua es muy similar tanto en zonas de siembra directa como en zonas donde no hay siembra directa (resto de puntos).

Centrando el análisis en la comparativa entre los años 2022 y 2023, de los 2.245 puntos de detección de los que se dispone de información de las dos anualidades, 2022 antes del inicio del PEPAC y 2023, primer año de aplicación, 352 se sitúan en superficie de siembra directa y en el resto de puntos se considera que la relación con la superficie de siembra directa es poco significativa o nula.

Tabla 56. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023) próximas a la superficie de siembra directa.

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2022	≤ LQ	16	29	4	49
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	24	78	40	142
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	7	41	113	161
TOTAL		47	148	157	352

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Tabla 57. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023) resto de puntos.

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2022	≤ LQ	520	183	47	750
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	153	310	110	573
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	72	138	360	570
TOTAL		745	631	517	1.893

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis de la evolución del indicador de calidad de plaguicidas en las aguas superficiales entre 2022 y 2023, refleja que **en los puntos de detección cercanos a la superficie de siembra directa existe un porcentaje menor de puntos que mantienen la calificación del riesgo de detección de plaguicidas en agua sin variación 58,8% frente 62,9% del resto de puntos.** Además, hay una ligera variación en los puntos de detección situados en la superficie de siembra directa, tanto en la mejora de la clasificación del riesgo (20,5% frente 19,2% resto de puntos) como en el empeoramiento de la misma por la detección de plaguicidas (20,7% frente 18,0% resto de puntos).

Los datos muestran que, del total de puntos sin variación, el 54,6% de siembra directa y el 30,3% del resto de puntos, están situados en la categoría más alta de riesgo en ambas anualidades (≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L).

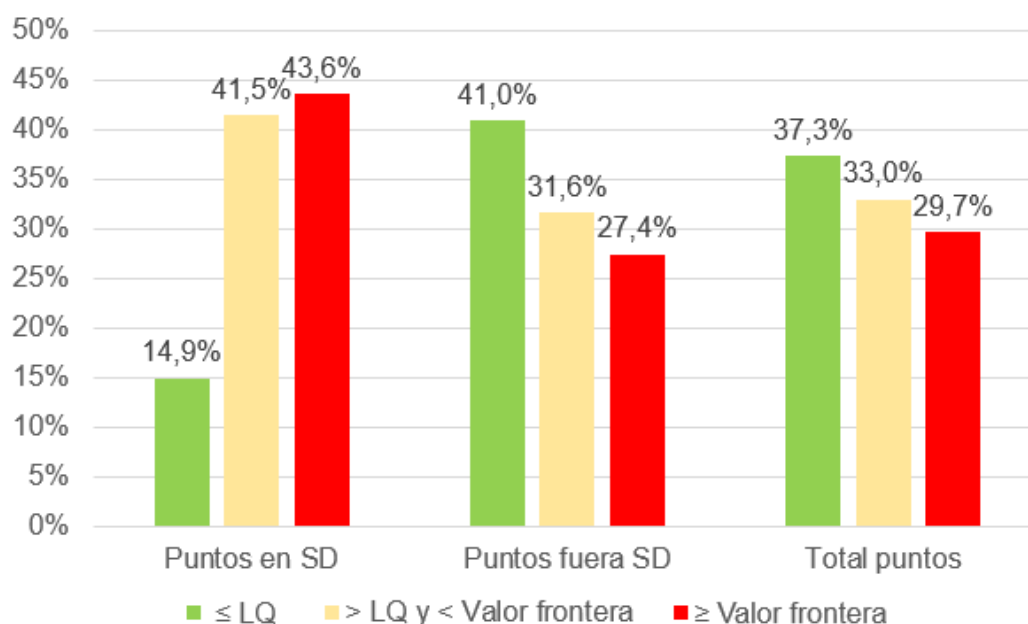
Tabla 58. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023).

	No siembra directa	Siembra directa
Se mantiene	62,9%	58,8%
Empeora	18,0%	20,7%
Mejora	19,2%	20,5%

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Hay que tener en cuenta que la tendencia en las últimas anualidades (2020 a 2023) el indicador proporcionado por el MITERD, sobre calidad de las aguas superficiales: detección de plaguicidas, presenta un ligero aumento del peso en la anualidad 2023 de las estaciones con alta detección de plaguicidas (en $> LQ$ y $< Valor\ frontera$ y en $\geq Valor\ frontera$), por lo que parece empeorar la calidad de las aguas de manera general durante el periodo y que el peso de estas categorías presenta un porcentaje más elevado en los puntos de detección de la superficie de siembra directa, es decir en la zona de estudio.

Gráfica 84. Porcentaje de puntos de detección en aguas superficiales de cada categoría de riesgo de plaguicidas según su vinculación a la superficie de siembra directa, 2023.



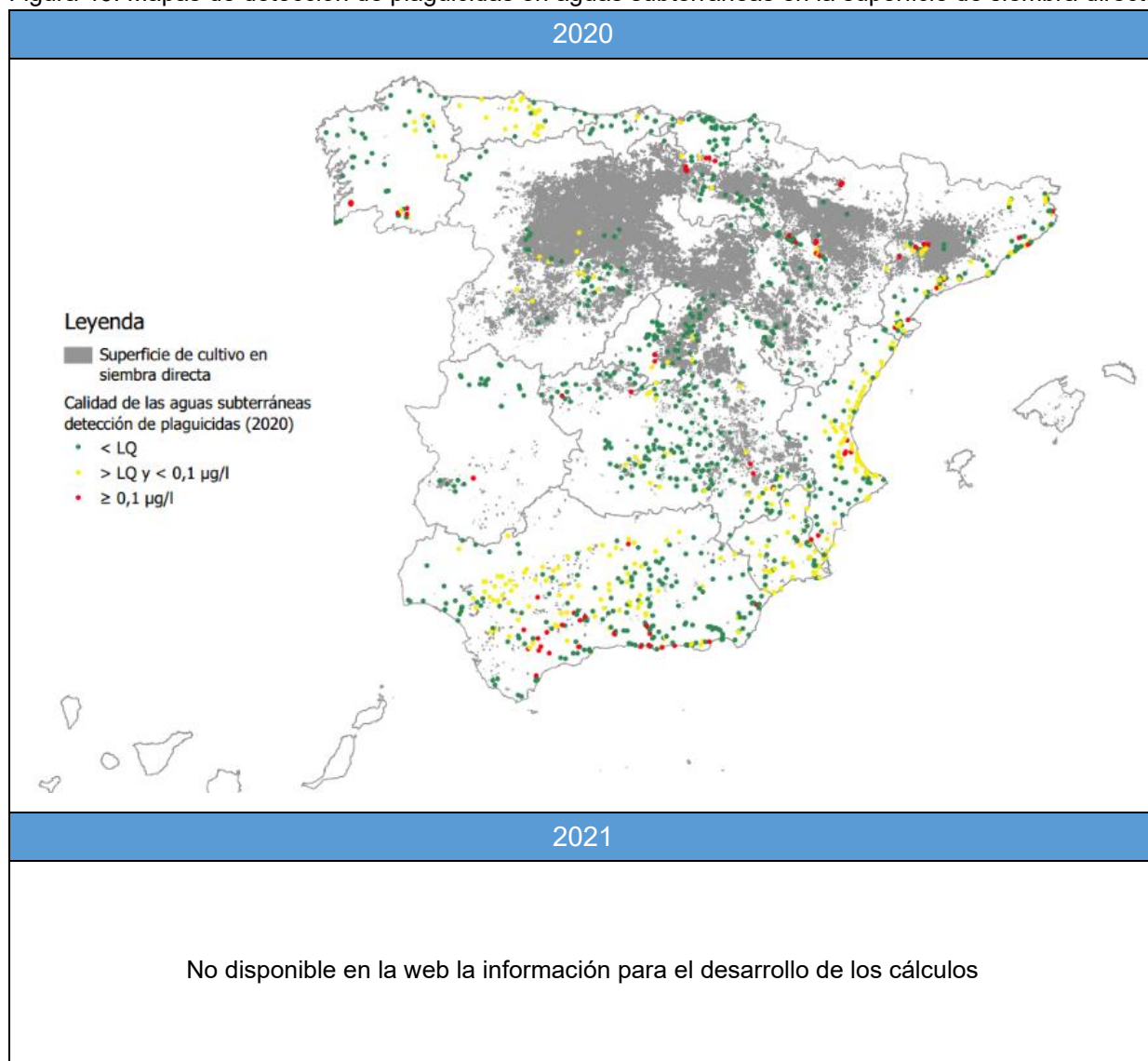
Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis estadístico llevado a cabo (para más detalle consultar el anexo V) muestra que en los **puntos de siembra directa existe el doble de probabilidad de encontrar puntos con un valor de peor calificación en el riesgo de plaguicidas**. En los que no hay siembra directa la frecuencia con la que se encuentran depende de los años en los puntos y en siembra directa la frecuencia de encontrar puntos con mayor riesgo de plaguicidas no depende de los años.

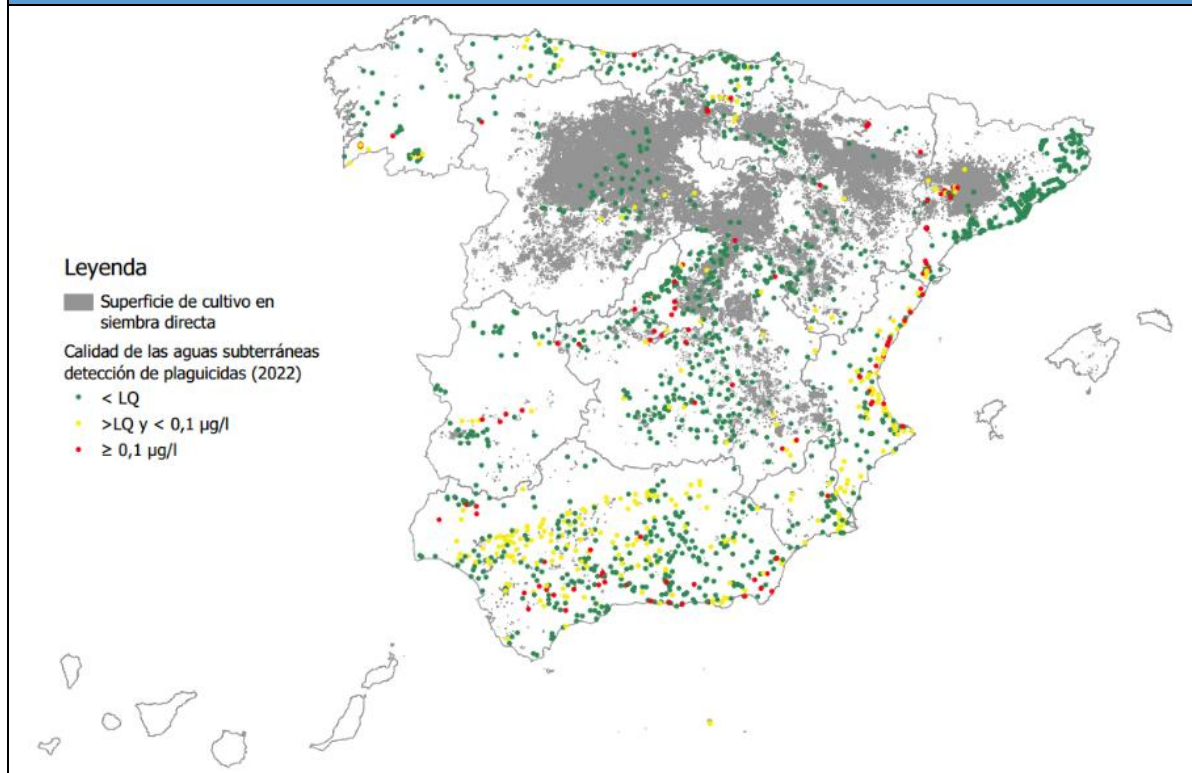
Aguas subterráneas

A continuación, se muestra la información de los puntos de detección de plaguicidas en las aguas subterráneas de cada anualidad en relación con la superficie de siembra directa de 2023, identificada en gris.

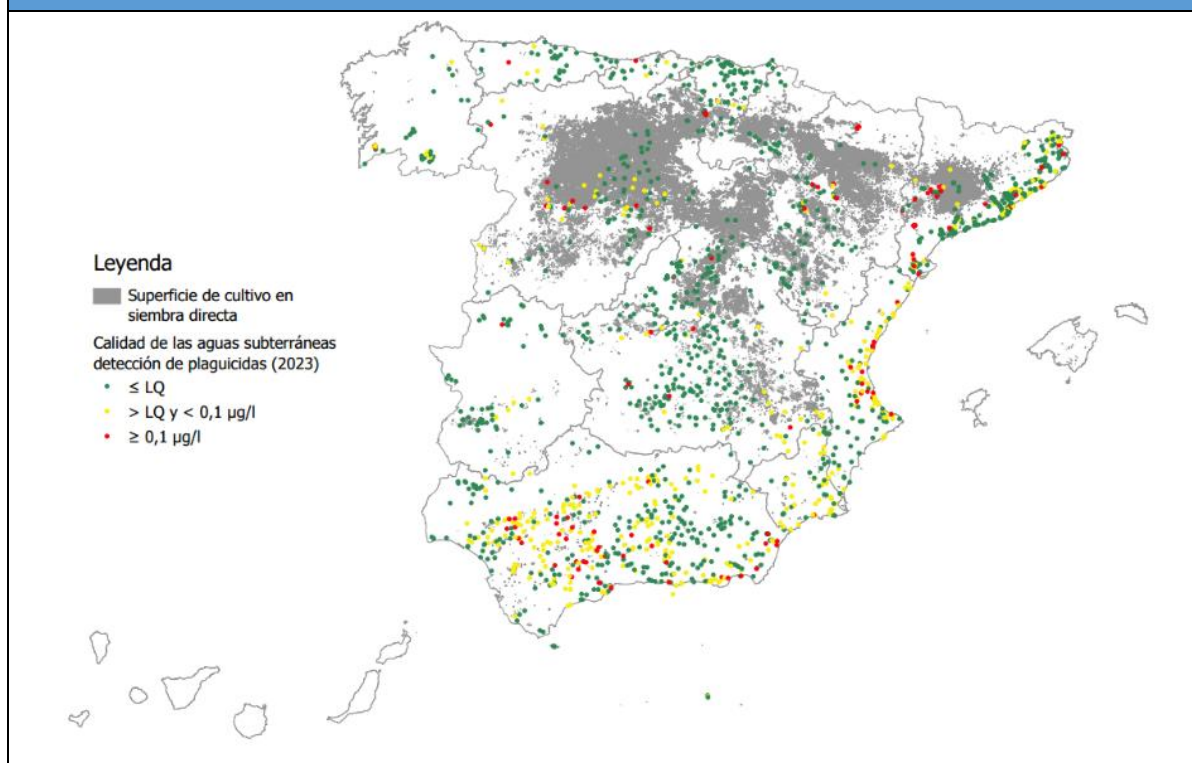
Figura 46. Mapas de detección de plaguicidas en aguas subterráneas en la superficie de siembra directa.



2022



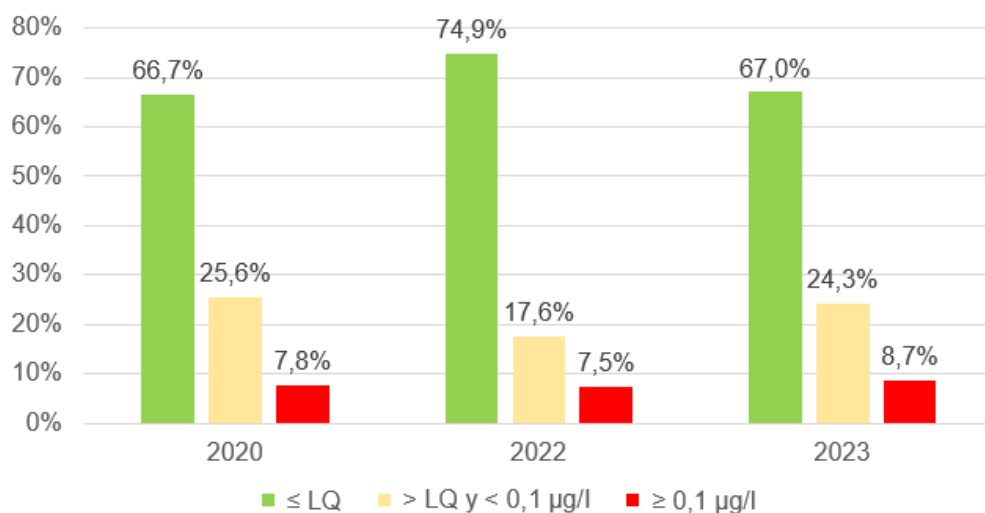
2023



Fuente: Indicadores de Calidad de las Aguas subterráneas: Detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis de la información empleada para esta evaluación, con los puntos de detección de plaguicidas **en aguas subterráneas, muestra que entre 2020 y 2023 existe cierta estabilidad** de la proporción de los puntos de detección con la calidad de agua, con un aumento en 2022 de los puntos con menor riesgo de plaguicidas, que vuelve al nivel de 2020 en 2023.

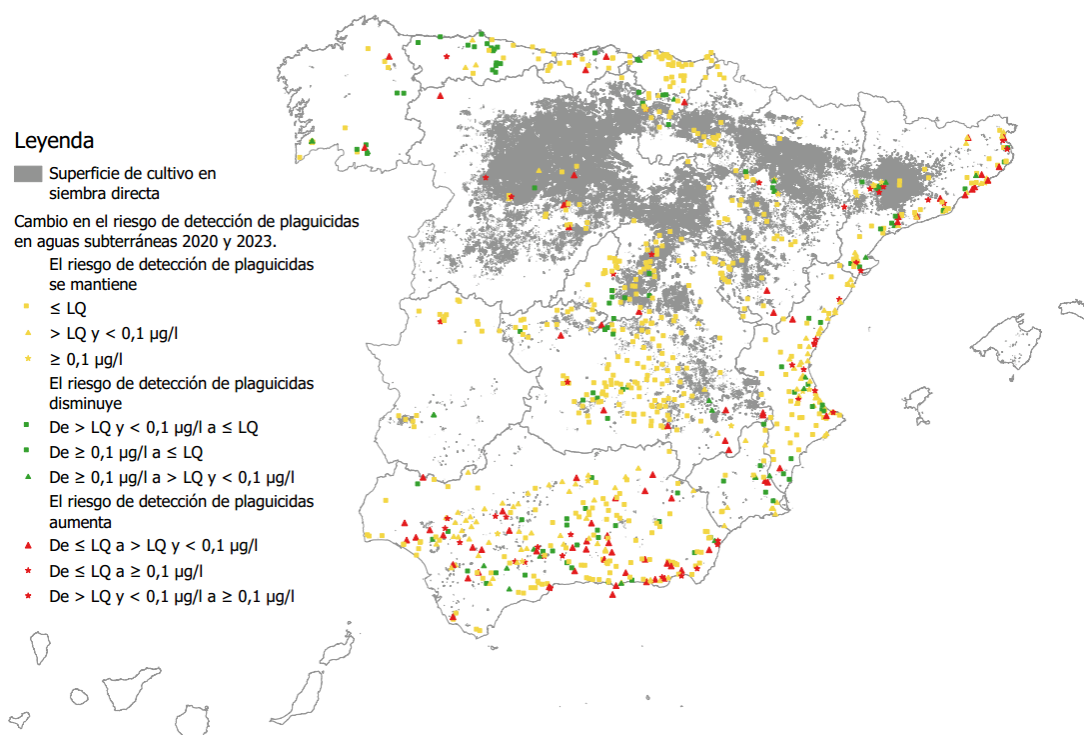
Gráfica 85. Evolución del porcentaje de puntos de detección de cada categoría de riesgo de plaguicidas. Aguas subterráneas.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD.

De los 1.637 puntos de detección de plaguicidas, en el 56,8% (929) se dispone de información de las dos anualidades 2020 antes del inicio del PEPAC y 2023, año de inicio.

Figura 47. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis de la información **entre 2020 y 2023** muestra que **en el 71,7% de los puntos de detección no existe variación en su categoría**, como se muestra en amarillo en la Tabla 59. Además, se observa que **en un 13,9% existe un incremento en la detección de plaguicidas en el año 2023**, sombreados en rojo y **en el 14,4% de los puntos de detección disminuye en 2023 la detección de plaguicidas en relación a 2020**.

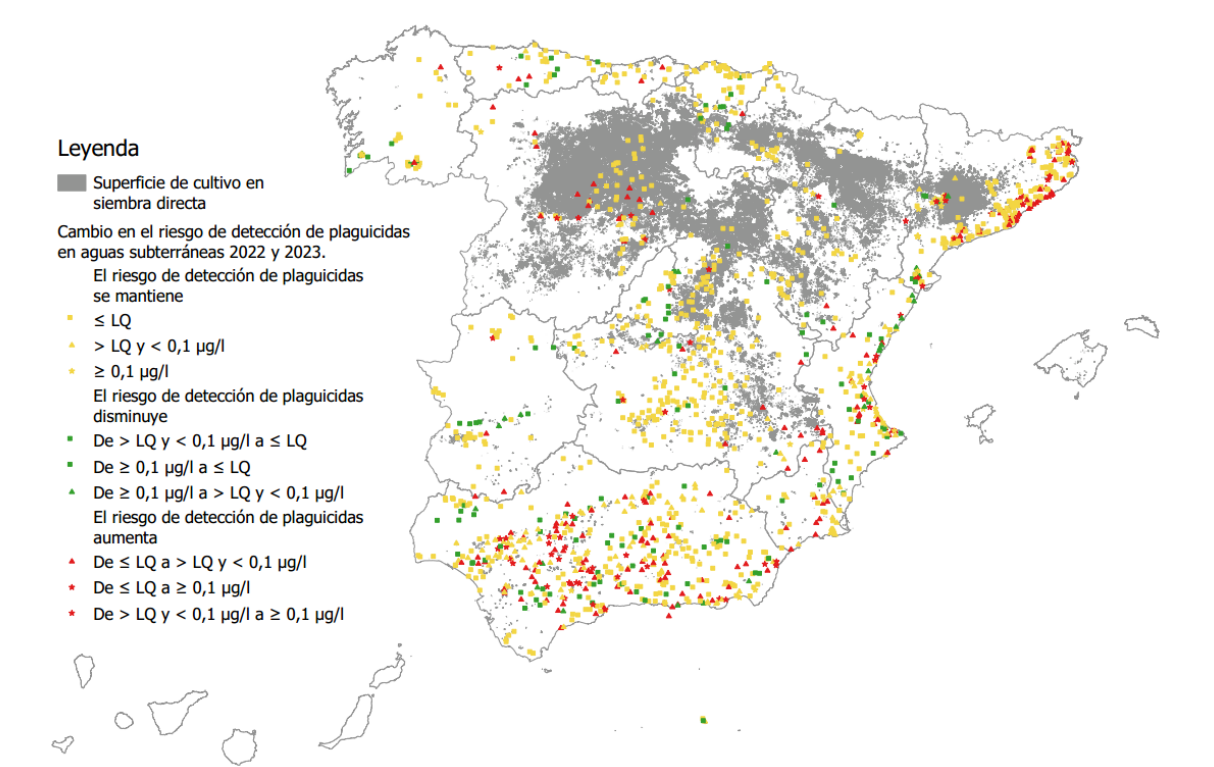
Tabla 59. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023). Número de puntos.

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2020	≤ LQ	501	80	23	604
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	86	129	26	241
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	17	31	36	84
TOTAL		604	240	85	929

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

De los 1.637 puntos, en el 88,8% (1.454) se dispone de información de las dos anualidades 2022 antes del inicio del PEPAC y 2023, año de inicio.

Figura 48. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis de la información, **entre 2022 y 2023**, de estos puntos de detección muestra que **en el 72,1% de los puntos de detección no existe variación en la categoría de los mismos**, como se muestra en amarillo en la Tabla 60. Además, se observa que **en un 17,2% existe un incremento en la detección de plaguicidas en el año 2023**, sombreados en rojo

en la tabla, frente al **10,6% de los puntos donde disminuye en esa anualidad la detección de plaguicidas en relación a 2022**, coloreados en verde.

Tabla 60. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023).

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2022	≤ LQ	849	184	38	1.071
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	91	147	28	266
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	36	29	52	117
TOTAL		976	360	118	1454

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

De esta forma, el patrón mostrado por los puntos de detección muestra una **cierta estabilidad en la proporción de puntos que mantienen su calidad entre 2022 y 2023**, que si se comparan los años 2020 y 2023. También se observa que si se comparan 2022 y 2023 existe un **mayor porcentaje de puntos con mayor riesgo de encontrar plaguicidas en agua y una menor proporción de puntos que mejoran el riesgo**, en relación a la comparación entre 2020 y 2023. No obstante, este resultado puede estar condicionado por el incremento de puntos entre ambos tramos temporales de contraste, ya que en la comparación entre 2022 y 2023 existe un 24,6% más de puntos de detección, así como otros factores ajenos a la intervención, como el clima.

Tabla 61. Resumen del análisis de la evolución de la calidad en puntos de detección de plaguicidas en campañas previas a la aplicación del PEPAC y el primer año de su implementación. Aguas subterráneas.

	Entre 2020 y 2023	Entre 2022 y 2023
	Nº de puntos con información	
≤ LQ	604	1.071
> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	241	266
≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	84	117
total	929	1.454
	Evolución en la calidad	
Se mantiene	71,7%	72,1%
Empeora	13,9%	17,2%
Mejora	14,4%	10,7%

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Comparación siembra directa respecto a aquellas zonas no influenciadas por la misma

A partir de la información de los puntos de detección de plaguicidas en las aguas subterráneas y la georreferenciación de la superficie de siembra directa del PEPAC, se analiza si existe una mayor incidencia de cambios en la detección plaguicidas en aquellas zonas de siembra directa con la que no se tiene constancia de su implementación, al no haber sido declarada con esta práctica en la Solicitud única.

De los 929 puntos de detección que disponen de información de las dos anualidades 2020 antes del inicio del PEPAC y 2023, 120 se ubican en superficie de siembra directa. En el resto de estaciones se considera que la relación con la superficie de siembra directa es poco significativa o nula.

La evolución del indicador de calidad de plaguicidas en las aguas subterráneas entre 2020 a 2023, refleja que **en los puntos de detección cercanos a la superficie de siembra directa existe un porcentaje mayor de puntos que mantiene el riesgo de plaguicidas sin variación 78,3% frente 70,7% del resto de puntos (los no influenciados por siembra directa)**. No obstante, hay que indicar que el 6,4% de puntos en siembra directa donde no hay variación entre las anualidades, presenta en este periodo un mayor riesgo de plaguicidas en aguas subterráneas con valores iguales o por encima de 0,1 µg/l, frente al 5,2% en el resto de puntos. En este caso, el 81,9% de los puntos que mantiene su clasificación de riesgo, en siembra directa, se encuentran en la categoría de ≤ LQ, frente al 74,1% en el resto de puntos.

Tabla 62. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023) próximas a la superficie de siembra directa.

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2020	≤ LQ	77	4	6	87
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	10	11	2	23
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	1	3	6	10
TOTAL		88	18	14	120

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Tabla 63. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023) resto de puntos.

		2023			TOTAL
		≤ LQ	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	
2020	≤ LQ	424	76	17	517
	> LQ y < (NCA-MA o 0,1 µg/L)	76	118	24	218
	≥ (NCA-MA o 0,1 µg/L)	16	28	30	74
TOTAL		516	222	71	809

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis de la evolución del indicador de calidad de plaguicidas en las aguas subterráneas entre 2020 a 2023, refleja que **en los puntos de detección cercanos a la superficie de siembra directa existe un porcentaje de puntos que mantienen la calidad de agua sin variación 78,3%, superior al 70,7% del resto no influenciados por siembra directa, porque disminuye la proporción de aquellos que mejoran el riesgo de detección de plaguicidas en agua (11,7% en siembra directa frente al 14,8%) y de los que registran un empeoramiento de la clasificación del riesgo por la detección de sustancias plaguicidas (10,0% en siembra directa frente al 14,5%).**

Tabla 64. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023).

	No siembra directa	Siembra directa
Se mantiene	70,7%	78,3%
Empeora	14,5%	10,0%
Mejora	14,8%	11,7%

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

En conclusión, en la comparativa entre las anualidades 2020 y 2023, se observa que en siembra directa hay menos proporción de puntos que mejoran su calidad de agua comparados con aquellos que están situados fuera de siembra directa. También hay mayor proporción de puntos que mantienen su calidad entre anualidades con la peor clasificación y proporción de puntos que mantiene su calidad que se clasifican como $\leq$ LQ.

Por otro lado, el análisis en la comparativa entre los años 2022 y 2023 muestra que de los 1.454 puntos de muestro que disponen de información tanto en 2022, antes del inicio del PEPAC y 2023 año de inicio, 180 se sitúan en superficie de siembra directa y en el resto de puntos se considera que la relación con la superficie de siembra directa es poco significativa o nula.

Tabla 65. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023) próximas a la superficie de siembra directa.

		2023			TOTAL
		$\leq$ LQ	$>$ LQ y $<$ (NCA-MA o 0,1 μ g/L)	$\geq$ (NCA-MA o 0,1 μ g/L)	
2022	$\leq$ LQ	125	18	3	146
	$>$ LQ y $<$ (NCA-MA o 0,1 μ g/L)	4	16	2	22
	$\geq$ (NCA-MA o 0,1 μ g/L)	3	2	7	12
TOTAL		132	36	12	180

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Tabla 66. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023) resto de estaciones.

		2023			TOTAL
		$\leq$ LQ	$>$ LQ y $<$ (NCA-MA o 0,1 μ g/L)	$\geq$ (NCA-MA o 0,1 μ g/L)	
2022	$\leq$ LQ	724	166	35	925
	$>$ LQ y $<$ (NCA-MA o 0,1 μ g/L)	87	131	26	244
	$\geq$ (NCA-MA o 0,1 μ g/L)	33	27	45	105
TOTAL		844	324	106	1.274

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis de la evolución del indicador de calidad de plaguicidas en las aguas subterráneas entre 2022 y 2023, refleja que en los puntos de muestreo cercanos a la superficie de siembra directa existe un porcentaje mayor de puntos que mantienen la calidad de agua sin variación, el 82,2% frente al 70,6% del resto de puntos de detección, disminuyendo el peso tanto de los que registran una mejora de la calidad de las aguas (5,0% frente 11,5%) como en los que muestran el empeoramiento de las mismas por la detección de plaguicidas (12,8% frente 17,8%).

Se observa que el peso, en ambas anualidades, de los puntos con una calidad en las aguas subterráneas con valores iguales o por encima de 0,1 μ g/l, es similar, de 4,7% de la superficie de siembra directa y 5,0% en el resto de puntos de detección. En el caso de puntos que mantienen su calidad, el peso de aquellos relacionados con la siembra directa es superior a la proporción obtenida para los no influenciados por la siembra directa, de 84,5% frente al 80,4%.

Tabla 67. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023).

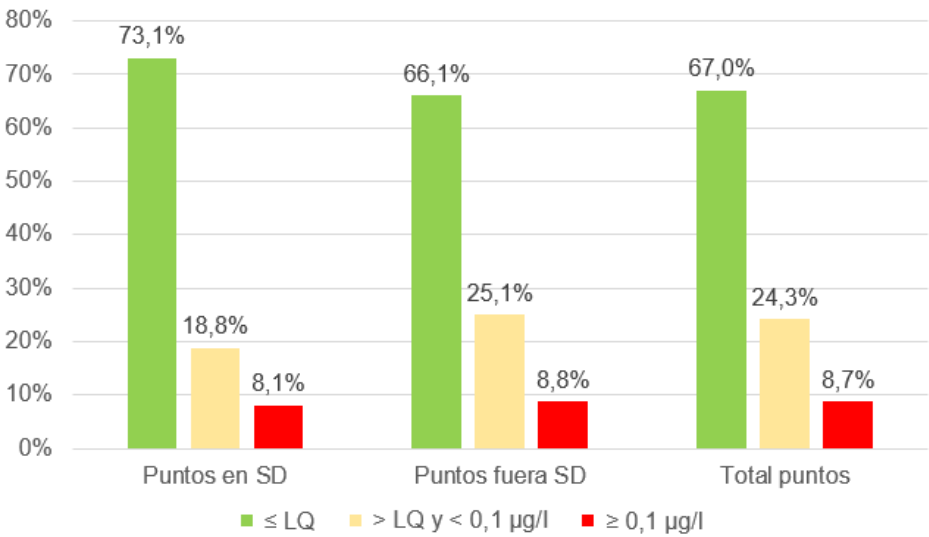
	No siembra directa	Siembra directa
Se mantiene	70,6%	82,2%
Empeora	17,8%	12,8%
Mejora	11,5%	5,0%

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

Además, hay que tener en cuenta que estos cambios observados en las calidades de agua pueden deberse a cualquier sustancia activa, bien fitosanitarios o herbicidas, ya que a cada punto se asigna la categoría más alta que se haya alcanzado, aunque sólo se haya dado en un solo compuesto, procediendo con el rango de concentración de plaguicidas indicado.

Por otro lado, si se analizan de manera independiente los puntos influenciados por la siembra directa de aquellos que no lo están, en el año 2023, se observan diferencias de los pesos de las distintas categorías, **mostrando una mayor proporción de aquellos de mejor calidad en la siembra directa, el 73,1%, frente al 66,1% del resto de puntos**. También se observa peso similar, ligeramente inferior, de la categoría $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$ en el caso de siembra directa, del 8,1% frente al 8,8%.

Gráfica 86. Porcentaje de puntos de detección de cada categoría de riesgo de plaguicidas en aguas subterráneas según su vinculación a la superficie de siembra directa, 2023.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de Plaguicidas en las Aguas, MITERD y RSU 2023.

El análisis estadístico llevado a cabo muestra que los años influyen en la probabilidad de la de encontrar más o menos cantidad de puntos con mayor riesgo de plaguicidas y no existe un efecto significativo del tratamiento (con siembra directa o sin ella).

Análisis de la incidencia de la fertilización en siembra directa en la calidad del agua

Para evitar la contaminación de las aguas por nitratos, es preciso aplicar las buenas prácticas agrarias, de forma que los productos utilizados en la nutrición vegetal o en la mejora de las características del suelo cumplan con dos requisitos fundamentales: eficacia agronómica y ausencia de efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente. En esta línea, la práctica de siembra directa en regadío, incorpora un compromiso que las otras dos intervenciones de

esta práctica no presentan, *disponer de un plan de abonado*. Asimismo, *deberán registrar las operaciones de aporte de nutrientes y materia orgánica al suelo agrario y de agua de riego en el cuaderno de explotación agrícola o, el cuaderno digital de explotación agrícola*.

El compromiso anterior está recomendado en el Real Decreto 47/2022¹⁹⁸, de 18 de enero, en el anexo I del mismo, se exponen los fundamentos de los códigos de buenas prácticas agrarias sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. Las zonas vulnerables a nitratos de origen agrícola constituyen toda la superficie, designada por las comunidades autónomas, conocida de su territorio, cuya escurrimiento fluya hacia las aguas contempladas en el artículo 3 aguas afectadas por la contaminación por nitratos y que contribuyan, aunque sea mínimamente, a su contaminación.

Por ello, en este primer análisis se va a valorar en qué medida la implementación de la práctica de siembra directa en zonas de regadío, está contribuyendo a implementar una de las recomendaciones de Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

Se observa que, excepto en tres CCAA, Principado de Asturias, Cantabria y Galicia, en el resto se ha declarado alguna zona vulnerable a contaminación por nitratos. En prácticamente, todas las CCAA se establece que es necesario disponer de información sobre los aportes de fertilizantes, y que es muy recomendable hacer un plan de abonado de cada parcela, aunque son menos las CCAA que establecen este como obligatorio, como se recoge en la siguiente tabla.

Tabla 68. Elaboración de planes de abonado y registro de fertilización en las zonas vulnerables a contaminación por nitratos.

CCAA (fuente de información)	Código de buenas prácticas ZVN.
01. Andalucía (https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescaaguaydesarrollorural/areas/agricultura/sostenibilidad/paginas/agricultura-manejo-cultivos-zonas-vulnerables-zv.html)	Llevar la documentación necesaria para el control de la aplicación de fertilizantes minerales y orgánicos en las parcelas con cultivos, y para el control de la producción y movimiento de estiércoles de las explotaciones ganadera.
02. Aragón (https://www.aragon.es/centro-de-transferencia-agroalimentaria/zonas-vulnerables-a-la-contaminacion-por-nitratos-de-origen-agrario)	Las explotaciones agrarias situadas en las Zonas Vulnerables de Aragón tienen que llevar la documentación necesaria para el control de la aplicación de fertilizantes minerales y orgánicos en las parcelas con cultivos, y para el control de la producción y movimiento de estiércoles de las explotaciones ganadera.
03. Principado de Asturias	No tiene zonas vulnerables a contaminación por nitratos
04. Illes Balears (https://www.caib.es/sites/aiqua/es/zonas_vulnerables_a_la_contaminacion_por_nitratos_de_origen_agrario/)	La elaboración de planes de abonado por parcela y el llevar cuadernos para anotar la aplicación de fertilizantes en cada explotación constituyen medios que permiten ayudar al agricultor a conducir mejor su fertilización nitrogenada. Estas herramientas deben ser utilizadas de forma que permitan a la explotación agrícola prever y seguir la evolución de su fertilización nitrogenada favoreciéndose así el buen uso de los abonos.
05. Islas Canarias (https://www.gobiernodecanarias.org/agricultura/temas/contaminacion_nitratos/)	Se elaborarán planes de abonado por parcela y se llevará un cuaderno para anotar la aplicación de fertilizantes en cada explotación.
06. Cantabria	No tiene zonas vulnerables a contaminación por nitratos

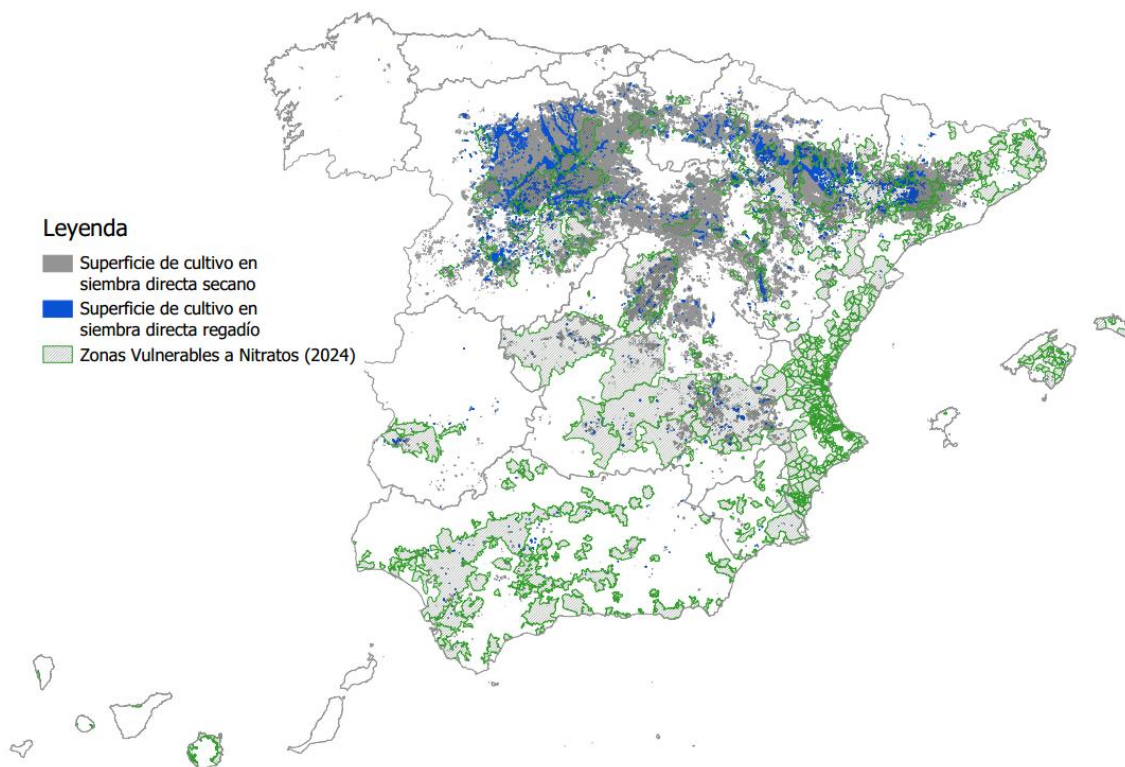
¹⁹⁸ Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. (<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2022-860>).

CCAA (fuente de información)	Código de buenas prácticas ZVN.
07. Castilla y León (https://medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100Detalle/1246988359553/Noticia/1284966161459/Comunicacion)	La elaboración de planes de abonado y el registro en los cuadernos de explotación para anotar la aplicación de fertilizantes en la explotación, constituyen medios que permiten ayudar al agricultor a conducir mejor su fertilización nitrogenada.
08. Castilla-La Mancha (https://www.castillalamancha.es/gobierno/desarrollosostenible/estructura/dgecoir/actuaciones/contaminacionC3%B3n-difusa-por-nitratos-de-origen-agrario)	Registro de la fertilización, cuyo modelo se adjunta en el Anexo I, donde debe constar, para cada año y para cada cultivo, al menos: provincia, término municipal, polígono, parcela, recinto superficie de cultivo, secano o regadío, fecha de aplicación, abonado de fondo o sementera realizado, abonos de cobertera y finalmente, estimación de la producción del cultivo por hectárea.
09. Catalunya (https://aca.gencat.cat/es/laigua/el-medi-hidric-a-catalunya/zones-protegides/zones-vulnerables-per-nitrats-dorigen-agrari/index.html)	Llevar libro de gestión de fertilizantes, las explotaciones agrícolas de un cierto tamaño : 0,5 ha de cultivos en invernadero, 2 ha de cultivos al aire libre de hortalizas, flores o planta ornamental, 3 ha de cultivos de regadío (sin considerar las superficies de los dos ítems anteriores), 4 ha de cultivos de secano o el equivalente a más de 4 ha de cultivos de secano (se establece unas equivalencias)
10. Extremadura (https://www.juntaex.es/w/programa-de-actuacion-y-eae-zonas-vulnerables-nitratos-en-extremadura?inheritRedirect=true)	Los titulares de las explotaciones agrarias deben cumplimentar y conservar un registro de la fertilización dentro del cuaderno de explotación donde debe constar, para cada año y para cada cultivo.
11. Galicia	No tiene zonas vulnerables a contaminación por nitratos
12. Comunidad de Madrid (https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/contaminacion-producida-nitratos-procedentes-fuentes-agrarias)	Todas las explotaciones agrícolas deben establecer planes de abonado para cada parcela y que lleven un libro de registro de aplicación de fertilizantes.
13. Región de Murcia (https://www.carm.es/web/pagina?IDC=71225&IDTIPO=100&RAS=71225&IDTIPO=100&RAS=TRO=c500\$m)	Será obligatorio disponer en la explotación agraria de los registros y documentación necesaria acreditativa de la fertilización nitrogenada en las parcelas ubicadas en ZVN de la explotación agrícola y de la gestión de los estiércoles y purines generados en la explotación ganadera
14. Comunidad Foral de Navarra (https://www.navarra.es/es/tramites/on-line/Asesoramiento-para-prevenir-la-contaminacion-de-las-aguas-por-nitratos)	Las personas titulares de las explotaciones agrarias ubicadas en las zonas designadas como vulnerables deberán llevar un Cuaderno de explotación , https://www.navarra.es/documents/48192/6664467/Cuaderno+de+explotacionC3%B3n.doc/a5324b69-5544-f316-9fe2-0a1b902ab9cf?t=1628586379399 en el cual registrarán los planes y prácticas de abonado según sus cultivos.
15. Euskadi (<a href="https://www.euskadi.eus/zonas-vulnerables-agricultura/web01-a2nekaza/es/<">https://www.euskadi.eus/zonas-vulnerables-agricultura/web01-a2nekaza/es/<)	Las explotaciones agrícolas y ganaderas deberán llevar un registro de fertilización de las parcelas.
16. La Rioja (https://www.larioja.org/agricultura/es/agricultura/zonas-vulnerables-contaminacion-nitratos)	Los agricultores deben llevar a cabo planes de abonado para cada uno de los recintos afectados por la declaración de zonas vulnerables. La Consejería de Agricultura ha elaborado una hoja de cálculo que unifica toda la información contenida en el Decreto para facilitar el cumplimiento de este requisito a los agricultores afectados. El plan de abonado es uno de los documentos exigidos cuando se realizan los controles administrativos y de campo
17. Comunitat Valenciana (https://mediambient.gva.es/es/web/agua/zonas-vulnerables)	Cada parcela en ZVN, identificada con su referencia SIGPAC, se registrará en el cuaderno de explotación la siguiente información: a) Las aplicaciones de productos fertilizantes. Se recomienda establecer un plan de fertilización nitrogenada para cada cultivo de la explotación.

Fuente: elaboración propia.

En el siguiente mapa se da reflejo de la localización de la superficie subvencionada por la siembra directa en 2023 en secano y regadío, en relación con las zonas vulnerables a contaminación por nitratos declaradas a 2024¹⁹⁹.

Figura 49. Superficie de las intervenciones de la práctica de siembra directa y zonas vulnerables a contaminación por nitratos.



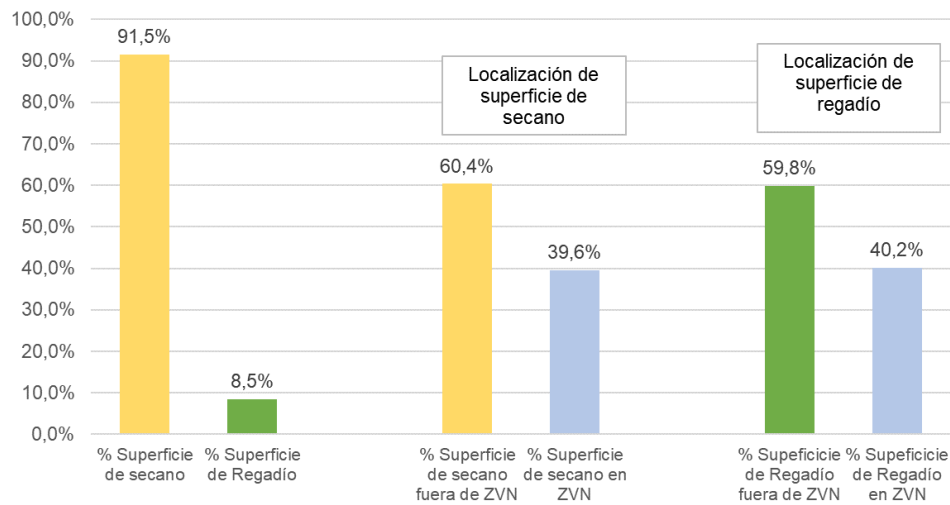
Fuente: elaboración propia a partir de la cartografía de las zonas vulnerables a nitratos de origen agrícola, 2024, del MITERD y RSU 2023.

Los datos de ejecución, muestran que el 8,5% de la superficie en siembra directa es de regadío, es decir esta superficie de riego debe disponer de un plan de abonado y un registro de las aportaciones de fertilizantes, así como un control del consumo de agua. De ella, el 40,2% de la superficie está en zonas vulnerables a contaminación de nitratos, **por lo que, en gran parte de la superficie de regadío de siembra directa, el Real Decreto 47/2022, establece una limitación en la utilización de fertilizantes, adicional a los compromisos para la práctica establecidos en PEPAC.**

En el caso de la superficie de siembra directa de secano, el 91,5% en 2023, también hay una parte importante de superficie que se localiza en zonas vulnerables a contaminación por nitratos, un 39,4%. En este caso, el efecto potencial de la práctica en la calidad de las aguas, al minimizar el riesgo lixiviación y escorrentía, se ve también muy influenciado por la aplicación de la CCAA del Real Decreto 47/2022.

¹⁹⁹ Delimitación de las zonas vulnerables a nitratos de origen agrícola, 2024 (<https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/zonas-vulnerables.html>).

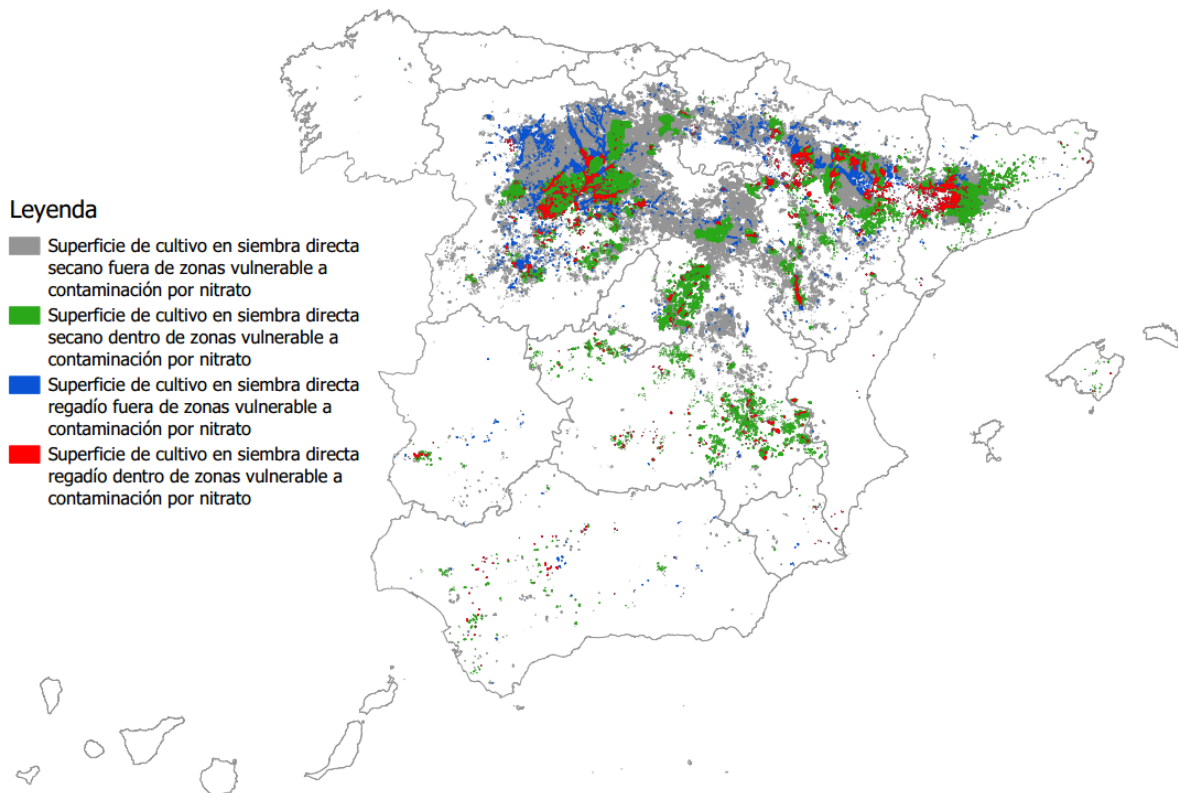
Gráfica 87. Porcentaje de superficie de siembra directa en secano y regadío que se localiza en zonas vulnerables a contaminación por nitratos (%).



Fuente: elaboración propia a partir de la cartografía de las zonas vulnerables a nitratos de origen agrícola, 2024, del MITERD y RSU 2023.

A continuación, se muestra la distribución de la superficie de siembra directa en relación con las zonas vulnerables a contaminación por nitratos.

Figura 50. Localización de la superficie de secano y regadío de las intervenciones de siembra directa, que están o no en zonas vulnerables a contaminación por nitratos.



Fuente: elaboración propia a partir de la cartografía de las zonas vulnerables a nitratos de origen agrícola, 2024, del MITERD y RSU 2023.

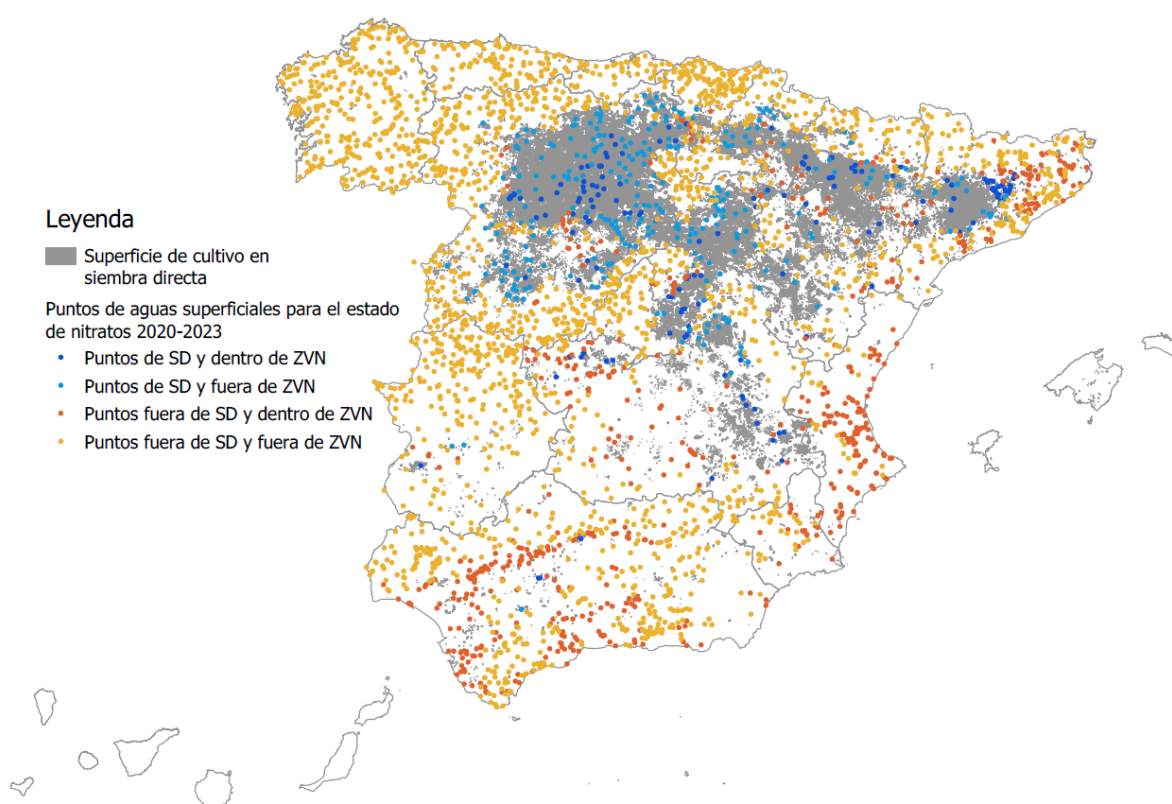
Una vez se han ubicado las superficies de los distintos grupos detallados en la metodología, para valorar los posibles efectos del conjunto de la técnica de siembra directa en la calidad de las

aguas superficiales y subterráneas, en relación con la lixiviación y escorrentía de los fertilizantes, se ha clasificado la información que el MITERD dispone en la red de control establecida en los correspondientes planes hidrológicos para el seguimiento del estado de las aguas superficiales y, de las aguas subterráneas, para seleccionar las estaciones de seguimiento que se ubican en la superficie de siembra directa y aquellos en los que la influencia de la práctica es despreciable.

Aguas superficiales

Del total de estaciones de control de nitratos aguas de superficiales, en 2.935 se dispone de información de las anualidades 2021-2022 antes del inicio del PEPAC y 2023-2024 después del inicio. A continuación, se muestran las estaciones de control.

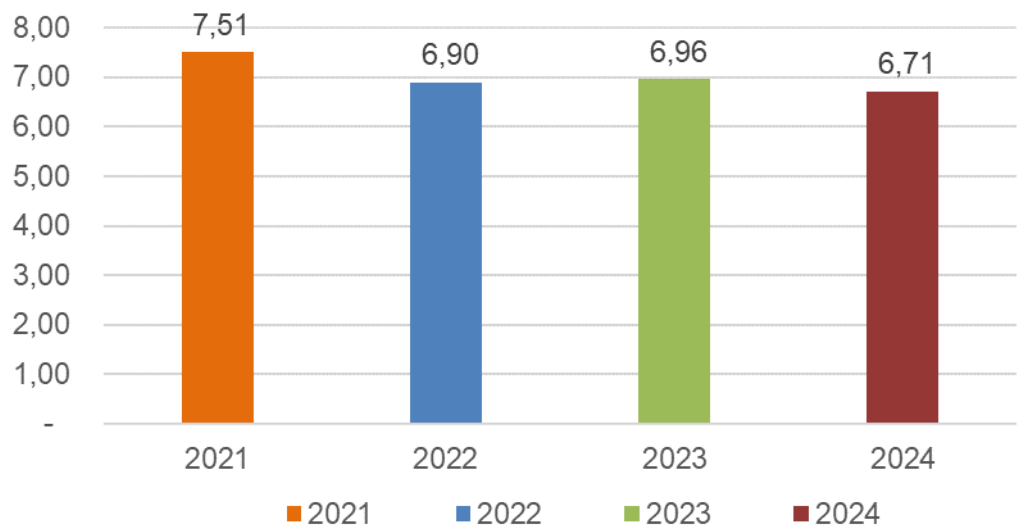
Figura 51. Estaciones de control de nitratos para el estudio del estado de nitratos de aguas superficiales.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

En el conjunto de estaciones, durante el periodo de estudio se observa un ligero descenso en la concentración de nitratos en las aguas superficiales, con un pequeño repunte en la anualidad 2023 para posteriormente continuar descendiendo en 2024.

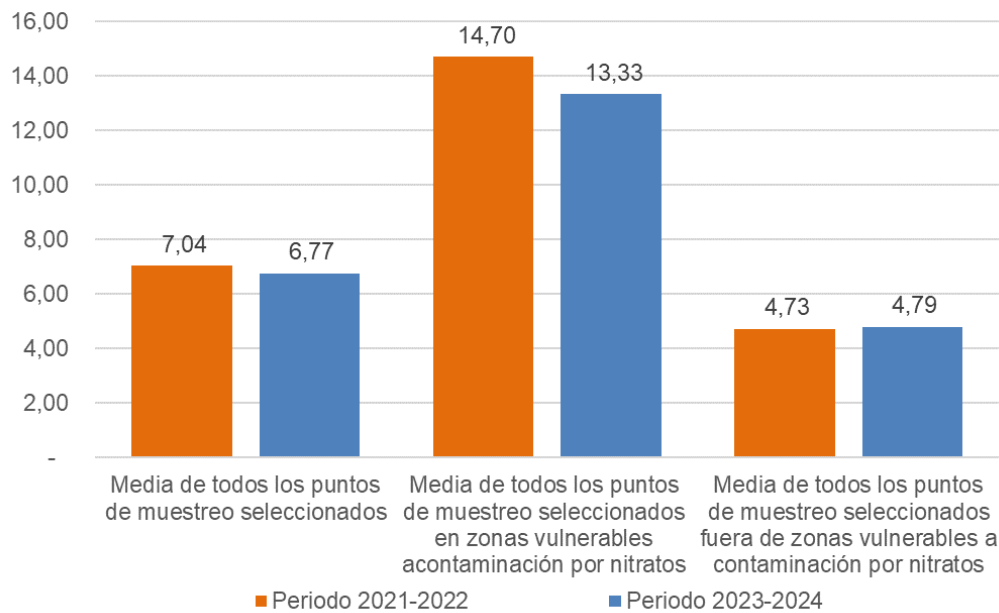
Gráfica 88. Concentración media de nitrato (NO₃) en las aguas superficiales en el periodo 2021 a 2024 (mg NO₃/l).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

Al comparar las concentraciones medias de los dos periodos de tiempo 2021-22 (antes) y 2023-24 (después), **se observa un descenso del 0,27 mg de NO₃/l en las aguas superficiales, que está relacionado con las estaciones de control de las zonas vulnerables a contaminación por nitratos (1,37 mg de NO₃/l), ya que fuera de las zonas vulnerables se observa un incremento de la concentración de nitratos (0,06 mg de NO₃/l).**

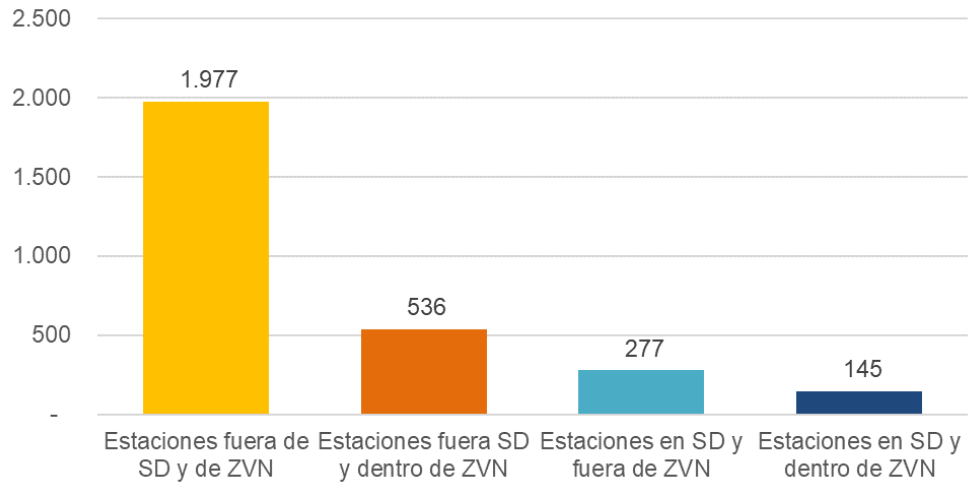
Gráfica 89. Concentración media de nitrato (NO₃) en los periodos a comparar 2021-22 y 2023-24, dentro y fuera de las zonas vulnerables a contaminación por nitratos (mg NO₃/l).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

Del total de estaciones de control en aguas superficiales, 2.513 se localizan fuera de la superficie de siembra directa mientras que 422 se sitúan cerca de la misma, como se muestra en la Gráfica 90.

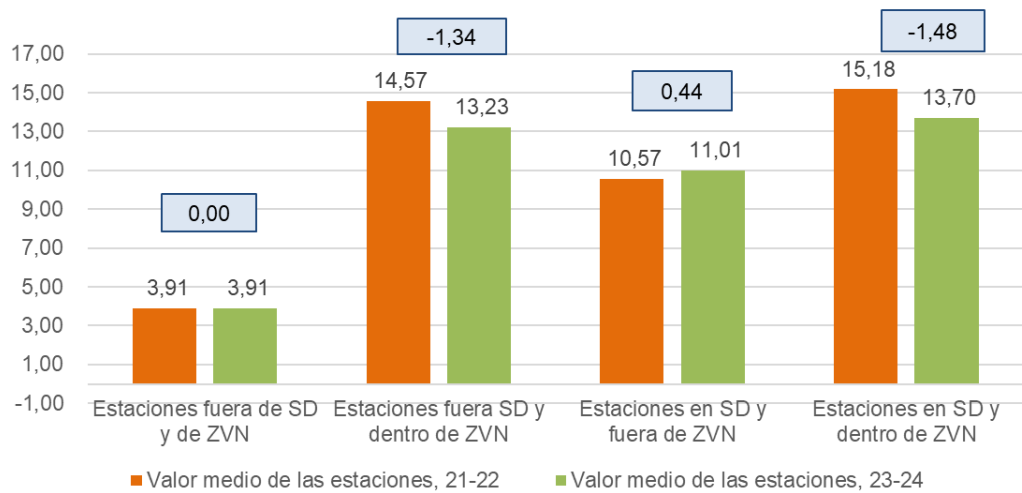
Gráfica 90. Distribución de los puntos de muestreo de nitratos dentro y fuera de la superficie de siembra directa y de zonas vulnerables a contaminación por nitratos (Nº).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

Como en el caso anterior, se observa un descenso en la detección de nitratos (Gráfica 91) producido en las estaciones de dentro de zonas vulnerables a contaminación por nitratos, indistintamente de que sean objeto de siembra directa o no, ya que aquellas que se ubican fuera de las zonas vulnerables registran un ligero aumento, que es más pronunciado en las estaciones de siembra directa (Gráfica 97).

Gráfica 91. Variación de la concentración media de nitrato (NO₃), dentro y fuera de la superficie de siembra directa y las zonas vulnerables a contaminación por nitratos entre los periodos 2021-22 y 2023-24 (mg NO₃/l).

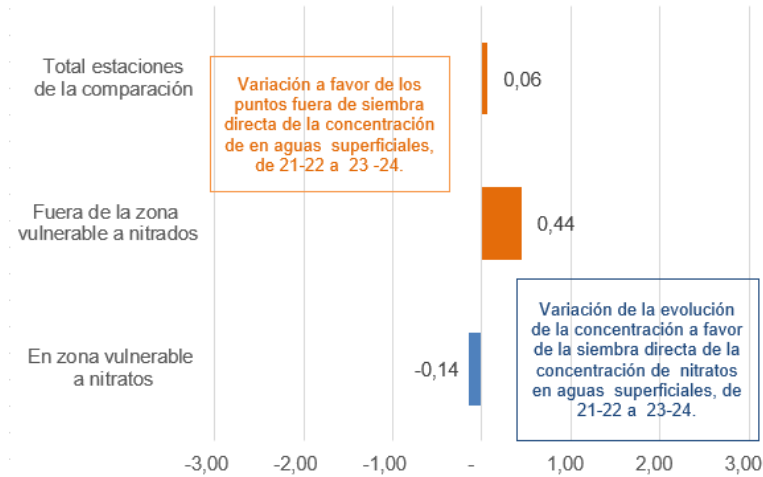


Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

Como se muestra en la siguiente gráfica, las estaciones en zonas vulnerables a nitratos se registra un descenso de la concentración más acusado en la siembra directa, mostrando un diferencial de descenso de -0,14 mg NO₃/l, a favor de la siembra directa. En cambio, en las

estaciones que se ubican fuera de las zonas vulnerables a nitratos de siembra directa se produce un diferencial de incremento respecto a las que no son de siembra directa de 0,44 mg NO₃/l.

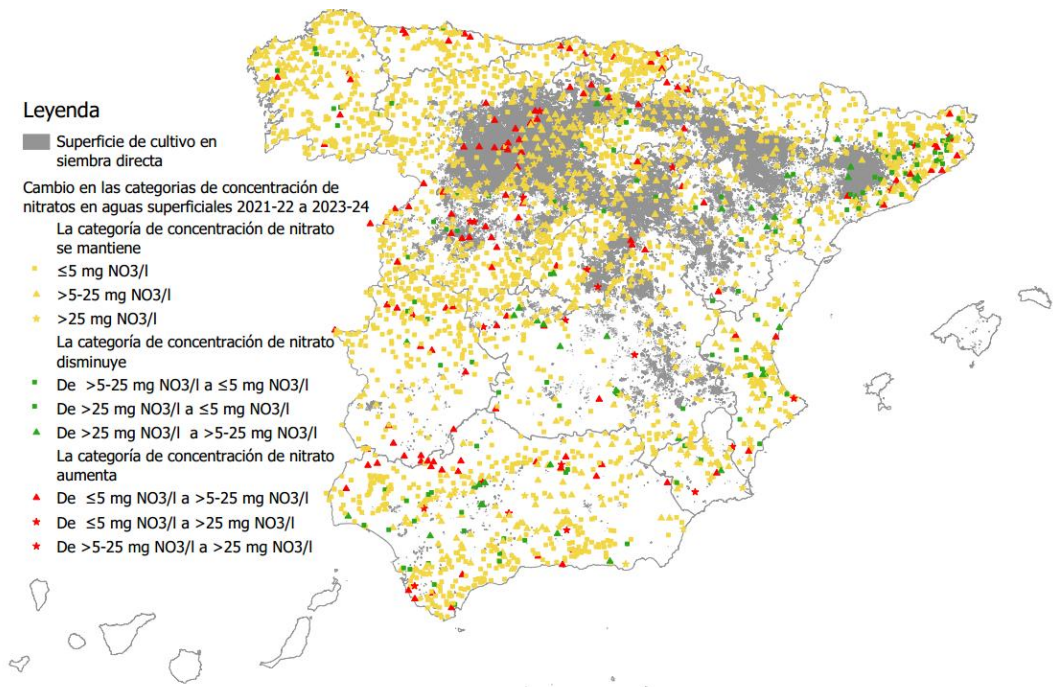
Gráfica 92. Diferencia media de concentración de nitratos en los puntos de detección (media 23-24 menos media 21-22 (mg NO₃/l)).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

De manera complementaria, siguiendo la metodología del informe sobre la calidad de las aguas 2010 – 2023 de MITERD se clasifican las estaciones de control de aguas superficiales en tres categorías, conforme a la media de las dos anualidades de antes (2021-22) y después de la implementación de PEPAC (2023-24). Esto permite observar el cambio de calidad de las aguas superficiales, del modo que se refleja en la Figura 52.

Figura 52. Cambio de categoría de las estaciones de control de nitratos en aguas superficiales (2021-22 y 2023-24).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

De las 422 estaciones de control de nitratos en siembra directa, 145 están dentro de zonas vulnerables, y el 86,9% se mantiene la categoría de calidad del agua durante el periodo de estudio, en gran parte de estas estaciones de control la concentración de nitratos se mantiene en niveles bajo ($\leq 5 \text{ mg NO}_3/\text{l}$) o moderados ($>5\text{-}25 \text{ mg NO}_3/\text{l}$). De las estaciones fuera de las zonas vulnerables, un 85,6% mantiene la categoría de calidad, con predominancia de las categorías más bajas.

Tabla 69. Cambio de categoría en las estaciones de control de nitratos en aguas superficiales (2021-22 y 2023-24), Número de estaciones en el grupo de tratamiento: siembra directa.

		Dentro de ZVN (2023-24)			
		$\leq 5 \text{ mg NO}_3/\text{l}$	$> 5\text{-}25 \text{ mg NO}_3/\text{l}$	$> 25 \text{ mg NO}_3/\text{l}$	Total
Dentro de ZVN (2021-22)	$\leq 5 \text{ mg NO}_3/\text{l}$	43	5	0	48
	$> 5\text{-}25 \text{ mg NO}_3/\text{l}$	5	59	2	66
	$> 25 \text{ mg NO}_3/\text{l}$	0	7	24	31
Total		48	71	26	145
		Fuera de ZVN (2023-24)			
Fuera de ZVN (2021-22)	$\leq 5 \text{ mg NO}_3/\text{l}$	80	21	0	101
	$> 5\text{-}25 \text{ mg NO}_3/\text{l}$	15	134	4	153
	$> 25 \text{ mg NO}_3/\text{l}$	0	0	23	23
Total		95	155	27	277

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

En cuanto a la variación en la categoría de calidad de las aguas, se observa que el 8,3% dentro de ZVN y el 5,4% de los puntos fuera de ZVN, mejora la categoría, mientras que en 4,8% dentro de ZVN y 9,0% fuera de ZVN que empeora la calidad.

De las 2.513 estaciones de control que no están en la superficie de siembra directa, 536 están dentro de zonas vulnerables, y de estas últimas el 80,6% de las mismas se mantiene la categoría de calidad del agua durante el periodo de estudio. Principalmente, las estaciones se mantienen en concentraciones de $\leq 5 \text{ mg NO}_3/\text{l}$ y $> 5\text{-}25 \text{ mg NO}_3/\text{l}$. En las estaciones de fuera de zonas vulnerables, un 92,0% de las mismas mantienen la categoría de calidad, predominando las de estaciones de categoría con baja concentración ($\leq 5 \text{ mg NO}_3/\text{l}$).

Tabla 70. Cambio de categoría en los puntos de detección de nitratos en aguas superficiales (2021-22 y 2023-24), Número de estaciones en los grupos de control: fuera de siembra directa.

		Dentro de ZVN (2023-24)			
		≤ 5 mg NO ₃ /l	> 5- 25 mg NO ₃ /l	> 25 mg NO ₃ /l	Total
Dentro de ZVN (2021-22)	≤ 5 mg NO ₃ /l	188	20	1	209
	> 5- 25 mg NO ₃ /l	42	181	14	237
	> 25 mg NO ₃ /l	2	25	63	90
Total		326	174	36	536
		Fuera de ZVN (2023-24)			
Fuera de ZVN (2021-22)	≤ 5 mg NO ₃ /l	1.425	82	0	1.507
	> 5- 25 mg NO ₃ /l	62	370	3	435
	> 25 mg NO ₃ /l	0	11	24	35
Total		1.487	463	27	1.977

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

En cuanto a la variación en la categoría de calidad de las aguas, se observa que el 12,9% dentro de ZVN y el 3,7 % de los puntos fuera de ZVN, mejora la categoría, mientras que en 6,5% dentro de ZVN y 4,3% fuera de ZVN que empeora la calidad.

Por tanto, en siembra directa **hay un mayor porcentaje de estaciones fuera de ZVN que empeoran el estado de los nitratos que de los que mejoran durante estos primeros años de la práctica de siembra directa y fuera de siembra directa, hay un mayor porcentaje de puntos de muestreo que mejoran el estado de los nitratos en ZVN que de los que empeoran durante estos primeros años.**

Si se observan las estaciones en ZVN, dentro y fuera de siembra directa, parece que con la práctica hay un menor porcentaje de estaciones que empeoran la calidad y también la mejoran respecto a las de fuera de siembra directa. Fuera de ZVN la siembra directa está relacionada con estaciones con un mayor aumento de las estaciones que empeoran la calidad y también que la mejoran (Tabla 71).

Tabla 71. Resumen de los porcentajes de variación de la calidad de los puntos de detección de nitratos de forma comparada en los cuatro tipos analizados (2021-22 y 2023-24). % de estaciones que cambian en aguas superficiales.

Evolución de la calidad	En siembra directa		Fuera de siembra directa	
	En ZVN	Fuera de ZVN	En ZVN	Fuera de ZVN
Mantiene	86,9%	85,6%	80,6%	92,0%
Aumenta	4,8%	9,0%	6,5%	4,3%
Disminuye	8,3%	5,4%	12,9%	3,7%

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

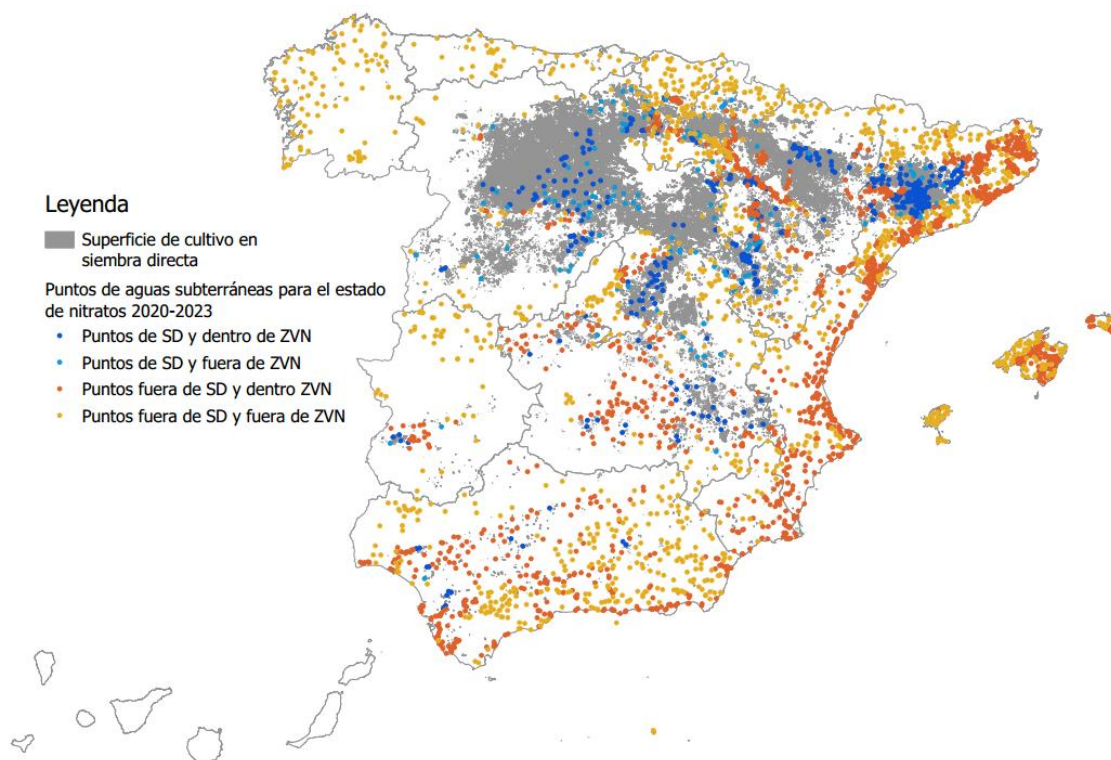
De forma general, se puede indicar que las estaciones de control fuera de la superficie de siembra directa mantienen un mayor porcentaje de estaciones con buena calidad por debajo ≤ 5 mg NO₃/l (64,2% frente 29,1%), a su vez hay **un mayor número de estaciones que mejoran o empeoran la concentración de nitratos en las zonas de siembra directa, pero**

en su conjunto hay un mayor peso en el número de estaciones que empeora su categoría de calidad.

Aguas subterráneas

Del total de estaciones de control de nitratos en aguas subterráneas, en 3.017 se dispone de información de las anualidades 2021-2022 antes del inicio del PEPAC y 2023-2024 después del inicio. A continuación, se muestran las estaciones de control.

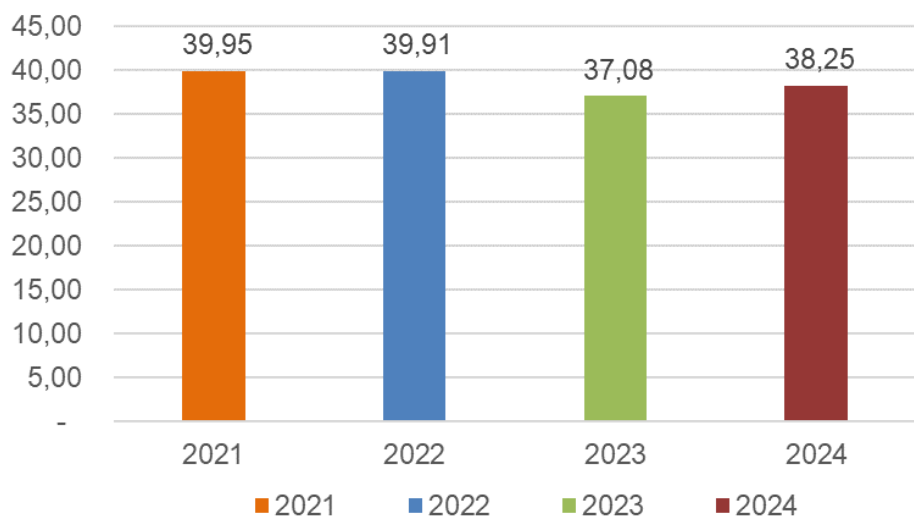
Figura 53. Estaciones de control para el estudio del estado de nitratos de aguas subterráneas.



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

Durante el periodo de estudio se observa un ligero descenso en la concentración de nitratos en las aguas subterráneas, aunque en 2024 se observa un ascenso respecto al año anterior.

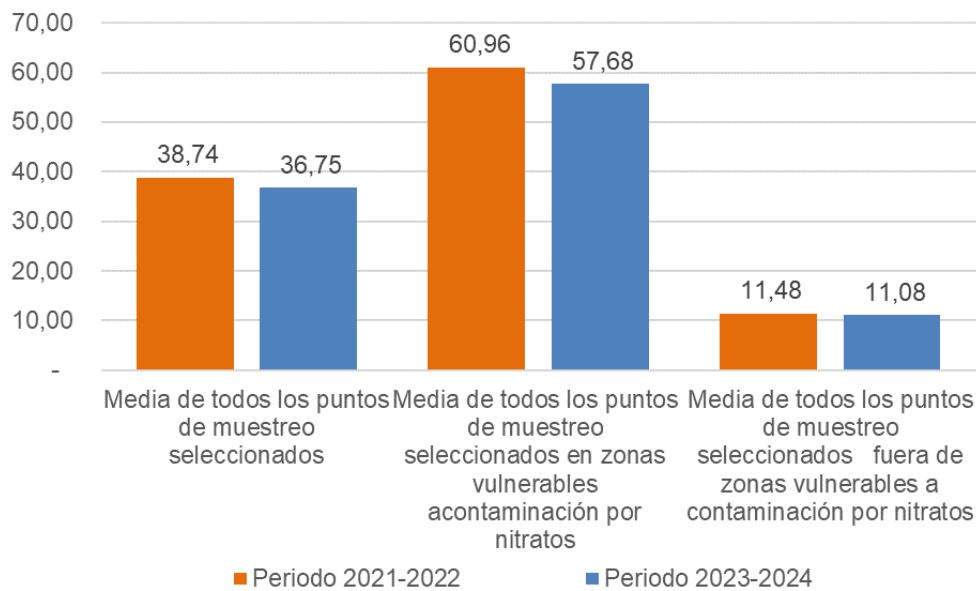
Gráfica 93. Concentración media de nitrato (NO₃) en las aguas subterráneas en el periodo 2021 a 2024 (mg NO₃/l).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

Al comparar las concentraciones medias de los dos periodos de tiempo 2021-22 (antes) y 2023-24 (después), se observa un descenso del 1,99 mg de NO₃/l en las aguas subterráneas, que tiene mayor intensidad en las zonas vulnerables a contaminación por nitratos (3,28 mg de NO₃/l) que en las zonas fuera de ZVN.

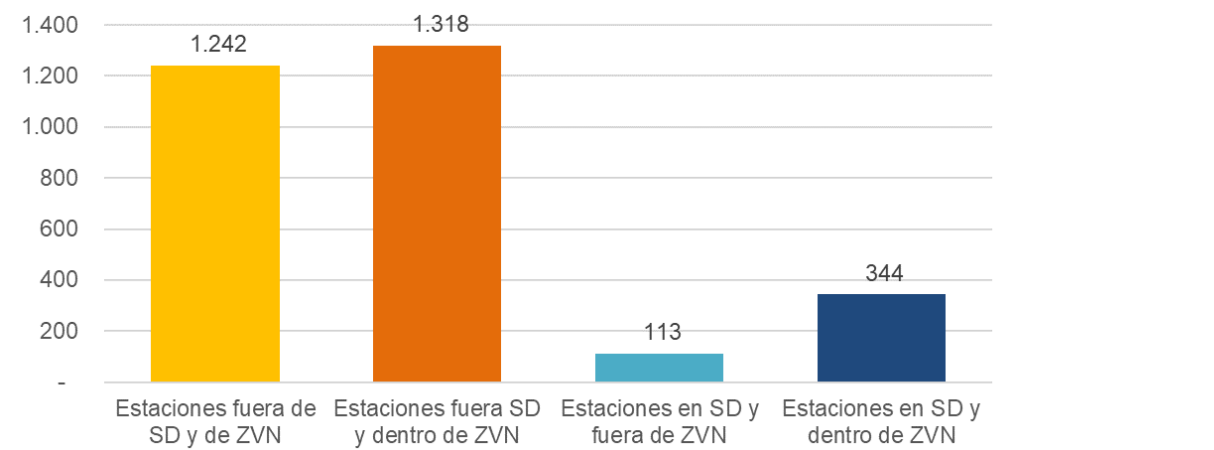
Gráfica 94. Concentración media de nitrato (NO₃) en los periodos a comparar 2021-22 y 2023-24, dentro y fuera de las zonas vulnerables a contaminación por nitratos (mg NO₃/l).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

Del total de estaciones de control, 2.560 se localizan fuera de la superficie de siembra directa, mientras que 457 se sitúan cerca de la misma, como se muestra en la gráfica siguiente.

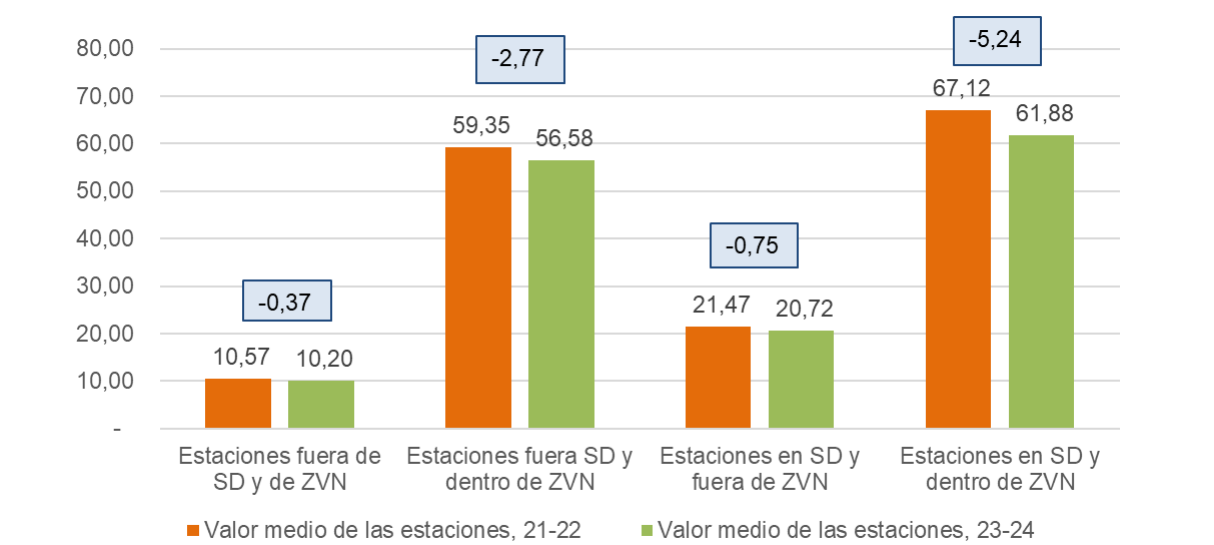
Gráfica 95. Distribución de los puntos de muestreo de nitratos dentro y fuera de la superficie de siembra directa y de zonas vulnerables a contaminación por nitratos (N°).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

En las estaciones de control de siembra directa, así como en las que están fuera de la misma se observa un descenso en la detección de nitratos en las aguas subterráneas (Gráfica 96).

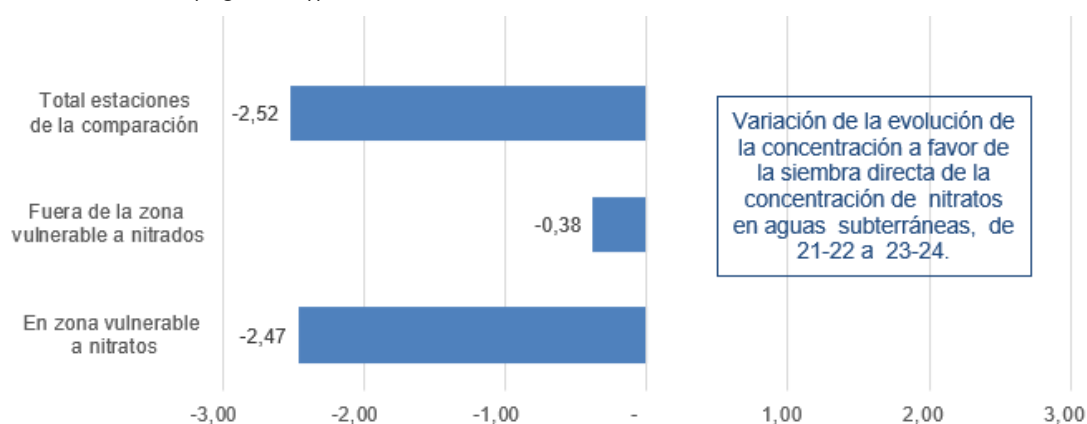
Gráfica 96. Variación de la concentración media de nitrato (NO₃), dentro y fuera de la superficie de siembra directa y las zonas vulnerables a contaminación por nitratos entre los periodos 2021-22 y 2023-24 (mg NO₃/l).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

Este descenso es mucho más acusado en las estaciones de control de siembra directa dentro y fuera de las zonas vulnerables a contaminación por nitratos que en aquellas estaciones de control fuera de la superficie de siembra directa, como se presenta en la Gráfica 97.

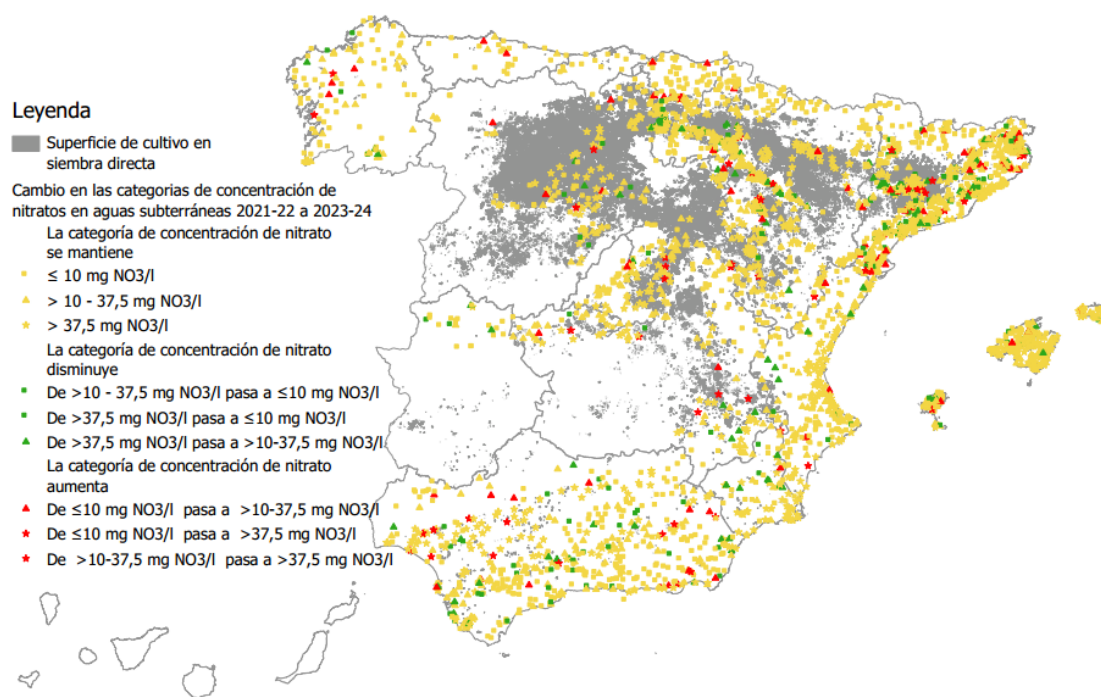
Gráfica 97. Diferencia media de concentración de nitratos en los puntos de detección (media 23-24 menos media 21-22 (mg NO₃/l)).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

Por otro lado, siguiendo la metodología del informe sobre la calidad de las aguas 2010 – 2023 de MITERD, se clasifican las estaciones de control de aguas subterráneas en tres categorías, con la media de las dos anualidades de antes (2021-22) y después de la implementación de PEPAC (2023-24). Esto permiten observar el cambio de calidad de las aguas subterránea, del modo que se refleja en la Figura 54.

Figura 54. Cambio de categoría de las estaciones de control de nitratos en aguas subterráneas (2021-22 y 2023-24).



Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

En las 457 estaciones de control de siembra directa, 344 están dentro de zonas vulnerables y en el 85,5% de estas se mantiene la categoría de calidad del agua durante el periodo de estudio. No obstante, en gran parte de estos puntos de muestreo se supera la concentración

de 37,5 mg NO₃/l. En contraste, en un 89,4% de los puntos de muestreo de fuera de zonas vulnerables se mantiene la categoría de calidad, pero en este caso el mayor peso recae en las categorías de mejor calidad e intermedia, en proporciones muy similares.

Tabla 72. Cambio de categoría en los puntos de detección de nitratos en aguas subterráneas (2021-22 y 2023-24), Número de estaciones en los grupos de tratamiento.

		Dentro de ZVN (2023-24)			
		≤ 10 mg NO ₃ /l	> 10 - 37,5 mg NO ₃ /l	> 37,5 mg NO ₃ /l	Total
Dentro de ZVN (2021-22)	≤ 10 mg NO ₃ /l	19	5	2	26
	> 10 - 37,5 mg NO ₃ /l	6	55	16	77
	> 37,5 mg NO ₃ /l	4	17	220	241
Total		29	77	238	344
		Fuera de ZVN (2023-24)			
Fuera de ZVN (2021-22)	≤ 10 mg NO ₃ /l	39	3	0	42
	> 10 - 37,5 mg NO ₃ /l	5	49	1	55
	> 37,5 mg NO ₃ /l	1	2	13	16
Total		45	54	14	113

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

En cuanto a la variación en la categoría de calidad de las aguas, se observa que el 7,8% dentro de ZVN y el 7,1% de los puntos fuera de ZVN, mejoran la categoría, mientras que en 6,7% dentro de ZVN y 3,5% fuera de ZVN que empeoran la calidad. Es decir, **hay un mayor porcentaje de estaciones de control que mejoran el estado de los nitratos que de los que empeoran durante estos primeros años de la práctica de siembra directa.**

Por otro lado, en las 2.560 estaciones de control que no están en la superficie de siembra directa, 1.318 están dentro de zonas vulnerables y en el 83,5% de las mismas se mantiene la categoría de calidad del agua durante el periodo de estudio y en gran parte de estos puntos de muestreo se supera la concentración de 37,5 mg NO₃/l, aunque en un porcentaje inferior al de siembra directa (46,1% frente al 64,9% de SD). En las estaciones de control de fuera de zonas vulnerables, un 90,2% de las mismas mantiene la categoría de calidad, aunque en este caso el mayor peso recae en la de menor concentración (≤ 10 mg NO₃/l).

En cuanto a la variación en la categoría de calidad de las aguas, se observa que el 10,9% dentro de ZVN y el 5,5% de los puntos fuera de ZVN, mejora la categoría, mientras que en 5,6% dentro de ZVN y 4,3% fuera de ZVN que empeora la calidad. Es decir, hay un mayor porcentaje de estaciones de control que mejoran el estado de los nitratos que de los que empeoran durante estos primeros años.

Tabla 73. Cambio de categoría en las estaciones de control nitratos en aguas subterráneas (2021-22 y 2023-24), número de estaciones en los grupos de control.

		Dentro de ZVN (2023-24)			
		≤ 10 mg NO ₃ /l	> 10 - 37,5 mg NO ₃ /l	> 37,5 mg NO ₃ /l	Total
Dentro de ZVN (2021-22)	≤ 10 mg NO ₃ /l	794	41	0	794
	> 10 - 37,5 mg NO ₃ /l	43	286	12	43
	> 37,5 mg NO ₃ /l	2	23	40	2
Total		839	350	52	1.241
		Fuera de ZVN (2023-24)			
Fuera de ZVN (2021-22)	≤ 10 mg NO ₃ /l	194	28	3	225
	> 10 - 37,5 mg NO ₃ /l	54	298	43	395
	> 37,5 mg NO ₃ /l	5	85	608	698
Total		253	411	654	1.318

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

De forma general **se puede indicar que las estaciones de control fuera de la superficie de siembra directa mantienen un mayor porcentaje de estaciones con buena calidad, por debajo ≤ 10 mg NO₃/l y que en un mayor porcentaje de estaciones fuera de siembra directa mejora su categoría de calidad de agua (8,3% frente 7,7% en los de siembra directa).** En conjunto hay más porcentaje de estaciones de control que empeoran su calidad dentro de la superficie de siembra directa (5,9%) que fuera de la misma (5,0%).

Tabla 74. Resumen de los porcentajes de variación de la calidad de los puntos de detección de nitratos de forma comparada en los cuatro tipos analizados (2021-22 y 2023-24). % de estaciones que cambian en aguas subterráneas.

Evolución de la calidad	En siembra directa		Fuera de siembra directa	
	En ZVN	Fuera de ZVN	En ZVN	Fuera de ZVN
Mantiene	85,5%	89,4%	83,5%	90,2%
Aumenta	6,7%	3,5%	5,6%	4,3%
Disminuye	7,8%	7,1%	10,9%	5,5%

Fuente: elaboración propia a partir de los puntos de detección de contaminación por nitratos en las aguas, MITERD (2021 a 2024).

De manera complementaria, las conclusiones del documento de “evidencia científica sobre prácticas agrícolas que mejoran la gestión sostenible del agua en la agricultura”²⁰⁰, que realiza una revisión sistemática sobre los efectos de 34 prácticas agrícolas en la gestión del agua en la agricultura (es decir, eficiencia en el uso del agua, consumo de agua, retención de agua en el suelo, calidad del agua y lixiviación y escorrentía de nutrientes). Entre los resultados señalan las prácticas de la gestión de restos de cultivos, labranza cero y labranza reducida como prácticas que tienen al menos dos efectos positivos de los anteriores. En el caso de la siembra directa, **señala que no se encontraron evidencias científicas de que la práctica mejorase la calidad del agua**, aunque sí sobre su efecto **en la disponibilidad de agua al**

²⁰⁰ Bosco S., Perez-Soba Aguilar M., Chen M., Montero Castaño A., Schievano A., Tamburini G., Catarino R., Guerrero I, Bielza Diaz-Caneja M., Assouline M., Angileri V., Dentener F., Makowski D. and Terres J., *Scientific evidence on farming practices improving sustainable water management in agriculture*, European Commission, Ispra, 2024, [JRC137742](#).

reducir la cantidad de agua suministrada para riego o consumida por el cultivo y aumentar la retención de agua en el suelo.

Por último, destacar que según estudios del IFAPA de Córdoba²⁰¹, los sistemas de agricultura de conservación pueden requerir unas dosis adicionales de abonado nitrogenado en sus primeros años de implantación; mientras se aumenta la materia orgánica y se alcanza un nuevo equilibrio. Señala que es especialmente importante mitigar la menor temperatura y la competencia microbiana por nitratos, muy intensa en los primeros años de cambio y recomienda incrementar las dosis usuales en sementera con unas 40-50 unidades de nitrógeno, que servirán como acicate para el desarrollo de los cultivos en sus primeros estadios al asegurar un vigoroso enraizamiento.

En esta misma línea, en la entrevista con la Asociación Española Agricultura de Conservación de Suelos Vivos (AEACSV) y la entrevista con los técnicos del centro de investigación de Albaladejito (IRIAF)²⁰², resaltan la necesidad de hacer un aporte en los primeros años de implementación de la siembra directa, aunque en muchas de las fincas experimentales se utilizan las mismas dosis tanto para la superficie de siembra directa como para las de convencional o mínimo laboreo.

En conclusión, el análisis de la incidencia de la siembra directa en la calidad de las aguas superficiales en relación con los plaguicidas entre 2020 a 2023, refleja que en los puntos de detección cercanos a la **superficie de siembra directa existe un porcentaje de puntos que mantienen la categoría sobre el riesgo de detección de plaguicidas en agua sin variación 55,1%, inferior al 58,0% del resto no influenciados por siembra directa**, porque **aumenta el porcentaje de los que mejoran la categoría en siembra directa, obteniendo un 18,4% frente al 15,2% en el resto de puntos. El porcentaje de puntos de detección que empeora el riesgo de detección de plaguicidas en agua es ligeramente inferior en siembra directa, con un 26,5% frente al 26,9% del resto de puntos.**

Al comparar la calidad de las aguas de 2022 y 2023, se observa una mayor estabilidad tanto en los puntos de siembra directa como en los que no están (grupo de control). En siembra directa hay un mayor porcentaje de puntos que mejoran la clasificación del riesgo, hacia un nivel inferior, del 20,5% frente 19,2% resto de puntos y también un mayor porcentaje de puntos que empeoran la clasificación, del 20,7% frente 18,0% resto de puntos.

El modelo estadístico aplicado muestra que aumenta la probabilidad de encontrar puntos con mayores niveles de riesgo conforme pasan los años, desde 2020 **en puntos no influenciados por la siembra directa** y en siembra directa el efecto se mantiene sin variaciones significativas. Además, señala que **en la siembra directa la probabilidad de encontrar un valor de peor calificación en el riesgo en los puntos de detección en aguas superficiales es más alta, del doble**, respecto a los puntos no ubicados en siembra directa.

²⁰¹ Pedro González Fernández, IFAPA. Centro de Córdoba. Junta de Andalucía. La mejora de suelos en Siembra Directa y su correcta fertilización (https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AC/AC_2007_7_20_22.pdf)

²⁰² Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal (IRIAT), Castilla La Mancha, Centro de investigación agroforestal de Albaladejito y fincas colaboradoras (Cuenca)

De manera complementaria, la evolución del análisis del riesgo de plaguicidas en aguas subterráneas muestra cierta estabilidad durante el periodo analizado, entre 2020 y 2023, con un ligero aumento de la calidad en 2022 que se vuelve a estabilizar en 2023. En la mayor parte de los puntos, el 71,7%, se mantiene el riesgo de detección de plaguicidas y el resto aumenta y disminuye el riesgo aproximadamente a partes iguales.

El análisis muestra que en los puntos de detección cercanos a la superficie de siembra directa existe un porcentaje mayor de puntos que mantiene el riesgo de plaguicidas sin variación 78,3% frente 70,7% del resto de puntos (los no influenciados por siembra directa). La proporción de puntos que tiene una clasificación de mayor riesgo en siembra directa ($\geq$ (NCA-MA o 0,1 $\mu\text{g/L}$)) es superior.

Al comparar la calidad de las aguas de 2022 y 2023, se observa una mayor estabilidad en los puntos de siembra directa que en los que no están (grupo de control). En este caso, en siembra directa hay un menor porcentaje de puntos que mejoran la clasificación del riesgo, hacia un nivel inferior, del 5,0 % frente 11,5% resto de puntos y también un menor porcentaje de puntos que empeoran la clasificación, del 12,8% frente 17,8% resto de puntos.

En los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas existe una mayor tendencia a mantener la clasificación del riesgo de detección de plaguicidas en siembra directa respecto al resto de puntos, una menor proporción de puntos que empeoran su clasificación y una mayor proporción de puntos que la mejoran.

El modelo estadístico aplicado muestra que, en aguas subterráneas, la probabilidad de encontrar una mayor o menor frecuencia de puntos en los distintos niveles de riesgo de plaguicidas difiere en función del año, pero no está influenciada por la técnica aplicada, lo que apunta a que también está influenciada por otros factores ajenos a la intervención como pueden ser las condiciones climáticas.

De manera complementaria, los compromisos sobre el plan de abonado y el asesoramiento introducidos en el diseño de la intervención, como herramientas para analizar y optimizar la aplicación de nutrientes, tienen un alcance sobre una superficie de siembra directa aparentemente pequeña para reducir la contaminación de aguas por nitratos, ya que se aplican a la superficie que está en regadío que es el 8,5% del total, pero de ella, el 40% se encuentra en zonas vulnerables a contaminación de nitratos que ya cuenta con mayores restricciones sobre el uso de fertilizantes, como muestra la reducción mayor de los nutrientes que se produce en ZVN frente a las de fuera de ella.

Los resultados muestran que, en aguas superficiales, los puntos de control **en zonas vulnerables a nitratos se registra un descenso de la concentración más acusado en la siembra directa**, registrando un diferencial de descenso de -0,14 mg NO_3/l , a favor de la siembra directa. En cambio, en las **estaciones que se ubican fuera de las zonas vulnerables a nitratos de siembra directa se produce un diferencial de incremento respecto a las que no son de siembra directa** de 0,44 mg NO_3/l . Esta variación de la concentración también se ve reflejada en las categorías de calidad de las aguas, en siembra directa hay un mayor porcentaje de estaciones fuera de ZVN que empeoran el estado de los nitratos que de los que mejoran durante estos primeros años de la práctica. Mientras que fuera

de siembra directa, hay un mayor porcentaje de puntos de muestreo que mejoran el estado de los nitratos en ZVN que de los que empeoran durante estos primeros años.

En aguas subterráneas, se observa un descenso en la concentración más acusado en las estaciones de control de siembra directa dentro y fuera de las zonas vulnerables a contaminación por nitratos que en aquellas estaciones de control fuera de la superficie de siembra directa (un 0,38 mg NO₃/l fuera de ZVN y -2,47 mg NO₃/l en ZVN a favor de la siembra directa). En cuanto a la variación de categoría de calidad de agua **se producen menores proporciones de estaciones que mejoran la calidad en siembra directa** (7,7% frente a 8,3% de fuera de siembra directa) **y también mayores proporciones de estaciones que empeoran la calidad en ZVN** (5,9% frente a 5,0% de fuera de siembra directa).

No obstante, se considera que el análisis se refiere a una serie muy corta para reflejar los resultados con evidencias sólidas en materia de calidad de agua.

9.7. EFICACIA: ¿En qué medida ha contribuido la siembra directa en el marco del PEPAC a proteger la biodiversidad?

9.7.1. Factor de Éxito 9: La siembra directa favorece la protección de la biodiversidad

Las conclusiones que se pueden introducir tras los análisis realizados muestran que:

- Es necesario considerar el contexto global de la práctica de la siembra directa para analizar el efecto sobre la biodiversidad.
- La siembra directa favorece condiciones estables para el desarrollo de comunidades edáficas.

Este factor de éxito pretende analizar la incidencia de la práctica de siembra directa en la biodiversidad.

Como se ha expuesto en el factor de éxito 2, relacionado con la gestión de herbicidas en la práctica de la siembra directa y la biodiversidad, **es necesario considerar el contexto global de la práctica de la siembra directa para analizar el efecto sobre la biodiversidad**, sin poder aislar el empleo de herbicidas de otros aspectos aplicados, como la no alteración del suelo, la rotación y la permanencia de los restos del cultivo anterior manteniendo la cobertura del suelo durante un mayor periodo de tiempo, como se ha previsto en el diseño de la ayuda.

Como se ha recogido en este factor de éxito 2, **la biodiversidad microbiana depende de múltiples factores**, como recoge la literatura de referencia, entre los que se citan²⁰³ **la temperatura y las características del suelo para la diversidad bacteriana y la vegetación y del contenido de arcilla, para la diversidad fúngica**. La diferenciación entre comunidades (β -diversidad) está determinada principalmente por la interacción entre suelo y vegetación, destacando la importancia de las condiciones locales. En este sentido, es esperable que la siembra directa tenga efectos sobre ellos, no solo por la aplicación de herbicidas sino por la incidencia en la temperatura y la vegetación que puedan las prácticas aplicadas.

²⁰³ [Labouyrie, M. et al., 2023](#)

Con este contexto global, **el impacto final debe entenderse como el resultado de la interacción y suma de todos estos factores, más que como la consecuencia exclusiva de cada uno en forma individual.**

Con el objetivo de describir los principales efectos que generan las prácticas agrícolas vinculadas a la siembra directa, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de estudios especializados.

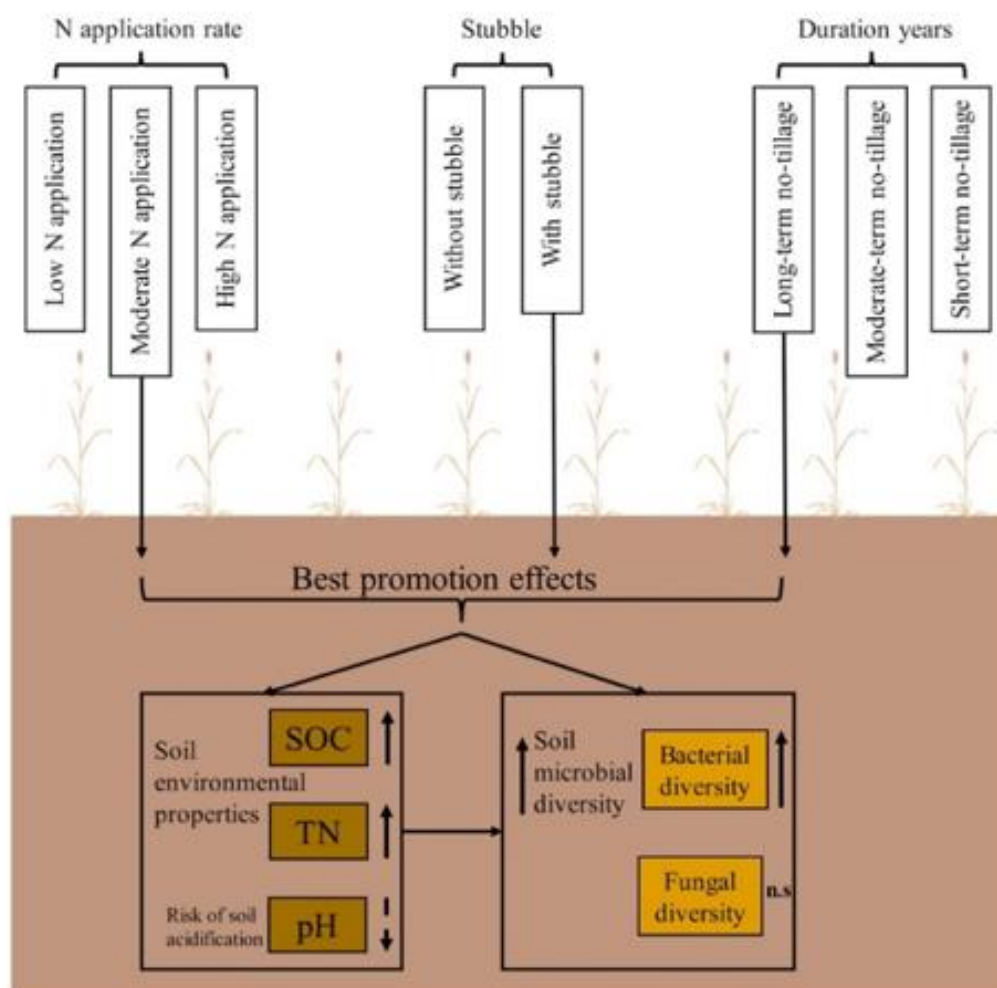
Entre ellos, un meta-análisis llevado a cabo por Li et al. (2020)²⁰⁴, que integra 43 estudios y 141 observaciones, pone de manifiesto que la siembra directa ejerce un efecto diferenciado sobre la microbiota del suelo: promueve un **aumento significativo en la diversidad bacteriana**, mientras que no genera cambios relevantes en la diversidad fúngica. Son resultados que están fuertemente influenciados por factores asociados al manejo (**tipo de suelo, retención de rastrojo y fertilización nitrogenada**). Dosis moderadas de nitrógeno (100-200 kg ha⁻¹) favorecen la acumulación de carbono orgánico (SOC) y nitrógeno total (TN) además de la diversidad bacteriana. A nivel taxonómico, la práctica de siembra directa incrementa la abundancia relativa de *Acidobacteria* y reduce la de *Actinobacteria*.

Como se muestra en la Figura 55, la combinación de **labranza nula a largo plazo, permanencia del rastrojo y fertilización nitrogenada moderada** constituye el escenario más favorable para la promoción de la diversidad bacteriana del suelo. Además de modular las propiedades edáficas (SOC, TN y pH), estos factores regulan el riesgo de acidificación y definen la respuesta de las comunidades microbianas.

En conjunto, los hallazgos subrayan que una **gestión agrícola sostenida bajo siembra directa con un adecuado control en la fertilización y conservación de rastrojos, representa una estrategia clave para potenciar la biodiversidad bacteriana y fortalecer la sostenibilidad de los agroecosistemas.**

²⁰⁴ Li, Y., Song, D., Liang, S., Dang, P., Qin, X., Liao, Y., & Siddique, K. H. (2020). Effect of no-tillage on soil bacterial and fungal community diversity: A meta-analysis, (*Soil and Tillage Research*, 204, 104721. ([Effect of no-tillage on soil bacterial and fungal community diversity: A meta-analysis - ScienceDirect](#)))

Figura 55. Variables principales que influyen en las comunidades microbianas del suelo.



Fuente: Effect of no-tillage on soil bacterial and fungal community diversity: A meta-analysis. De Li, Y., Song, D., Liang, S., Dang, P., Qin, X., Liao, Y., & Siddique, K. H. (2020).

Otro meta-análisis global²⁰⁵ se demuestra que la agricultura de conservación tiene un efecto positivo y consistente sobre indicadores clave de la salud del suelo, como el carbono microbiano (Cmic²⁰⁶), el nitrógeno microbiano (Nmic²⁰⁷) y el cociente microbiano (qMIC²⁰⁸). La siembra directa sin retención de rastrojos (NTR0) aumentó el Cmic en un 33% frente a la labranza convencional, mostrando que **eliminar la labranza beneficia la biomasa microbiana**. Sin embargo, los mayores beneficios se dieron al combinar labranza cero con permanencia de rastrojos (NTR), con incrementos del 25% en Cmic, 64% en Nmic y 57% en qMIC. En general, la labranza cero superó consistentemente a la convencional en Cmic y

²⁰⁵ Li, Y., Chang, S. X., Tian, L., & Zhang, Q. (2018). Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 121, 50-58.

²⁰⁶ **Carbono microbiano (Cmic)**: es la fracción de carbono presente en la biomasa de los microorganismos del suelo (bacterias, hongos, actinobacterias, entre otros). Representa la parte activa de la materia orgánica y actúa como un indicador sensible de la actividad y tamaño de la comunidad microbiana.

²⁰⁷ **Nitrógeno microbiano (Nmic)**: es el nitrógeno contenido en la biomasa microbiana del suelo.

²⁰⁸ **Cociente microbiano (qMIC)**: es la relación entre el carbono microbiano (Cmic) y el carbono orgánico total (Corg) del suelo. Expresa qué proporción de la materia orgánica está activa en forma de biomasa microbiana.

Nmic, sin importar el tipo de suelo, clima o duración del estudio, lo que demuestra la eficacia de la agricultura de conservación.

Por lo que **la combinación de siembra directa y permanencia de rastrojos se presenta como una estrategia altamente efectiva para mejorar la calidad biológica del suelo a escala global, fortaleciendo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.**

Otro meta-análisis realizado por Bowles et al. (2017)²⁰⁹, basado en 54 estudios de campo en cinco continentes, evalúa cómo la reducción de la perturbación del suelo y uso de cultivos de cobertura influyen en la formación de micorrizas arbusculares (AM) y en la diversidad de comunidades de hongos micorrízicos arbusculares (AMF). Los resultados muestran que las prácticas de labranza de baja intensidad y el uso de cultivos de cobertura invernales aumentaron en un 30% la colonización de raíces por hongos micorrízicos arbusculares (AMF). La retención de rastrojos de cosecha potenció este efecto positivo, y combinación de siembra directa con coberturas leguminosas fue especialmente efectiva. Además, la baja perturbación incrementó la riqueza de taxones AMF en un 11% frente a la labranza convencional. En conjunto, **estas estrategias mejoran la simbiosis micorrízica, favoreciendo la sostenibilidad agrícola.**

Otro meta-análisis global que integra 165 estudios realizado por Briones y Schmidt (2017), demostró que la reducción de la perturbación del suelo mediante técnicas como la labranza cero y la agricultura de conservación, **incrementa de manera significativa las poblaciones de lombrices en tierra.** Haciendo una comparativa con la labranza convencional, se aumentó la abundancia en un 137%-127% y la biomasa en un 196%-101%, experimentando unos efectos más marcados en suelos bajo sistemas conservacionistas de más de 10 años, de regiones templadas-cálidas y suelos con unas características determinadas. Dependiendo de los grupos de lombrices, el efecto varía, siendo las epígeas y las anécicas de gran tamaño las más sensibles a la labranza convencional.

Por otro lado, Moos, Schrade y Paulsen (2017)²¹⁰ llevaron a cabo un meta-análisis donde evaluaron los efectos de la labranza reducida en sistemas de agricultura orgánica sobre organismos clave por los servicios ecosistémicos que brindan, como son las lombrices de tierra. Este estudio confirmó que **la reducción de la labranza incrementa significativamente tanto la abundancia (+90%) como la biomasa (+67%) de lombrices.**

Por su parte, Puissant et al. (2021)²¹¹ realizó un meta-análisis global donde cuantificó cómo distintas prácticas agrícolas **influyen en las comunidades de nematodos del suelo**, considerados bioindicadores clave de la salud edáfica. Los resultados muestran que la fertilización orgánica, los sistemas de conservación y los cultivos de cobertura tienen los efectos más positivos, incrementando abundancia de bacterívoros (+113%), fungívoros (+141)

²⁰⁹ <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.12815>

²¹⁰

https://www.researchgate.net/publication/321875111_Reduced_tillage_enhances_earthworm_abundance_and_biomass_in_organic_farming_A_meta-analysis

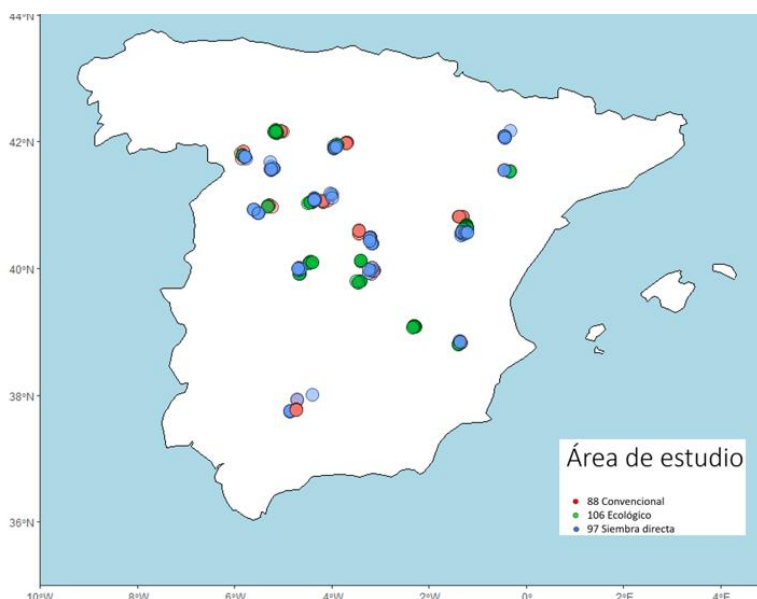
²¹¹ Puissant, J., Villenave, C., Chauvin, C., Plassard, C., Blanchart, E., & Trap, J. (2021). Quantification of the global impact of agricultural practices on soil nematodes: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 161, 108383.

y omnívoros-depredadores (+80%). Por el contrario, prácticas convencionales disminuyeron la abundancia de nematodos y la complejidad de sus redes tróficas.

Este enfoque de revisión bibliográfica permite comprender cómo **la modificación en el manejo edáfico influye en la estructura y dinámica de las comunidades microbianas**, consideradas un componente clave para el funcionamiento de los ecosistemas. **A partir de este marco general, se aborda de manera específica el impacto de la aplicación de plaguicidas —con énfasis en los herbicidas— sobre la biodiversidad del suelo, destacando la importancia de analizar dichos efectos dentro del contexto integral que impone la práctica de siembra directa.**

Para dar respuesta a este factor de éxito, también se ha tenido en cuenta **el avance de los resultados del proyecto SoilBIO²¹²**, centrado en evaluar la biodiversidad y salud del suelo en sistemas herbáceos extensivos de secano en España. Este proyecto se ha desarrollado con 300 muestreos de parcelas agrícolas que llevan desarrollando al menos 7 años la misma práctica, distribuidas en 5 comunidades autónomas (Figura 56) y analiza la influencia de distintos manejos (convencional, ecológico y siembra directa) en indicadores clave del suelo.

Figura 56. Área de muestreo del proyecto SoilBIO.



Fuente: SoilBIO.

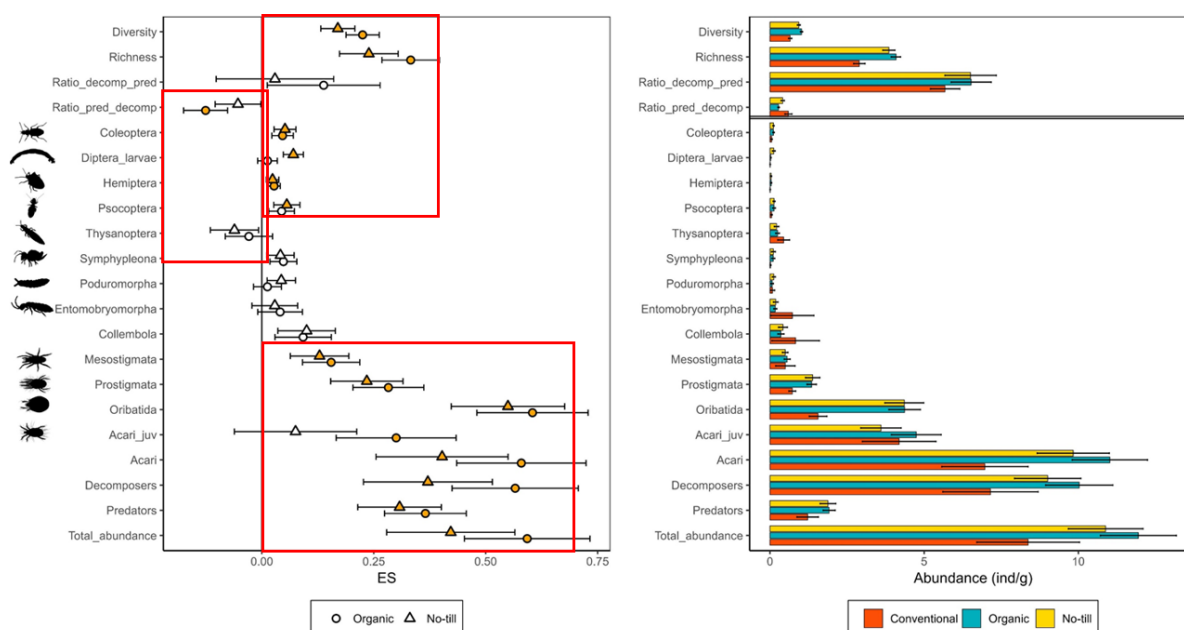
El proyecto tiene como objetivo generar una evidencia técnica que se traduzca en recomendaciones prácticas para mejorar la gestión agraria, mantener o aumentar la materia orgánica y, en definitiva, favorecer la resiliencia y sostenibilidad de los suelos agrícolas. A través del proyecto se miden y comparan parámetros biológicos (riqueza bacteriana y fúngica o presencia de micorrizas) junto a indicadores físico-químicos (como carbono orgánico en suelo).

²¹² [SoilBIO](#). (coordinado por UPA y financiado en el marco del PRTR–NextGenerationEU a través de la Fundación Biodiversidad).

Los resultados de este proyecto demuestran que **la siembra directa aumenta la abundancia, riqueza y diversidad de la mesofauna en los suelos de climas mediterráneos.**

Como se observa en la gráfica siguiente, **existe un efecto significativo positivo de las prácticas de agricultura ecológica y siembra directa al compararlas con la agricultura convencional sobre la diversidad y riqueza de mesofauna en suelos.** La siembra directa presenta niveles más bajos de patógenos en comparación con el manejo convencional, posiblemente gracias a la conservación de la estructura del suelo y la mejor salud del sistema radicular, lo que dificulta la proliferación de patógenos y mejora la resistencia natural de las plantas. Además, la abundancia de descomponedores es alta también en siembra directa, gracias a la conservación de la estructura del suelo y la incorporación de restos de cultivo, que sirven como sustrato constante para la actividad de estos organismos. El único **efecto negativo que se encuentra es la reducción de la ratio depredadores y descomponedores**, que se puede interpretar como un indicador de la estructura de la red trófica más que como un efecto negativo de las prácticas sostenibles. La familia de *Thysanopteras* (trips) que se ve reducida, aunque sin ser significativo, corresponde a una plaga de los cereales.

Gráfica 98. Impacto del manejo agrícola sobre la abundancia y diversidad de mesofauna.

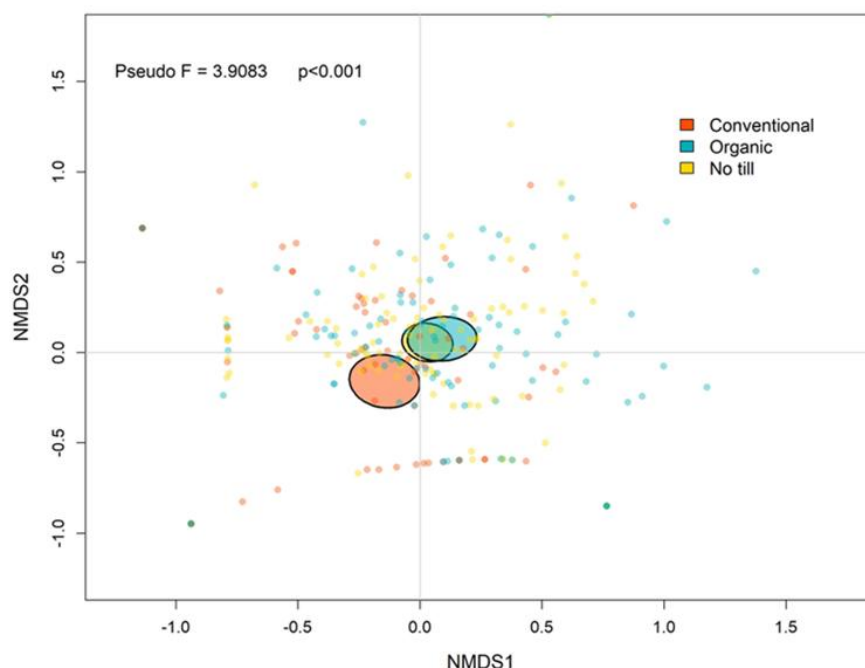


Fuente: SoilBIO.

Nota: Todos los círculos (agricultura ecológica) y los triángulos (siembra directa) destacados en naranja reflejan un efecto significativo de la práctica identificado en el proyecto SoilBIO.

En un análisis conjunto de las comunidades de mesofauna muestra similitud entre las pertenecientes a agricultura ecológica y siembra directa (Gráfica 99), siendo la de agricultura convencional la más diferenciada con respecto a los otros grupos. En general, los resultados de SoilBIO apuntan que **las redes tróficas se vuelven más complejas con una mayor diversidad y abundancia al desarrollar prácticas sostenibles como la siembra directa, pudiendo deberse al no laboreo del suelo.**

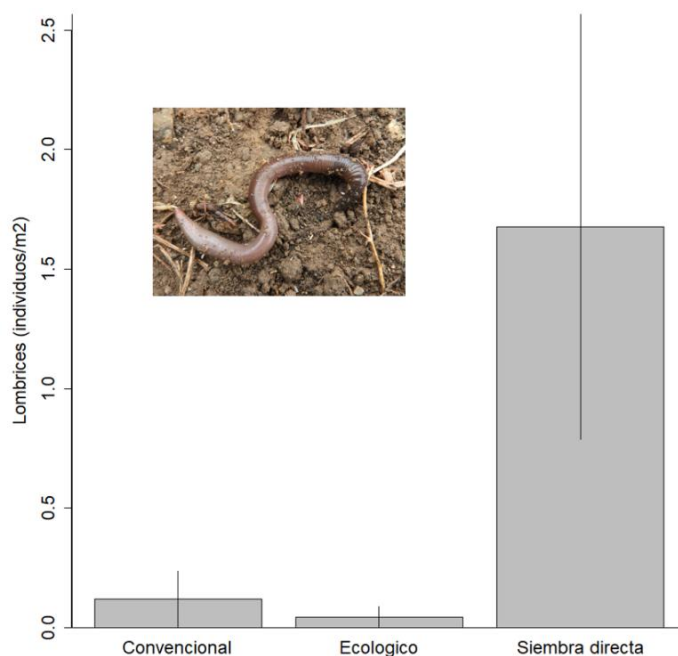
Gráfica 99. Comunidades de mesofauna en el suelo.



Fuente: SoilBIO.

El proyecto SoilBIO incluye un análisis, en el año 2024, de la presencia de lombrices en los suelos muestreados con un tamaño de muestra de 100 parcelas (Gráfica 100). **Las lombrices sólo estaban presentes en ambientes húmedos manejados con siembra directa (sin labranza del suelo), en comparación con el cultivo convencional y el ecológico.**

Gráfica 100. Impacto del manejo agrícola sobre la abundancia de lombrices en el suelo.

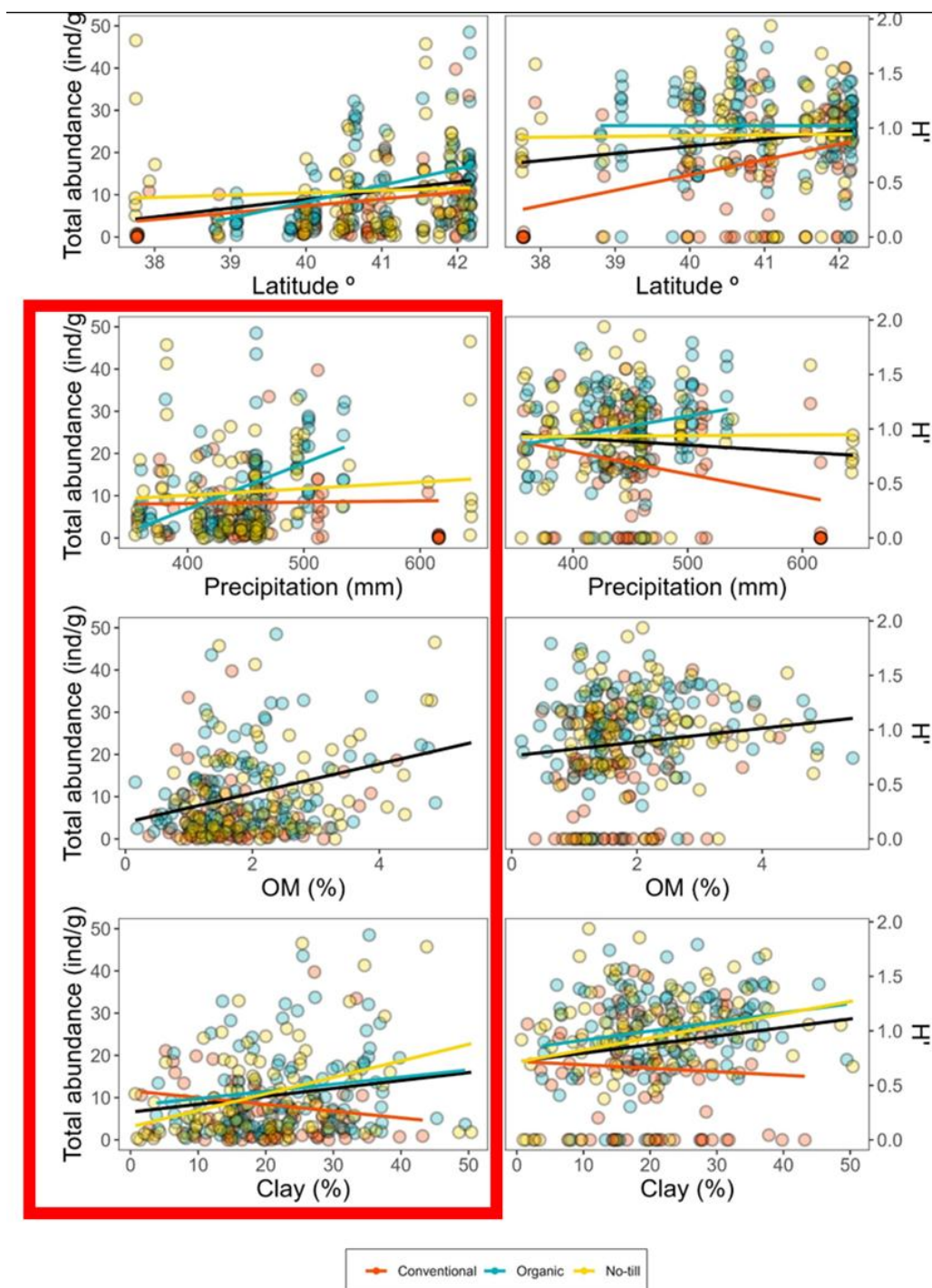


Fuente: SoilBIO.

Este estudio apunta que las condiciones ambientales influyen en gran medida sobre los efectos observados en la abundancia y diversidad de la mesofauna del suelo, tanto en la práctica de agricultura ecológica como en la de siembra directa, en coherencia con los

resultados apuntados en otros estudios que se han citado previamente. La **precipitación, el contenido de materia orgánica y la textura del suelo determinan el efecto de la práctica de manejo sobre la diversidad del suelo** (Gráfica 101).

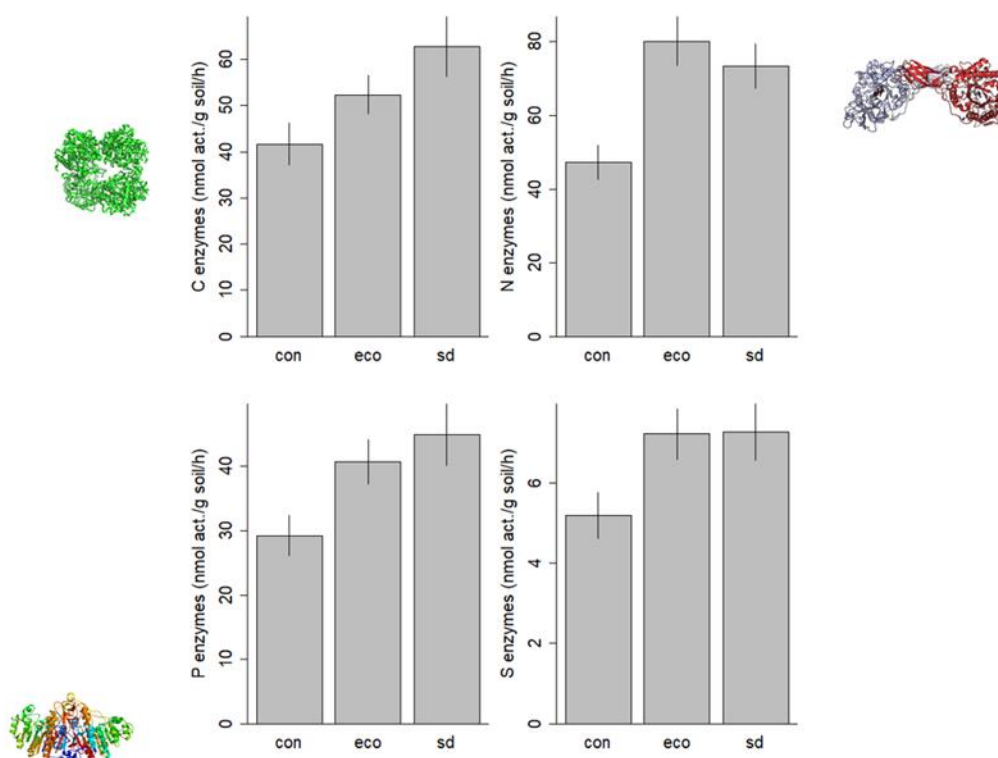
Gráfica 101. Condiciones ambientales que determinan los efectos del manejo en la biodiversidad del suelo.



Fuente: SoilBIO.

La actividad enzimática²¹³ es esencial para el crecimiento y la productividad de los cultivos en agricultura, siendo además un buen indicador de la calidad del suelo. Resultados de este proyecto muestran que **la actividad enzimática se presenta con un mayor nivel en suelos de agricultura ecológica y siembra directa** si se compara con el manejo convencional (Gráfica 102).

Gráfica 102. Actividad enzimática en el suelo, según manejo convencional, ecológico y siembra directa.

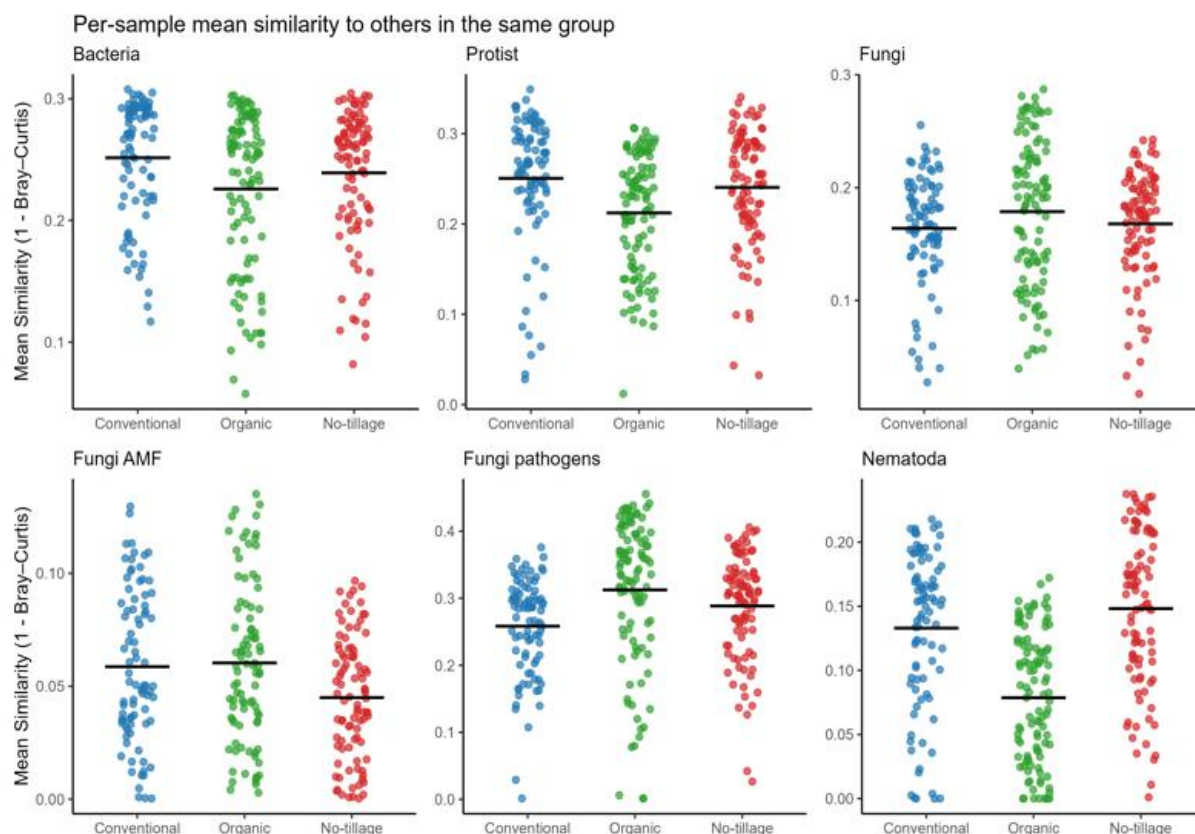


Fuente: SoilBIO.

Por último, la comparación realizada dentro de este mismo proyecto, del índice de disimilitud de Bray-Curtis (medida de la diferencia en la composición de diferentes sitios en función de la abundancia de las especies que lo componen), muestra que, en términos de abundancia, la siembra directa (*No-tillage*) tiene valores similares a los del resto de técnicas de cultivo (Gráfica 103) excepto para los nematodos donde la abundancia media es mayor.

²¹³ Todas las reacciones catalizadas por enzimas presentes en el suelo, principalmente por microorganismos, que son esenciales para la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes, poniendo a disposición de las plantas y otros organismos compuestos asimilables como fósforo y nitrógeno.

Gráfica 103. Comparación del índice de disimilitud de Bray-Curtis por método de cultivo.



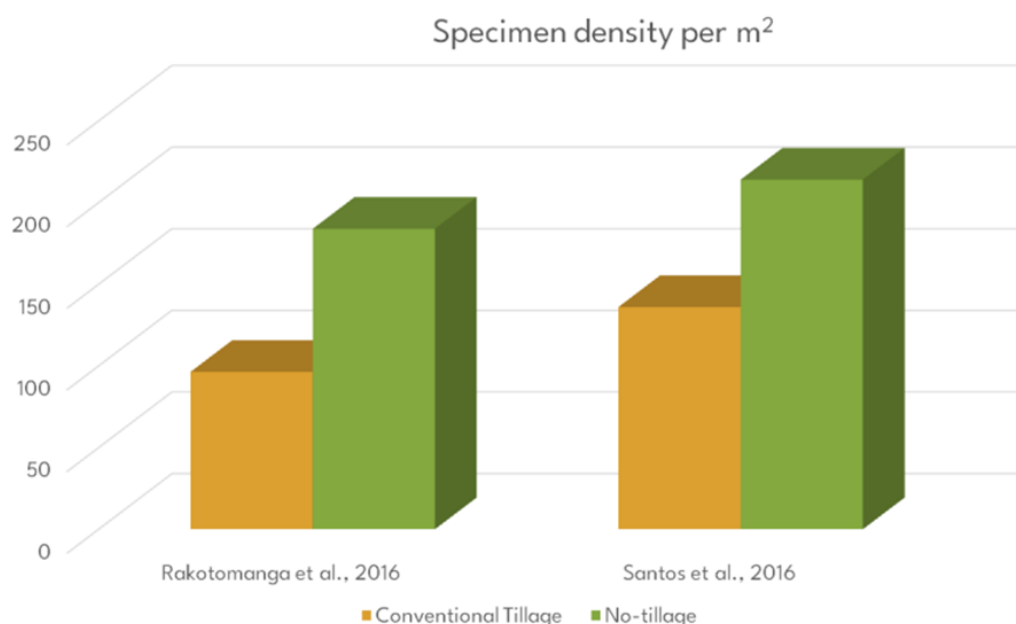
Fuente: SoilBIO.

De manera complementaria, el informe de la agricultura de conservación redactado por la *European Conservation Agriculture Federation (ECAAF)*²¹⁴, la fauna que desarrolla gran parte de su actividad en la superficie del suelo, conocida como fauna epigea también juega un papel muy importante en la biodiversidad del mismo. Concretamente, los suelos agrícolas tienen una gran representación de este tipo de fauna, compuesta en su mayoría por artrópodos (predominando insectos, arácnidos y miriápodos) que proporcionan beneficios a los cultivos.

La adopción de **técnicas de agricultura de conservación (incluyendo siembra directa) genera un incremento en las poblaciones de artrópodos en comparación con los sistemas convencionales**, y, además, provocan un aumento en la riqueza de especies de artrópodos en un 14.5% en cultivos herbáceos anuales y de un 16.0% en cultivos leñosos perennes (Gráfica 104).

²¹⁴ [Román-Vázquez J., Moreno-García, M., Repullo-Ruibérriz de Torres, M.A., Veroz-González O., Agüera-de Pablo Blanco, B., Kassam, A., Basch G., González-Sánchez, E.J. 2023. Conservation Agriculture: Moving towards](#)

Gráfica 104. Diferencias en abundancia de artrópodos en dos rotaciones en Madagascar (Rakotomanga et al., 2016)²¹⁵ y Brasil (Santos et al., 2016)²¹⁶ comparando labranza convencional y siembra directa sin labranza.



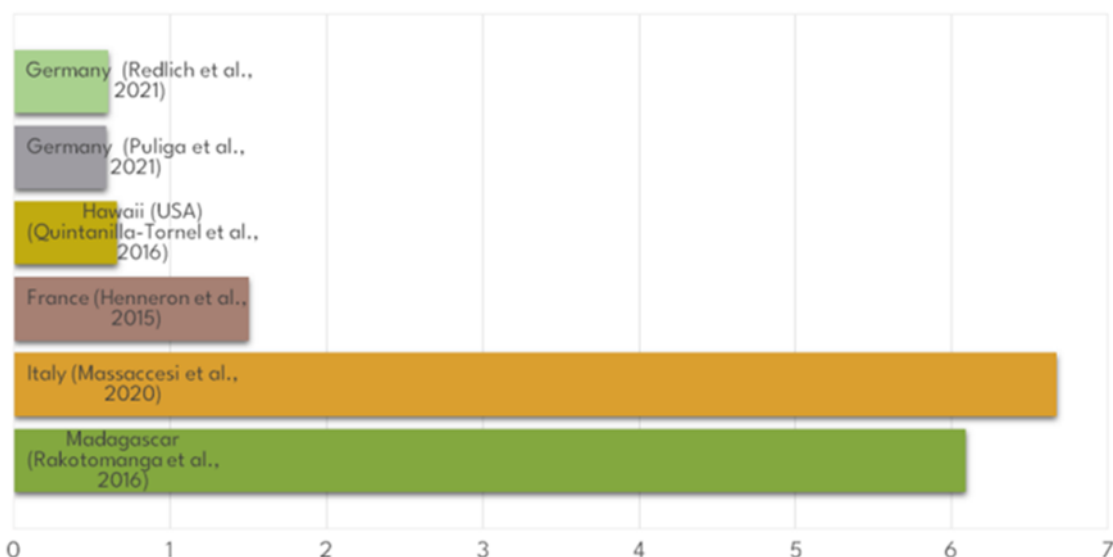
Fuente: Román-Vázquez J., et al. 2023. *Conservation Agriculture: Moving towards the preservation and improvement of biodiversity in agricultural ecosystems*. European Conservation Agriculture Federation (ECAAF). Brussels, Belgium.

El mantenimiento de la cobertura favorece el hábitat de organismos como las arañas, ya que contribuye a su protección y a la perpetuidad de sus nidos en el suelo, incrementando entre un 60% y un 300% su población en cultivos con manejados con agricultura de conservación.

²¹⁵ Rakotomanga, D., Blanchart, É., Rabary, B., Randriamanantsoa, R., Razafindrakoto, M., & Autfray, P. (2016). Crop management and soil macrofauna diversity in the Highlands of Madagascar. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20(4), 495-507.

²¹⁶ Santos, D.P., Santos, G.G., Santos, I.L.D., Schossler, T.R., Niva, C.C., & Marchão, R.L. (2016). Characterization of soil macrofauna in grain production systems in the Southeastern State of Piauí, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1466-1475. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900045>.

Gráfica 105. Incremento observado, por diferentes artículos científicos, en abundancia de arañas implementando siembra directa en comparación con la agricultura convencional.



Fuente: Román-Vázquez J., et al. 2023. *Conservation Agriculture: Moving towards the preservation and improvement of biodiversity in agricultural ecosystems*. European Conservation Agriculture Federation (ECAAF). Brussels, Belgium.

También ocurre algo similar con los escarabajos, cuyo incremento en la población alcanza un 600% en siembra directa con respecto a la agricultura convencional. Esta mejora en la agricultura de conservación con respecto a la agricultura convencional también se observa en el resto de fauna epigea, donde el incremento en las poblaciones de hormigas alcanza hasta un 300%, en el de tijeretas es de hasta 10 veces más y en reptiles de unas 2.5 veces²¹⁴.

Las conclusiones extraídas de todos los estudios comentados anteriormente, reflejan que la siembra directa se consolida como una práctica agrícola importante en la conservación de la biodiversidad del suelo. Esta práctica reduce la perturbación física favoreciendo condiciones estables para el desarrollo de comunidades edáficas, refuerza la resiliencia del suelo, incrementa la eficiencia del ciclo de nutrientes y promueve sistemas agrícolas más sostenibles.

9.8. EFICACIA: ¿En qué medida la siembra directa contribuye a la competitividad de la explotación?

9.8.1. Factor de Éxito 10: La siembra directa mejora la competitividad de la explotación

Los análisis llevados a cabo permiten introducir las siguientes conclusiones:

- Se estima un ahorro económico derivado de la reducción en el consumo de gasóleo y menor número de horas de trabajo, debido a la menor cantidad de pases de labor que implica la práctica.
- La motivación principal para acogerse a la práctica está originada por la mayor rentabilidad, aunque hay ensayos que apuntan una variabilidad en la rentabilidad, condicionado por los niveles de producción que se registren.

Además de los resultados ambientales, desde hace más de una década los estudios científicos apuntan a la agricultura de conservación, y en especial a la siembra directa, como una alternativa capaz de disminuir el consumo energético en comparación con la siembra tradicional²¹⁷.

Como se ha detallado cuando se ha valorado la incidencia de la práctica de siembra directa en las emisiones, se estima una **reducción del consumo de gasóleo** al año de **46.619.789,57 l/año en 2023 y de 45.696.066,20 l/año en 2024**, con una media anual en estas dos primeras anualidades de ejecución de 46.157.927,89 litros de gasóleo al año y, en el caso de la superficie de siembra directa incentivada por el PEPAC (nueva superficie implementada en 2023), de **33.845.967,22 l/año en 2023 y de 33.540.912,50 l/año en 2024**, con una media anual en estas dos primeras anualidades de ejecución de 33.693.439,91 litros de gasóleo al año.

A partir de estos datos de reducción en el consumo de gasóleo, también se estimó un ahorro económico para el total de superficie con siembra directa de 35.900.157,08 € (**35,5 €/ha**) en 2023 y 34.599.847,12 € (**33,6 €/ha**) en 2024. Este ahorro energético se produce en la práctica a varios niveles, pero uno de los principales es en los gastos asociados a la maquinaria empleada. Según el IDAE, por ejemplo, un agricultor puede trabajar 160 ha de siembra en laboreo convencional, 200 en laboreo reducido y 250 en siembra directa con el mismo tractor.

Aunque la siembra directa presenta gastos de consumo más bajos que las herramientas empleadas en siembras tradicionales, el precio de las sembradoras empleadas en esta práctica conlleva una inversión inicial mayor que la maquinaria empleada en labores tradicionales que, junto con la necesidad de una formación específica sobre su manejo, supone uno de los principales inconvenientes para la implementación de la misma²¹⁸. Este

²¹⁷ Torres & Ribes, 2006; Espósito y col., 2011; Márquez, 2011; Akbarnia & Farhani, 2014.

²¹⁸ Agüera Vega, J., & Márquez García, F. (2012). Técnicas agrarias sostenibles mitigadoras del cambio climático. Proyecto Life + AGRICARBON: Agricultura sostenible en la aritmética del carbono (LIFE08/ENV/E/000129). ISBN: 978-84-695-6406-6 (https://agriculturadeconservacion.org/images/descargas/Fichas_Tecnicas/ficha%20tecnica%203.pdf).

aspecto también se corrobora por el del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito²¹⁹ y Fincas Colaboradoras, que indica que el cambio de los aperos supone cierta resistencia al cambio de la práctica, que suelen ser más caros, ya que es necesaria una nueva sembradora, y se necesita nueva inversión para ello.

Las opiniones de las personas que han respondido al sondeo de opinión²²⁰ en cuanto a la maquinaria muestran que la mayor parte de ella tienen la maquinaria en propiedad, con el 53,8% de las respuestas, el 25,4% la arrienda en su totalidad, el 11,3% tiene una parte en propiedad y otra arrendada y en el 4,8% se producen otras situaciones. Además, las opiniones sobre este aspecto mencionan problemas con la maquinaria en suelos húmedos y pedregosos, además de apuntar que el alto coste de estos equipos es un obstáculo importante, especialmente en zonas donde no existen alternativas de alquiler o servicios compartidos.

Se señala también que se encuentran dificultades en la aplicación de la práctica de siembra directa debido a la necesidad de maquinaria complementaria (picadora, desbrozadora, segadora, tolva de abono microgranulado), además de que algunas de ellas como la desbrozadora, segadora y otras) no son accesibles en algunas zonas. Las propuestas de las personas que han respondido a la encuesta señalan que sería necesaria la consideración de un mayor apoyo económico para maquinaria específica de siembra directa.

Esta debilidad también se ha detectado en las barreras identificadas por la AEACSV en el marco del convenio con el MAPA, en la que se apunta a falta de maquinaria específica o inversión inicial elevada (sembradoras, implementos).

Los resultados del trabajo²²¹ de Holgado y col. (2023) concluyen que la agricultura de conservación presenta más beneficios económicos que la tradicional ya que conlleva menos costes asociados. El valor económico asociado al ahorro de horas de trabajo empleados debido a los menores requerimientos laborales se estima en 1 a 4,2h/ha, que se valora en un beneficio medio de 44€/ha por ahorro de tiempo invertido y de 49€/ha por ahorro de combustibles. Del mismo modo, se estima que cada hectárea en agricultura de conservación requiere 29 litros menos de media y menos maquinaria asociada, por lo que se consigue un ahorro del gasto energético. Esto puede contribuir a la resiliencia de las explotaciones de siembra directa ante la situación económica que vive el sector agrario con el alza de precios de insumos y de energía, ya que disminuyen los costes de producción.

De manera complementaria, el avance de resultados de la campaña 2023-2024, en el Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras, en la provincia de Cuenca, en el que se analizan técnicas de manejo de cultivos, leguminosas y cultivos alternativos, muestra una comparación entre las distintas operaciones de cultivo, sus rendimientos y el consumo, de distintas técnicas de laboreo, con un elevado detalle.

²¹⁹ https://albaladejito.castillalamancha.es/sites/default/files/2024-09/CIAF_boletinInvierno_23-24.pdf.

²²⁰ Para más detalle consultar el anexo IV.

²²¹ Informes de la Federación Europea de Agricultura de Conservación (EDAF) de: Román-Vázquez y col. (2023), sobre los efectos de la agricultura de conservación en la biodiversidad; y Holgado y col. (2023). <https://www.irancan.org/boosting-the-european-green-deal-in-the-crop-production-sector-conservation-agriculture-and-the-tools-for-its-implementation-in-denmark-france-germany-italy-poland-and-spain/>.

El detalle de los gastos relativos a la siembra directa difiere en el caso de los ensayos de este centro, por cultivos, mostrando un detalle como el que sigue, en la Tabla 75 y Tabla 76, en el que se pone de manifiesto un beneficio inferior para la práctica de la siembra directa.

Tabla 75. Valoración de las operaciones de cultivo para la cebada en la campaña 2023/24.

OPERACIONES DE CULTIVO PARA CADA TÉCNICA DE LABOREO. CEBADA						
LABOREO CEBADA						
TÉCNICA DE LABOREO	OPERACIÓN	FECHA	RENDIMIENTO (HORAS/Ha)	CONSUMO (L/HORA)	CONSUMO (L/Ha)	TOTAL CONSUMO (L/Ha)
LABOREO TRADICIONAL	Pase Cultivador	13/09/2023	0,46	14,00	6,44	17,4
	Pase Cultivador	25/10/2023	0,44	12,80	5,63	
	Pase Cultivador	04/12/2023	0,40	13,21	5,28	
MÍNIMO LABOREO	Pase Cultivador	12/10/2023	0,46	14,00	6,44	11,7
	Pase Cultivador	04/12/2023	0,40	13,21	5,28	
ABONADO CEBADA						
TÉCNICA DE LABOREO	APLICACIÓN	FECHA	RENDIMIENTO (HORAS/Ha)	CONSUMO (L/HORA)	CONSUMO (L/Ha)	TOTAL CONSUMO (L/Ha)
LABOREO TRADICIONAL	Abono Cobertera	20/02/2024	0,10	7,21	0,72	0,72
MÍNIMO LABOREO	Abono Cobertera	20/02/2024	0,10	7,21	0,72	0,72
SIEMBRA DIRECTA	Abono Cobertera	20/02/2024	0,10	7,21	0,72	0,72
SIEMBRA CEBADA						
TÉCNICA DE LABOREO	OPERACIÓN	FECHA	RENDIMIENTO (HORAS/Ha)	CONSUMO (L/HORA)	CONSUMO (L/Ha)	TOTAL CONSUMO (L/Ha)
LABOREO TRADICIONAL	Siembra	07/12/2023	0,70	7,51	5,26	5,26
MÍNIMO LABOREO	Siembra	07/12/2023	0,72	7,51	5,41	5,41
SIEMBRA DIRECTA	Siembra	07/12/2023	0,83	9,21	7,64	7,64
TRATAMIENTO FITOSANIATRIO CEBADA						
TÉCNICA DE LABOREO	APLICACIÓN	FECHA	RENDIMIENTO (HORAS/Ha)	CONSUMO (L/HORA)	CONSUMO (L/Ha)	TOTAL CONSUMO (L/Ha)
LABOREO TRADICIONAL	Biatlon	18/03/2024	0,18	6,51	1,17	1,17
MÍNIMO LABOREO	Glifosato	19/09/2023	0,15	6,36	0,95	2,28
	Biatlon	18/03/2024	0,20	6,61	1,32	
SIEMBRA DIRECTA	Glifosato	19/09/2023	0,15	6,36	0,95	3,38
	Glifosato	13/11/2023	0,15	6,36	0,95	
	Biatlon	18/03/2024	0,22	6,71	1,48	

Fuente: avance de resultados de la campaña 2023-2024, del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras.

Los técnicos de este centro señalan la reducción de la producción en la siembra directa y la necesidad de inversión en la maquinaria especializada para sembrar, en principio de mayor coste, además de una necesidad creciente de aplicaciones de herbicidas conforme pasan los años, como han podido comprobar en sus ensayos, como la causa de esta del rendimiento económico. Apuntan que el mínimo laboreo posiblemente es una técnica alternativa con

mayor aceptación en el sector, ya que permite un mejor control de las adventicias, disminuye las labores, siendo éstas además superficiales, por lo que la erosión también se reduce y también favorece el incremento de la materia orgánica del suelo, si esta se pica y se esparce. Además, si la técnica alcanza una rentabilidad aceptable, se podría evitar el abandono de la misma por el sector.

Según los datos presentados en la Tabla 76 el balance económico de la práctica de siembra directa sale inferior al del laboreo convencional y al mínimo laboreo en la cebada y el girasol.

Tabla 76. Balance económico de las técnicas de laboreo.

BALANCE ECONÓMICO TÉCNICAS DE LABOREO. CEBADA. CAMPAÑA 2023-2024 (SÓLO SE CONSIDERAN CONSUMOS COMBUSTIBLE DE LABOREO, ABONADO, SIEMBRA Y TRATAMIENTO FITOSANITARIO).							
TÉCNICA DE LABOREO	PRECIO MEDIO GASÓLEO AGRÍCOLA (€/L)	CONSUMO TOTAL (L/Ha)	GASTO TOTAL (€/Ha)	PRECIO MEDIO VENTA CEBADA (€/Kg)	PRODUCCIÓN TOTAL (Kg/Ha)	INGRESOS VENTA COSECHA (€/Ha)	BENEFICIO ((INGRESOS - COSTES) (€/Ha)
LABOREO TRADICIONAL	0,83	24,51	20,34	0,20	3.831	766	746 €
MÍNIMO LABOREO	0,83	20,13	16,71	0,20	3.631	726	709 €
SIEMBRA DIRECTA	0,83	11,75	9,75	0,20	2.984	597	587 €

BALANCE ECONÓMICO TÉCNICAS DE LABOREO. YEROS. CAMPAÑA 2023-2024 (SÓLO SE CONSIDERAN CONSUMOS COMBUSTIBLE DE LABOREO, ABONADO, SIEMBRA Y TRATAMIENTO FITOSANITARIO).							
TÉCNICA DE LABOREO	PRECIO MEDIO GASÓLEO AGRÍCOLA (€/L)	CONSUMO TOTAL (L/Ha)	GASTO TOTAL (€/Ha)	PRECIO MEDIO VENTA YEROS (€/Kg)	PRODUCCIÓN TOTAL (Kg/Ha)	INGRESOS VENTA COSECHA (€/Ha)	BENEFICIO ((INGRESOS - COSTES) (€/Ha)
MÍNIMO LABOREO	0,83	13,66	11,34	0,24	695	167	155 €
SIEMBRA DIRECTA	0,83	9,82	8,15	0,24	408	98	90 €
LABOREO TRADICIONAL	0,83	17,99	14,93	0,24	412	99	84 €

BALANCE ECONÓMICO TÉCNICAS DE LABOREO. GIRASOL. CAMPAÑA 2024 (SÓLO SE CONSIDERAN CONSUMOS COMBUSTIBLE DE LABOREO, ABONADO, SIEMBRA Y TRATAMIENTO FITOSANITARIO).							
TÉCNICA DE LABOREO	PRECIO MEDIO GASÓLEO AGRÍCOLA (€/L)	CONSUMO TOTAL (L/Ha)	GASTO TOTAL (€/Ha)	PRECIO MEDIO VENTA GIRASOL (€/Kg)	PRODUCCIÓN TOTAL (Kg/Ha)	INGRESOS VENTA COSECHA (€/Ha)	BENEFICIO ((INGRESOS - COSTES) (€/Ha)
LABOREO TRADICIONAL	0,95	53,63	50,95	0,44	2.103	925	874 €
MÍNIMO LABOREO	0,95	31,44	29,87	0,44	1.446	636	607 €
SIEMBRA DIRECTA	0,95	12,60	11,97	0,44	1.110	489	477 €

Fuente: avance de resultados de la campaña 2023-2024, del Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras

Por otro lado, la información aportada en la Jornada de campo “Agricultura de Conservación”, organizada por la AEACSV, muestra que la diferencia de los costes de producción entre siembra directa y agricultura convencional es mayor incluso en algunos tipos de cultivo, ya que depende de los requerimientos de cada uno. A modo de comparativa, se recogen los gastos correspondientes a todos los elementos empleados en la implementación de la

siembra directa en varios tipos de cultivo, en comparación con los gastos asociados a una explotación de monocultivo de cereal. Los resultados muestran un gasto medio en siembra directa en 2020 de aproximadamente, de 335,30 € en trigo siembra directa, en el que se aplica rotación, que supone aproximadamente la mitad de los 723,73 € en monocultivo de trigo (Tabla 77); y en 2022, 512,25 € en siembra directa en la que se aplica rotación y 1.070,00 en monocultivo de trigo (Tabla 78).

Estos importes están alineados con la información aportada por la AEACSV que, en la entrevista realizada, cifra el ahorro de costes en torno a un 20% aproximadamente respecto a la agricultura convencional. Actualmente, como se ha mencionado, esta es la primera motivación para las personas que comienzan a aplicar la práctica actualmente, por encima de la motivación ambiental. El balance total hace que en esta práctica exista una contribución a la renta con el balance similar al de la agricultura convencional una vez que se llega a estabilizar el agrosistema porque, aunque la producción es ligeramente inferior a la convencional en las campañas normales, la reducción de costes compensa económicamente la aplicación de la práctica, para que se obtenga un margen de beneficio similar. No obstante, es necesario superar las dificultades iniciales, que repercuten en los costes durante los primeros años y por ello la ayuda del PEPAC permitiría compensar estas dificultades e incentivar la adopción de la práctica en la explotación. También los técnicos del IRIAF Albaladejito señalan esta motivación como la fundamental para empezar a aplicar la práctica, aunque señalan que cuando se observa la diferencia de productividad a lo largo de los años respecto al laboreo convencional, este aspecto termina condicionando su aplicación a largo plazo por el sector.

Al consultar a las personas que han declarado la aplicación de la siembra directa en la Solicitud única, a través de un sondeo de opinión, el 63,4% apunta los motivos económicos y rentabilidad como la principal motivación para aplicar la ayuda, aunque un 40,1% también señala las ayudas de la PAC.

Tabla 77. Gasto medio (€) de 2020 de cada elemento que interviene en los cultivos de trigo, girasol, cebada y guisantes en Siembra Directa (SD) en comparación con monocultivo de trigo.

Tipo de gasto	SD Trigo	SD Girasol	SD Cebada	SD Guisantes	Monocultivo de trigo
	2020	2020	2020	2020	2020
Labores	62,00	90,00	62,00	62,00	126,00
Semilla	79,20	49,00	43,20	46,20	110,00
Herbicidas	37,01	11,77	25,50	46,19	75,00
Insecticidas	3,00	0,00	0,00	12,44	20,00
Fungicidas	32,00	4,50	0,00	4,50	50,00
Abonados	111,00	0,00	158,40	18,00	207,00
Aplicaciones abono cobertura	12,00	0,00	12,00	0,00	24,00
Aplicaciones herbicidas y fungicidas	18,00	0,00	12,00	24,00	24,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cosecha	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Seguros	40,73	17,89	34,32	12,35	40,73
TOTAL	444,94	223,16	397,42	275,68	726,73

Fuente: elaboración propia a partir de la información recabada en las Jornadas de campo "Agricultura de Conservación" del 25 de septiembre de 2025.

Tabla 78. Gasto medio (€) de 2022 de cada elemento que interviene en los cultivos de trigo, girasol, cebada y guisantes en Siembra Directa (SD) en comparación con monocultivo de trigo.

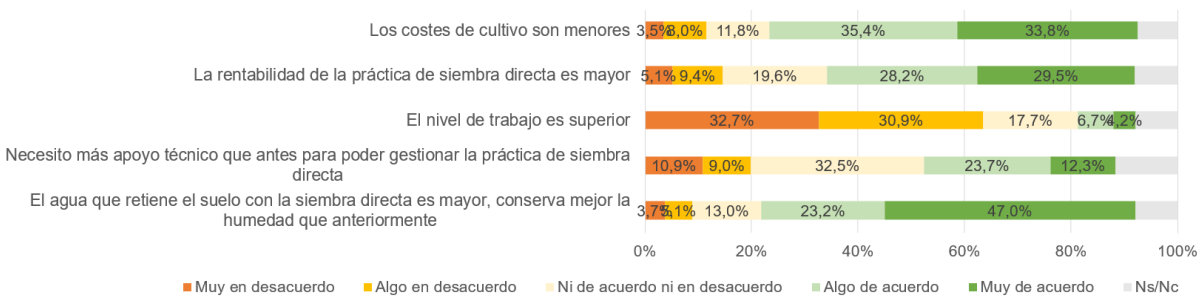
Tipo de gasto	SD Trigo	SD Girasol	SD Cebada	SD Guisantes	Monocultivo de trigo
	2022	2022	2022	2022	2022
Labores	72,00	104,00	72,00	72,00	146,00
Semilla	102,00	46,00	108,00	139,00	138,00
Herbicidas	40,00	12,50	30,00	48,00	75,00
Insecticidas	20,00	0,00	12,00	14,00	20,00
Fungicidas	50,00	4,50	30,00	6,00	50,00
Abonados	280,00	0,00	280,00	40,00	480,00
Aplicaciones abono cobertura	14,00	0,00	14,00	0,00	28,00
Aplicaciones herbicidas y fungicidas	28,00	0,00	14,00	28,00	28,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cosecha	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00
Seguros	40,00	18,00	36,00	15,00	40,00
TOTAL	711,00	250,00	661,00	427,00	1.070,00

Fuente: elaboración propia a partir de la información recabada en las Jornadas de campo “Agricultura de Conservación” del 25 de septiembre de 2025.

De manera complementaria, en el sondeo de opinión a través del que se han recogido las opiniones de las personas que aplican siembra directa se obtiene que el 33,8% indica que está totalmente de acuerdo con que los costes de cultivo son menores y el 35,4% está algo de acuerdo. En el extremo opuesto un 11,6% de respuestas no está de acuerdo con que los costes sean menores en siembra directa.

En esta línea, un 57,8% de respuestas reflejan que la rentabilidad de la práctica es mayor, y el 14,6% no está de acuerdo con este resultado. También el 63,5% de las respuestas indican que el nivel de trabajo no es superior al del laboreo convencional, frente a un 11% en el que se indica que el nivel de trabajo es superior y un 36% señala que necesita mayor apoyo técnico.

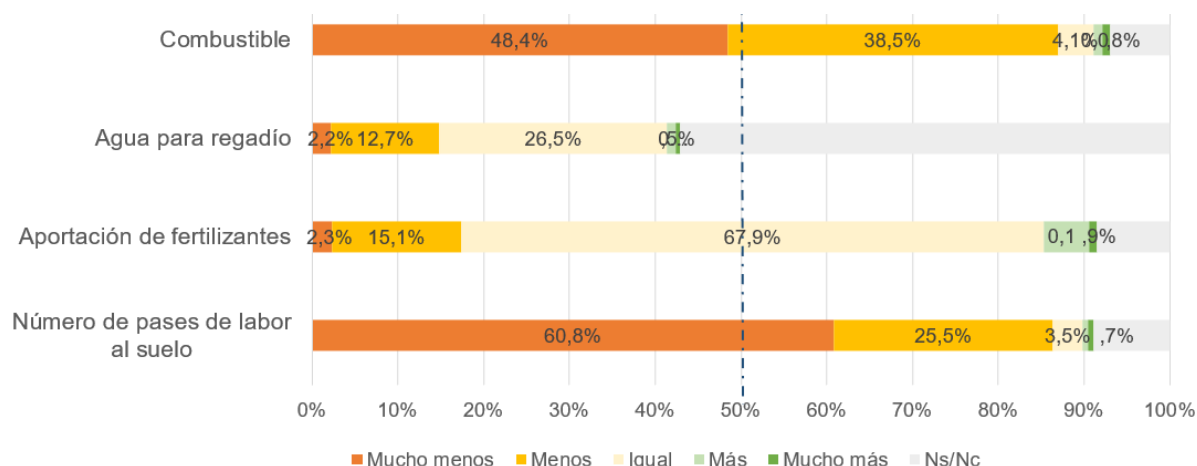
Gráfica 106. Percepción de las personas que aplican la siembra directa sobre la incidencia de la práctica en distintos aspectos que inciden en la rentabilidad final del cultivo.



Fuente: sondeo de opinión a las personas que han declarado que aplican la práctica de la siembra directa en 2023 o 2024.

Esta incidencia en la rentabilidad de la práctica viene determinada fundamentalmente por una reducción de costes al disminuir los pases de labor, como indica el 86,3% de las respuestas y con ello el combustible, señalado en el 86,9% de las respuestas. En el caso del regadío, se señala que en el 14,9% de las respuestas existen menos aportaciones de agua, frente a un 26,5% en el que se mantiene igual que con respecto al laboreo convencional. También se indica en el 17,4% de los casos que las aportaciones de fertilizantes se han reducido, frente a un 26,5% en las que se percibe igual.

Gráfica 107. Percepción de la incidencia de la siembra directa sobre los costes cultivo.



Fuente: sondeo de opinión a las personas que han declarado que aplican la práctica de la siembra directa en 2023 o 2024.

Las conclusiones obtenidas del análisis sobre las valoraciones de qué es lo que más se aprecia del modelo productivo, entre un 60-70 % apuntan a aspectos económicos, entre los que se encuentran los siguientes aspectos:

- **Ahorro de costes:** combustible, horas de trabajo, insumos, maquinaria y mano de obra.
“Ahorro de costes y tiempo”; “Menor gasto en gasoil”; “Menores costes de producción”.
- **Ahorro de tiempo y simplificación de labores:**
“Se ahorra tiempo, dinero y se produce lo mismo”; “Facilidad y rapidez de la siembra”; “Menos horas de tractor y más descanso”.
- **Rentabilidad neta:** el modelo se percibe rentable incluso con rendimientos iguales o ligeramente menores, gracias a la reducción de costes.
“Más rentable, más productivo si se controlan las plagas”; “Mayor rentabilidad y menor coste productivo”.
- **Estabilidad económica y planificación:**
“Permite sembrar toda la finca a tiempo”; “Mayor viabilidad de la explotación”.

En el lado opuesto, con alrededor de un 5-8% de las respuestas se muestran opiniones de desencanto con la práctica y cierta desconfianza como apunta el resumen de comentarios sobre los siguientes aspectos:

- **Menor productividad percibida** en algunos casos.
- **Dependencia de herbicidas**, especialmente glifosato.
- **Dificultades en suelos pesados o compactos.**
- **Falta de rentabilidad o ayudas suficientes.**

“No aprecio nada, más costoso por herbicidas”; “No lo volvería a aplicar”; “En mi zona no funciona bien”.

Hay personas que han apuntado la necesidad de **reconocer el papel del suelo como sumidero de carbono y que se lleguen a materializar los pagos por los servicios ambientales**.

En conclusión, parece evidente que con la práctica de la siembra directa **se reduce significativamente el consumo de combustible, debido a la menor cantidad de pases de labor y** aunque hay resultados que apuntan a una **mayor rentabilidad del cultivo, y es la motivación principal para considerar la aplicación de la práctica de la siembra directa**, los ensayos apuntan **a una variabilidad de este efecto en la rentabilidad, condicionado por los niveles de producción que se registren**. Parece, por tanto, necesaria la realización de ensayos en este aspecto, que permitan determinar las condiciones en las que se produce una rentabilidad similar o suficiente para que la aplicación de la práctica pueda perdurar con el tiempo, en el caso de que el resto de factores no sean limitantes.

10. Conclusiones y recomendaciones

¿En qué medida ha contribuido la siembra directa en el marco del PEPAC a proteger la biodiversidad?

La siembra directa en relación con la utilización y el riesgo de los herbicidas químicos

- Los análisis realizados y las opiniones recogidas para esta evaluación ponen de manifiesto que en la **siembra directa se consumen entre 1 y 3 aplicaciones de herbicida más que en el laboreo convencional**. La toxicidad de los herbicidas empleados no cambia respecto al laboreo convencional.

Al comparar la siembra directa con el sistema convencional, los datos de las Redes TECO, demuestran que **en la siembra directa se emplea un número mayor de aplicaciones de herbicidas, pero un menor número de aplicaciones de insecticidas y fungicidas** en los cultivos de cereal, leguminosas y oleaginosas. Además, los resultados del Registro Electrónico de Transacciones y Operaciones (RETO), también muestran que la dosis de glifosato consumida en explotaciones bajo siembra directa es significativamente mayor (2,5 veces aproximadamente) que aquellas situadas fuera de siembra directa.

- Este mayor uso de herbicidas, está generando a largo plazo, en opinión de algunos agentes, la generación de **resistencias en plantas adventicias** (grama, la coniza o el vallico) que son difíciles de gestionar si no se realiza el laboreo.
- Si se compara la siembra directa con el mínimo laboreo o el laboreo en línea, los ensayos técnicos han demostrado que los **resultados son similares en cuanto a materia orgánica en el suelo y reducción de la erosión**. Sin embargo, el sistema de mínimo laboreo evita la adición extra de herbicidas asociada a la siembra directa, así como la resistencia de las adventicias mencionada anteriormente.

La gestión de herbicidas en la siembra directa en relación con la biodiversidad

- **La biodiversidad se ve influenciada por muchos factores entre los que están las prácticas agrarias**, pero también por otros elementos como son la cobertura vegetal, las propiedades edáficas y las condiciones climáticas, entre otros. Por ello, los efectos de los herbicidas sobre la biodiversidad, no pueden observarse de manera aislada, sin tener en cuenta el resto de factores.
- Más aún, **los efectos de la siembra directa sobre la biodiversidad, no actúan de manera aislada**, sino que están condicionados por múltiples variables asociadas a dicho sistema de manejo. Por ello, al evaluar el impacto de la aplicación de plaguicidas, y en particular de herbicidas, sobre la diversidad microbiológica del suelo, **es fundamental considerar el contexto global de la práctica de siembra directa**.
- Para estudiar la **biodiversidad vinculada a la calidad de agua**, se ha analizado la **presencia de fitobentos**, al considerarse estos organismos como bioindicadores de referencia asociados a los ecosistemas acuáticos. En este sentido, se observa que, en los puntos de análisis influenciados por la **siembra directa**, **existe una estabilidad mayor en este indicador biológico de fitobentos y por tanto una mayor estabilidad en el nivel de calidad de agua** (del 84% en siembra directa frente al 79%).
- Otro bioindicador utilizado para analizar la **biodiversidad relacionadas con la calidad del agua** han sido los **macroinvertebrados bentónicos** en las aguas superficiales. En este caso, también se observa **una mayor estabilidad** en el indicador en los puntos influenciados por la **siembra directa** (76% en siembra directa frente al 71%).
- El **proyecto SoilBIO²²²** centrado en evaluar la biodiversidad y salud del suelo en sistemas herbáceos extensivos de secano en España, complementa estas conclusiones, que apuntan que **aunque se emplee más herbicida en la siembra directa respecto a la agricultura convencional, el resto de prácticas aplicadas como son la anulación del laboreo, el mantenimiento de la cubierta vegetal y del rastrojo y la rotación de cultivos, están compensando un posible efecto negativo**, ya que se observa que con la **siembra directa aumenta la abundancia, riqueza y diversidad de la mesofauna en los suelos de climas mediterráneos**. Incluso en la superficie de zonas húmedas con siembra directa se observa población de lombrices, lo que no sucede en las zonas húmedas en laboreo convencional. Con esta misma idea coincide la opinión de la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos, que recomienda tener en cuenta todos los aspectos de la siembra directa en su conjunto.
- Teniendo en cuenta lo anterior, se constata que el uso de fitosanitarios, plantea un escenario complejo de análisis donde el uso de herbicidas como el glifosato representa un factor de riesgo que debe evaluarse cuidadosamente en términos de acumulación, dosis y contexto edáfico.

²²² [SoilBIO](#)

La gestión de herbicidas en la siembra directa en relación con la calidad del agua

En el análisis se han comparado las concentraciones del total de herbicidas detectados en las estaciones de muestreo y de glifosato en particular, **en aguas superficiales y subterráneas** entre los años 2023-2024 y 2022-2021 para la superficie de siembra directa y para que no.

- En las **estaciones de muestreo de aguas superficiales** de zonas de siembra directa, del análisis por compuesto herbicida, se observa que, del total de 48 herbicidas, en 23 de ellos la evolución de la concentración es más favorable cuando se trata de puntos no ubicados en zonas de siembra directa y en otros 25 la evolución es más favorable cuando se trata de puntos ubicados en zonas donde se realiza la práctica de siembra directa.
- En el caso del **glifosato**, aunque tanto en siembra directa como en no siembra directa hay una evolución descendente en la concentración de aguas superficiales, esta **desciende mucho más en el caso de siembra directa** (de 0,009 µg/L frente a 0,0003 µg/L). En este resultado, puede estar influyendo el impacto de la siembra directa en paliar la erosión y atenuar la escorrentía y la lixiviación y con ello, el lavado de los productos herbicidas que llegan a las aguas superficiales, entre otros factores, como apuntan las fuentes consultadas.
- Para complementar estos resultados, se ha realizado un **estudio de caso** sobre dos puntos de detección de aguas superficiales, influido por superficies en regadío similares. Se ha observado que **el glifosato y el AMPA (su metabolito) presentan una concentración media inferior en siembra directa (0,03 µg/l) frente al laboreo convencional**.
- Por su parte, en las **aguas subterráneas no parece haber diferencias significativas entre la siembra directa y la agricultura convencional en la influencia en el contenido de glifosato** en los puntos de control, aunque se detecta una disminución descendente significativa en el número de puntos donde se detecta el glifosato en aquellos influenciados por la siembra directa.
- Es necesario **tomar con prudencia los resultados obtenidos** sobre la incidencia de la siembra directa en la calidad del agua, **al considerar en los análisis una serie tan corta de tiempo**. Los resultados diferentes obtenidos, bien tratando el conjunto de las explotaciones o bien focalizando sobre un estudio de caso, llevan a la conclusión de que es necesario ampliar el estudio cuando se tenga una serie de años más prolongada.

¿En qué medida contribuye la siembra directa a la mitigación del cambio climático a través de la captura de carbono por los suelos agrícolas?

- La siembra directa se ha aplicado en 2023 en una superficie de 1.392.501 ha y en 2024 en 1.402.760 ha de las que alrededor del 27% ya se realizaba esta práctica en 2022.
- En los cálculos realizados, se constata una **diferencia positiva de retención de carbono en los suelos de siembra directa, en relación con la agricultura convencional, aunque con diferencias estimadas entre las distintas fuentes consultadas**.
- Teniendo en cuenta las estimaciones realizadas con la **Iniciativa 4 por mil** impulsada en España por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en 2023 la superficie de siembra directa ha contribuido a retener 1.183.625,85 t COS y en 2024, se han retenido 1.192.346,00 t de COS. Con este resultado, se estima que el **indicador de impacto I.11 2. “Estimación de los cambios de COS a lo largo del tiempo”**, es decir, la concentración de

carbono orgánico del suelo en tierras de cultivo con siembra directa aumenta en las dos anualidades una media **de 0,39 g/kg de suelo**.

- Al aplicar la **metodología del informe “Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027**, publicado por el Helpdesk de la Comisión Europea, se calcula que la práctica de siembra directa en **cultivos de secano** contribuye a mejorar la calidad del suelo a través de la retención de carbono, en 292.159,82 t de COS en el año 2023 y en 294.312,04 t de COS en el año 2024. De igual modo que con el método anterior la tendencia entre ambos años es de incremento. A través de esta metodología se estima que la **retención de COS por hectárea** resulta en un valor medio de **0,21 t C/ha/año**.
- Por otro lado, los avances de resultados del **estudio “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España”**²²³, realizado por el MAPA con la colaboración del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC) a partir de los datos disponibles de la campaña 2023, también señalan que en las parcelas en las que se aplica **siembra directa**, el contenido de **COS por hectárea en los primeros 30 cm de suelo es de 2 t C/ha superior** a aquellas en las que se practica el laboreo tradicional.
- Los ensayos del IRIAF Albaladejito muestran evidencias sólidas de que la siembra directa y el mínimo laboreo retienen una cantidad de materia orgánica superior a la del laboreo convencional, en las mismas condiciones de suelo y climáticas. Además, los resultados de aplicar los restos de cultivo picados y esparcidos tienen repercusión en el incremento de materia orgánica a largo plazo, en todas las prácticas.
- Estas conclusiones se ven actualmente reforzadas por la **experiencia de las personas** que comenzaron a aplicar la siembra directa, ante la necesidad de mejorar la fertilidad de los suelos de sus explotaciones.

¿En qué medida contribuye la siembra directa a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones procedentes de prácticas agrícolas?

- Los resultados del análisis sobre la incidencia de la siembra directa en las emisiones de gases de efecto invernadero, los estudios de referencia y las aportaciones de la Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV) apuntan a la **reducción de emisiones de GEI por la siembra directa, debido al aumento en la retención de carbono en el suelo, así como por el menor uso de combustible**, debido a la reducción de labores, lo que está contribuyendo a mitigar el cambio climático.
- Al aplicar la metodología propuesta por la **Iniciativa 4 por mil** se estima que la siembra directa en nueva superficie²²⁴ con el PEPAC (sin considera la que estaba en 2022) contribuye a la

²²³ Convenio MAPA-CSIC para el seguimiento y evaluación con base científica del plan estratégico de la PAC 2023-2027 de España. [Grupos de investigación | PTI AGRIAMBIO](#).

²²⁴ Para cuantificar los resultados atribuibles al PEPAC se ha considerado la superficie de siembra directa que se cuantifica en el RSU de 2022, para considerar la misma fuente de datos que la de 2023 y 2024. No obstante, esta atribución está sujeta a la limitación 3, descrita en el capítulo 6, sobre las discrepancias entre las superficies incluidas en ESYRCE y el RSU.

reducción de unas **3.150.535 t de CO₂eq** en el año 2023 y en **3.210.133 t de CO₂eq** en el año 2024.

- De manera análoga, si se estima esta contribución con la metodología proporcionada por el Helpdesk en el documento ***“Rough estimate of the climate change mitigation potential of the CAP Strategic Plans (EU-18) over the 2023-2027”***, la nueva superficie de siembra directa impulsada por el PEPAC, reduce las emisiones de CO₂eq a la atmosfera en, aproximadamente, **777.661,11 t CO₂eq /año, en 2023 y en 792.371,33 t CO₂eq /año, en 2024**, que supone un orden de magnitud diferente a la anterior metodología.
- Tomando en consideración estas estimaciones, se puede afirmar que el aumento en la retención de carbono en el suelo gracias a la superficie de siembra directa impulsada por el PEPAC, supone un peso del 85% para la iniciativa 4 por mil y del 21% en la metodología del Helpdesk, respecto a las emisiones recogidas en la categoría 4B del inventario nacional de gases de efecto invernadero.
- Además, teniendo en cuenta la metodología propuesta por el IDAE, la superficie de siembra directa que ha impulsado el PEPAC contribuiría a una reducción **del consumo de gasóleo al año de 33.845.967,22 l/año en 2023 y de 33.540.912,50 l/año en 2024. Esto conlleva estimar una reducción media** de las emisiones de CO₂eq de la nueva superficie de siembra directa en **92.218,95 t CO₂eq/año** para cada uno de los dos años implementados, **lo que se traduce en** una reducción de emisiones de CO₂eq a la atmosfera de en **90,38 Kg CO₂eq/ha** de media para las dos anualidades de estudio del PEPAC.

Esto permite estimar que la reducción de emisiones al aplicar la siembra directa, por el menor uso de combustible, **supone un peso respecto a las emisiones de la categoría 1A4c del inventario nacional de gases de efecto invernadero del 0,76% para aquella superficie en la que la práctica se ha impulsado con el PEPAC.**

¿En qué medida contribuye la siembra directa en la mejora de la gestión y conservación de los suelos agrícolas?

- En relación a la contribución de la siembra directa a la conservación del suelo, con la información del European Soil Data Centre (ESDAC) sobre erosión del suelo por agua (RUSLE2016), se estima que la mayoría de las superficies declaradas en 2023 con práctica de siembra directa en España (81,3%) presentaban en 2016 un riesgo de erosión hídrica del suelo baja ($0 < 5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) mientras que **un 14,3% en zonas de erosión moderada** (≥ 5 y $< 10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), y el **4,4% se ha ubicado en zonas con una erosión hídrica severa** ($\geq 10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$). Teniendo en cuenta los efectos positivos de la práctica en la erosión, documentados en la bibliografía, es previsible una incidencia relevante en la erosión del suelo.
- Comparando la situación de las parcelas objeto del estudio de caso antes de aplicar la siembra directa y simulando la aplicación de la misma con la **ecuación de RUSLE**, se observa que la práctica de **la siembra directa contribuye a reducir el riesgo de erosión de la superficie cultivada**. La reducción de la erosión media se estima en $3,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en la superficie de secano y $1,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ para la superficie de regadío. De media, la superficie en que se implementa la práctica de la **siembra directa presenta una reducción media de $3,203 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.**

- **Por lo tanto, la reducción de la pérdida de suelo media de la nueva superficie de siembra directa, atribuible al PEPAC se estima en 3.265.147,30 t·año⁻¹**, teniendo en cuenta que hay parte de la superficie en la que ya se venía aplicando la práctica de manera previa al inicio del PEPAC, promovida por una mejora de la estructura del suelo, una mejora de la infiltración y la permanencia del rastrojo como cubierta del mismo.

¿En qué medida contribuye la siembra directa en la mejora de calidad de los suelos agrícolas?

- En términos generales, y tal y como se recoge en numerosa bibliografía, la siembra directa incide en la mejora de la calidad del suelo en aspectos diversos como son el **aumento de la materia orgánica, la biodiversidad y la estructura del mismo, la infiltración del agua y la humedad del suelo**, no sólo por la **reducción del laboreo y la permanencia del rastrojo** sino también con la **rotación del cultivo y la plurianualidad de la práctica**, dos aspectos introducidos en el diseño de la intervención del PEPAC.
- Las evidencias apuntan a que **existe una mayor riqueza y diversidad microbiana con la rotación de cultivos**, con efectos más fuertes sobre la riqueza microbiana en ensayos de rotación más largos, además, también obtienen conclusiones sobre que agregar uno o más cultivos en rotación a un monocultivo aumentó el carbono total del suelo en un 3,6% y el nitrógeno total en un 5,3%, pero cuando las rotaciones incluyeron un cultivo de cobertura (es decir, cultivos que no se cosechan, pero se producen para enriquecer el suelo y capturar N inorgánico), el C total aumentó en un 8,5%.

En la superficie de la práctica de siembra directa, la **rotación** se ha producido **en el 80,8% de las hectáreas que coinciden en las anualidades 2023 y 2024**.

- La **plurianualidad** se ha registrado en el 83% de los recintos de la práctica apoyada por el PEPAC, con una superficie de 1.159.218,1 ha, impulsando la estabilización del suelo, al mejorar su estructura, al repetir la práctica durante al menos dos años consecutivos.

Se cita por algunos técnicos entrevistados y también por las personas que han respondido a la encuesta, la necesidad de romper los ciclos de la siembra directa para descompactar el suelo, eliminar plantas resistentes a los herbicidas, con labores, barbechos semillados con leguminosas como abono verde, incorporación de estiércol, etc.

¿En qué medida contribuye la siembra directa en la calidad de las masas de agua?

- En cuanto al estado de los plaguicidas en las aguas, el análisis de la calidad de las aguas en las estaciones de seguimiento y control permiten observar la incidencia de la siembra directa en la calidad de las aguas superficiales en relación con los plaguicidas entre 2020 a 2023. La evolución, refleja que en los puntos de detección cercanos a la **superficie de siembra directa aumenta el porcentaje de los que mejoran la categoría de riesgo (riesgo más bajo), obteniendo un 18,4% frente al 15,2% en el resto de puntos**, como se ha analizado con más detalle en el factor de éxito correspondiente, tanto para el periodo 2020-2023 y 2022-2023.
- El modelo aplicado muestra que aumenta la probabilidad de encontrar puntos con mayores niveles de riesgo conforme pasan los años, desde 2020 **en puntos no influenciados por la siembra directa** y en siembra directa el efecto se mantiene sin variaciones significativas.

- En cuanto a las aguas subterráneas, el análisis de 2020 y 2023 muestra que **en los puntos de detección cercanos a la superficie de siembra directa existe un porcentaje mayor de puntos que mantiene el riesgo de plaguicidas sin variación 78,3% frente 70,7% del resto de puntos (los no influenciados por siembra directa), con una mayor proporción de puntos que tiene una clasificación de mayor riesgo.**
- En cuanto al estado de los nitratos en las aguas, **la intervención de siembra directa presenta compromisos en relación al plan de abonado** como herramienta para analizar y optimizar la aplicación de nutrientes. Estos compromisos se aplican a la superficie que está en regadío, por lo que a priori el alcance es limitado (solo un 8,5% del total de superficie de siembra directa). Además, su impacto se reduce aún más ya que un 40% de esta superficie **se encuentra en zonas vulnerables a la contaminación de nitratos que cuenta con mayores restricciones sobre el uso de fertilizantes.**
- Los resultados del análisis de las concentraciones de nitratos en las estaciones de seguimiento, muestran que, en **aguas superficiales**, los puntos de control **en zonas vulnerables a nitratos registran un descenso de la concentración más acusado en la siembra directa**, mostrando un diferencial de descenso de $-0,14 \text{ mg NO}_3/\text{l}$, a favor de la siembra directa. En cambio, en las **estaciones que se ubican fuera de las zonas vulnerables a nitratos de siembra directa se produce un incremento respecto a las que no son de siembra directa** de $0,44 \text{ mg NO}_3/\text{l}$.
- **En aguas subterráneas, se observa un descenso en la concentración más acusado en las estaciones de siembra directa (dentro y fuera de las zonas vulnerables a contaminación por nitratos).**
- Se considera que el análisis se refiere a una serie muy corta para reflejar los resultados con evidencias sólidas en materia de calidad de agua, como se ha puesto de manifiesto en el análisis llevado a cabo, con mayor profundidad, en el factor de éxito.

¿En qué medida ha contribuido la siembra directa en el marco del PEPAC a proteger la biodiversidad?

- **Es necesario considerar el contexto global de la práctica de la siembra directa para analizar el efecto sobre la biodiversidad**, sin poder aislar el empleo de herbicidas de otros aspectos como la no alteración del suelo, la rotación y la permanencia de los restos del cultivo anterior manteniendo la cobertura del suelo.
- **Se considera una práctica agrícola importante en la conservación de la biodiversidad del suelo, ya que favorece** condiciones estables para el desarrollo de comunidades edáficas, refuerza la resiliencia del suelo, incrementa la eficiencia del ciclo de nutrientes y promueve sistemas agrícolas más sostenibles.
- Existen estudios que ponen de manifiesto que la siembra directa promueve un aumento significativo en la diversidad bacteriana, mejora la simbiosis micorrítica y en las comunidades de nematodos, a través de la reducción del laboreo, la permanencia del rastrojo y una gestión nitrogenada moderada u orgánica. Además, hay evidencias de que genera un incremento en las poblaciones y la riqueza de artrópodos en comparación con los sistemas convencionales. El mantenimiento de la cobertura favorece el hábitat de organismos como las arañas y los escarabajos, y en zonas húmedas el incremento de la población de lombrices de tierra.

- Los primeros resultados del proyecto SoilBIO demuestra que la siembra directa **aumenta la abundancia, riqueza y diversidad de la mesofauna** en los suelos de climas mediterráneos.
- También, los resultados del proyecto SoilBIO apuntan que las redes tróficas se vuelven más complejas con una mayor diversidad y abundancia al desarrollar prácticas sostenibles como la siembra directa.

¿En qué medida la siembra directa contribuye a la competitividad de la explotación?

- Tomando como referencia la metodología aplicada por el IDAE, se estima un **ahorro económico derivado de la reducción en el consumo de gasóleo, debido a la menor cantidad de pases de labor**, para el total de superficie con siembra directa de 35.900.157,08 € (**35,5 €/ha**) en 2023 y 34.599.847,12 € (**33,6 €/ha**) en 2024.
- También se valora el **ahorro de horas de trabajo** empleadas debido a los menores requerimientos laborales estimado en 1 a 4,2h/ha, que se valora en un beneficio medio de 44€/ha por ahorro de tiempo invertido y de 49€/ha por ahorro de combustibles. También se requiere menos maquinaria, aunque esta es más costosa que en convencional, según las opiniones recabadas.

A pesar de que parece evidente que con la práctica de la siembra directa **se reduce significativamente el consumo de combustible**, y aunque hay resultados que apuntan a una **mayor rentabilidad del cultivo, (lo que es la motivación principal para considerar la aplicación de la práctica de la siembra directa según los agentes consultados)**, los ensayos apuntan a una **variabilidad de este efecto en la rentabilidad, condicionado por los niveles de producción que se registren** y los ingresos percibidos de esa producción.

Aspectos relacionados con los requisitos y compromisos establecidos en el diseño de las intervenciones de siembra directa y la formación

- Cabe mencionar que, en opinión de algunas personas que declaran la ayuda, **los compromisos para la aplicación de siembra directa son difíciles de cumplir, lo que conlleva que en ocasiones se deje de solicitar esta ayuda, decantándose por la práctica de rotación en el marco de los ecorregímenes, para evitar las consecuencias administrativas que podría conllevar un incumplimiento**. Estas barreras administrativas pueden estar suponiendo un inconveniente para impulsar una mayor plurianualidad, especialmente en el caso del girasol.
- Las opiniones de los actores implicados (personas que aplican la siembra directa, y asociaciones o centros de investigación) apuntan a que, en el caso del girasol, debido a las exigencias de este cultivo para el que es necesaria una labor superficial, un mínimo laboreo o un laboreo en líneas, no se tenga preferencia por la solicitud de la ayuda de siembra directa.
- Aunque la normativa permite la repetición de cultivos y por eso establece una rotación del 40% de la explotación, posiblemente con un objetivo de flexibilizar compromisos, facilitar la acogida de la ayuda y la motivación para aplicar la práctica, se recomienda cambiar el tipo de cultivo (Ej. No sembrar cereal sobre cereal), ya que en el mismo tipo de cultivo, el manejo o la estrategia agronómica suele ser igual, es decir, las plagas y enfermedades y los fitosanitarios empleados, la profundidad de las raíces, etc. son similares y al repetir el tipo de

cultivo consecutivamente podría favorecer la aparición de malezas de difícil control generando pérdidas económicas y resistencias a fitosanitarios. Los resultados muestran que existe un elevado porcentaje de rotaciones de cereal sobre cereal, por lo que se está perdiendo potencial de la práctica en el impulso de resultados por este motivo, aunque por otro lado se está ganando al mejorar el nivel de acogida.

- El cambio de prácticas de cultivo respecto al laboreo convencional hace de la **formación un elemento clave para el impulso de la siembra directa**, al menos, hasta la estabilización del suelo. No obstante, aunque se haya contribuido a la formación desde el comienzo del PEPAC en el marco del Convenio MAPA-AEACSV o el plan de formación de técnicos en el medio rural, o la Red PAC y desde la intervención de desarrollo rural en algunas regiones como Aragón, se reclama que esta formación se adapte a las necesidades y condiciones locales, impulsando también el conocimiento de los asesores y la aplicación práctica del conocimiento. Se pone de manifiesto que la formación es la clave de un buen progreso del ecorrégimen por el sector, al evitar que los fracasos en la implantación de la práctica se asignen a que esta no funciona en lugar de a la carencia de conocimiento. Se incide en que la formación es la clave de un buen progreso del ecorrégimen por el sector.

Recomendaciones

- Es conveniente **analizar los impactos en un plazo de tiempo superior** al actualmente registrado con la ejecución de dos años de la PAC, sobre todo, en indicadores en los que sólo se cuenta con una serie de dos años, como es en materia de calidad de aguas.
- Seguir trabajando en la **mejora de las bases de datos que permiten el seguimiento continuo y dan soporte a las evaluaciones**, con aspectos como la identificación de todas las explotaciones, las prácticas sostenibles que aplican, el empleo de herbicidas o la gestión del abonado, en la medida de lo posible (bases de datos de comercialización y de uso de fitosanitarios, y en la red de puntos de detección de calidad de aguas, SIEEX y cuaderno digital de explotación).
- Es necesario el impulso de iniciativas que permitan **disponer de alternativas a la dependencia generada de herbicidas** en general y del glifosato en particular, **y evitar la generación de resistencias** que se están produciendo.
- También se anima a analizar en profundidad las prácticas propuestas por las entidades de referencia, con aplicaciones puntuales de laboreo superficial en determinados casos, el mínimo laboreo o el laboreo en líneas, en aquellos casos en los que existen problemas puntuales con la siembra directa (compactación, resistencias, problemas con cultivos muy exigentes), de forma que no se abandonen por completo aquellas prácticas de conservación del suelo. En particular se invita a analizar la posibilidad de **considerar cierta flexibilidad en las ayudas en el caso del girasol**, tal y como han manifestado los técnicos expertos.
- Se anima a explorar la posibilidad de **incentivar la rotación** del tipo de cultivo, y no sólo del cultivo, por sus efectos positivos en la lucha la generación de resistencias y el aumento de las dosis de herbicidas, tratando de evitar cultivar en dos campañas consecutivas el mismo tipo de cultivo como, por ejemplo, cereal sobre cereal (cebada y trigo).

- **Impulsar la formación, considerado elemento clave para el éxito de la adecuación aplicación de la siembra directa**, con jornadas prácticas que se adapten a las condiciones locales, intercambios para compartir buenas prácticas entre explotaciones experimentadas y otras nuevas, además de mejorar la formación de los asesores. De esta forma, se podría ir paliando paulatinamente el rechazo o la desconfianza hacia la práctica, detectado en el 9,5% de las personas que han respondido, además de contribuir a reducir las experiencias no exitosas en la aplicación de la misma por desconocimiento de la práctica.
- Una limitación para aplicar la práctica reside en la necesidad de cambio de la maquinaria, que supone unos costes de inversión importantes para algunas personas. En este caso, se recomienda **explorar alternativas o reforzar las ya existentes para que este aspecto no sea tan limitante, como el apoyo de otras ayudas a las inversiones, o a través de instrumentos financieros, la simplificación administrativa de estas ayudas, la dotación presupuestaria adecuada, etc.**
- En materia de erosión, debido al potencial que ofrece el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES), se invita a **analizar la posibilidad de considerar la siembra directa entre las parcelas incluidas en el mismo, de forma que pueda medirse la erosión en la misma desde un enfoque contrafactual**. De esta forma, se podrán cuantificar los impactos del PEPAC en materia de erosión de una forma sólida, mejorando las estimaciones llevadas a cabo en esta evaluación que se han basado en simulaciones.
- La materia orgánica se analiza en distintas fuentes y ensayos, como el INES, el proyecto “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España” realizado por el MAPA con la colaboración INIA-CSIC, los estudios del IRIAF, el proyecto SoilBIO, aparentemente aislados. Se anima a **compartir experiencias y resultados de forma que los esfuerzos llevados a cabo por distintos proyectos y equipos puedan sumar conclusiones a la visión conjunta de las prácticas sostenibles, compartiendo experiencias, metodologías, resultados, problemas, etc., en la medida de lo posible, generando sinergias y consistencia del análisis**.
- Teniendo en cuenta el elevado peso que la rentabilidad supone en la decisión por parte de los productores de adoptar o no la práctica de siembra directa, se invita a la **realización de ensayos, que permitan determinar las condiciones en las que se produce una rentabilidad similar o suficiente para que la aplicación de la práctica pueda perdurar con el tiempo**, en el caso de que el resto de factores no sean limitantes.

11. Acrónimos

AEACSV- Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos

AMPA- Ácido Aminometilfosfonil

BBDD- Bases de Datos

BDEX- Base de Datos de Explotaciones

CCAA: Comunidades Autónomas

COS o SOC- Carbono Orgánico del Suelo

CSIC- Consejo Superior de Investigaciones Científicas

ECAF- *European Conservation Agriculture Federation*

EF- Ejercicio Financiero

EPA- Experiencia Práctica Agraria

ESDAC- *European Soil Data Centre*

ESYRCE- Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos

FEADER- Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural

FEAGA- Fondo Europeo Agrícola de Garantía

FPA- Formación Profesional Agraria

GEI- Gases de Efecto Invernadero

GPT- Gasto Público Total

IDAE- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

INES-Inventario Nacional de Erosión de Suelos

INIA- Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias

IRIAF- Centro de Investigación Agroforestal de Albaladejito y Fincas Colaboradoras

JRC- Centro Común de Investigación (*Joint Research Centre* en inglés)

LB- Laboreo Tradicional

LC- Laboreo Convencional

MAPA- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

MITERD- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

OE- Objetivos Específicos

OTE-Orientación Técnico Económica

PAC- Política Agraria Común

PEPAC- Plan Estratégico de la PAC

PF- Personas Físicas

PJ- Personas Jurídicas

RCI- Sectores Residencial, Comercial e Institucional

RETO- Registro Electrónico de Transacciones y operaciones de fitosanitarios

RSU- Registro de la Solicitud única

RUSLE- Modelo de Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo

SD- Siembra Directa

SIEX- Sistema de Información de Explotaciones

TN- Nitrógeno Total

UDE- Dimensión económica de las explotaciones

UE- Unión Europea

UTCUTS- Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura

ZVN- Zonas Vulnerables a la contaminación por Nitratos

12. Anexos

En documento aparte.

12.1. Anexo I. Metodología. Técnicas aplicadas

12.2. Anexo II. Ejecución

12.3. Anexo III. Herbicidas empleados

Herbicidas utilizados para el análisis de 2021 a 2024.

Para establecer el valor frontera de las aguas superficiales y subterráneas se consulta:

- [Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre](#), por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.
- [Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre](#), por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
- [Guía para la evaluación del estado de las aguas superficiales y subterráneas](#).

COD_PARAMETRO	NOMBRE	CAS
24DB	ÁCIDO 4-(2,4-DICLOROFENOXI) BUTIRICO	94-82-6
ACLONIFE	ACLONIFENO	74070-46-5
AMETRINA	AMETRINA	834-12-8
AMIT	AMITROL	61-82-5

COD_PARAMETRO	NOMBRE	CAS
AMPA	ÁCIDO AMINOMETILFOSFÓNICO	1066-51-9
ATRATON	ATRATON	1610-17-9
ATRAZINA	ATRAZINA	1912-24-9
BENAL	BENALAXIL	71626-11-4
BENTAZONA	BENTAZONA	25057-89-0
BENZXI	BENZOXIMATO	29104-30-1
BIFEN	BIFENOX	42576-02-3
BROMAC	BROMACILO	341-40-9
BUTAF	BUTAFENACILO	134605-64-4
CARFT	CARFENTRAZONA ETIL	128639-02-1
CDFP	CLODINAFOP-PROPAGIL	105512-06-9
CIB	CIBUTRINA	28159-98-0
CICLU	CICLURON	2163-69-1
CLORDI	CLORTAL DIMETIL	1861-32-1
CLOXUR	CLOROXURON	1982-47-4
CLSFR	CLORSULFURON	64902-72-3
CLP	CLOPIRALIDA	1702-17-6
CLTLRN	CLOROTOLURON	15545-48-9
CYANAZINA	CIANACINA	21725-46-2
DEA	ATRAZINA DESETIL	6190-65-4
DFFN	DIFLUFENICAN	83164-33-4
DIA	ATRAZINA DESISOPROPIL	1007-28-9
DICLANILINAN	3,4-DICLOROANILINA	95-76-1
DICLB	DICLOBUTRAZOL	75736-33-3
DICLOF	DICLOFOP	40843-25-2
DIURON	DIURON	330-54-1
DMTN	DIMETENAMIDA	87674-68-8
D-TBZ	TERBUTILAZINA DESETIL	30125-63-4
ETOFUMESATO	ETOFUMESATO	26225-79-6
FLZSF	FLAZASULFURON	104040-78-0
FLUFCT	FLUFENACET	FLUFENACET
FXAD24	2,4-D (AC. 2,4-DICLOROFENOXIACETICO)	94-75-7
FXADP24	DICLORPROP	120-36-5
FXAMCPA	ÁCIDO 4-CLORO-2-METILF	94-74-6
FXAMCPP	MECOPROP (MCP)	93-65-2
FXP	FLUROXIPIR	69377-81-7
GLIFOSATO	GLIFOSATO	1071-83-6
GLUF	GLUFOSINATO	51276-47-2
ISOPROTURON	ISOPROTURON	34123-59-6
LINUR	LINURON	330-55-2
METAMTR	METAMITRONA	41394-05-2
METOLACLORO	METOLACLORO	51218-45-2
METTRIBUZINA	METTRIBUZINA	21087-64-9
MEZACL	METAZACLORO	67129-08-2
MFNCT	MEFENACET	73250-68-7

COD_PARAMETRO	NOMBRE	CAS
MLN	MONOLINURON	1746-81-2
MTB	METOBROMURON	3060-89-7
MTSFM	METSULFURON METIL	74223-64-6
MTX	METOXURON	19937-59-8
NCS	NICOSULFURON	111991-09-4
OAX	OXADIAZON	19666-30-9
OXIF	OXIFLUORFEN	42874-03-3
PENDIMETALIN	PENDIMETALIN	40487-42-1
PROMETON	PROMETON	1610-18-0
PROMETRINA	PROMETRINA	7287-19-6
PROPANIL	PROPANIL	709-98-8
PROPAZINA	PROPAZINA	139-40-2
PROPIZAMIDA	PROPIZAMIDA	23950-58-5
PROSUL	PROSULFOCARB	52888-80-9
PTXMD	PETOXAMIDA	106700-29-2
QZP	QUIZALOFOP	76578-12-6
QZP-E	QUIZALOFOP ETIL	76578-14-8
SBZ	SEBUTILAZINA	7286-69-3
SDRN	SIDURON	1982-49-6
SECBUMETON	SECBUMETON	26259-45-0
SIMAZINA	SIMAZINA	122-34-9
TBDT	TERBUMETON DESETIL	30125-64-5
TBM	TERBUMETONA	33693-04-8
TBNRM	TRIBENURON METIL	101200-48-0
TBTRN	TEBUTIURON	34014-18-1
TERAZ	TERBUTILAZINA	5915-41-3
TERBUTRINA	TERBUTRINA	886-50-0
TFSMET	TIFENSULFURON METIL	79277-27-3
TRIFLURALINA	TRIFLURALINA	1582-09-8
BENFUMETIL	BENSULFURON METIL	83055-99-6
DCM	DICAMBA	1918-00-9
ISMS	IODOSULFURON METIL SODIO	144550-36-7
IXF	ISOXAFLUTOL	141112-29-0
LCL	LENACILO	_2164-08-1
PCR	PICLORAM	C1918-02-1
QMR	QUINMERAC	90717-03-6
PZQ	PROPAQUIZAFOP	111479-05-1
IMAZAPIR	IMAZAPIR	81334-34-1
CDZ	CLORIDAZONA	1698-60-8
PPCLR	PROPACLOR	1918-16-7
BENF	BENFLURALINA	1861-40-1
CLOD	CLODINAFOP	114420-56-3
DICLNI	DICLOBENIL	1194-65-6
DINS	DINOSEB	88-85-7
HXZN	HEXAZINONA	51235-04-2

COD_PARAMETRO	NOMBRE	CAS
IOXIN	IOXINIL	1689-83-4
MCPB-A	MCPB	94-81-5
TPX	TEPRALOXIDIM	149979-41-9
TSF	TRIASULFURON	82097-50-5

12.4. Anexo IV. Sondeo de opinión de las personas que han declarado la siembra directa en la solicitud única

12.5. Anexo V. Análisis y resultados estadísticos

12.6. Anexo V VI. Bibliografía

13. Lista de figuras

Figura 1. Superficie (ha) de siembra directa por Comunidad Autónoma.....16

Figura 2. Erosión del suelo por el agua (RUSLE 2015).20

Figura 3. Erosión del suelo por el agua en zonas agrícolas y pastizales naturales, provincias, 2016.24

Figura 4. Variación de la proporción de erosión del suelo causada por el agua en las zonas agrícolas y los pastizales naturales, 2000 y 2016, provincias.25

Figura 5. Porcentaje de carbono orgánico en el suelo (2009-2018).....27

Figura 6. Plaguicidas en aguas superficiales 2023.44

Figura 7. Plaguicidas en aguas subterráneas 2023.45

Figura 8. Red de Detección del Riesgo por Plaguicidas: puntos de muestreo en aguas superficiales.46

Figura 9. Red de Detección del Riesgo por Plaguicidas: puntos de muestreo en aguas subterráneas.46

Figura 10. Contenido de glifosato en las aguas superficiales en 2022.....50

Figura 11. Contenido de glifosato en las aguas subterráneas en 2022.....51

Figura 12. Contenido de nitratos de origen agrario en aguas superficiales (2023), MITERD.54

Figura 13. Contenido de nitratos de origen agrario en aguas subterráneas (2023), MITERD.56

Figura 14. Zonas vulnerables a contaminación por nitratos 2024.57

Figura 15. Resumen del diseño de la Evaluación.	59
Figura 16. Matriz de evaluación.....	63
Figura 17. Resumen de las jornadas sobre siembra directa realizadas por la AEACSV en el marco del convenio con el MAPA.	88
Figura 18. Jornadas sobre ecorregímenes a nivel nacional llevadas a cabo por la Red PAC.	89
Figura 19. Esquema de cadena causal completa elaborada tras el análisis de los aspectos planificados y la valoración técnica de los compromisos.	93
Figura 20. Esquema de la cadena causal para dar respuesta a la pregunta relacionada con la calidad de agua vinculada al uso de herbicidas y su relación con distintos ámbitos.	94
Figura 21. Esquema de la cadena causal para dar respuesta a la pregunta relacionada con la calidad del agua vinculada a la gestión de fertilizantes.	95
Figura 22. Esquema de la cadena causal para dar respuesta a la pregunta relacionada con la mejora del secuestro de carbono por los suelos y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).	95
Figura 23. Esquema de la cadena causal para dar respuesta a la pregunta relacionada con la mejora de la gestión y conservación de los suelos agrícolas.....	96
Figura 24. Puntos de seguimiento de aguas superficiales de fitobentos y macroinvertebrados bentónicos en siembra directa y fuera (2023).	108
Figura 25. Cambio de categoría en las estaciones de seguimiento de fitobentos al comparar 2020-2022 con 2023.	111
Figura 26. Cambio de categoría en las estaciones de seguimiento de macroinvertebrados bentónicos al comparar 2020-2022 con 2023.	111
Figura 27. Impacto de herbicidas, biocidas y nematicidas en comunidades de nematodos del suelo.	115
Figura 28. Puntos de detección de aguas superficiales con presencia de herbicida en el periodo 2021 a 2024, próximos o no a siembra directa.	119
Figura 29. Puntos de detección de aguas subterráneas con presencia de herbicida en el periodo 2021 a 2024, próximos o no a siembra directa.	129
Figura 30. Recintos de siembra directa en 2021 y 2022.	137
Figura 31. Detalle puntos de muestreo. 2023.	138
Figura 32. Detalle puntos de muestreo. 2024.	139
Figura 33. Recintos de siembra directa en 2021 y 2022.	146
Figura 34. Detalle puntos de muestreo. 2023.	147
Figura 35. Mapa del porcentaje de carbono en los primeros 30 cm del suelo en la superficie de siembra directa.	154

Figura 36. Superficie de siembra directa en riesgo de pérdida de suelos por erosión baja, moderada y severa en España.....	179
Figura 37. Carbono orgánico (C orgánico), nitrógeno total (N total) y relación carbono orgánico: nitrógeno total (C:N) en función del manejo.....	189
Figura 38. Contenido de potasio por tipo de manejo.	189
Figura 39. Contenido de potasio por tipo de manejo.	190
Figura 40. Puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales dentro y fuera de la superficie de siembra directa (2023).....	206
Figura 41. Puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas dentro y fuera de la superficie de siembra directa (2023).....	207
En la Figura 42, se muestra la información de los puntos de detección de plaguicidas en las aguas superficiales de cada anualidad en relación con la superficie de siembra directa de 2023, sombreada en gris.	207
Figura 43. Mapas de detección de plaguicidas en aguas superficiales en la superficie de siembra directa.....	208
Figura 44. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023).	210
Figura 45. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023).	211
Figura 46. Mapas de detección de plaguicidas en aguas subterráneas en la superficie de siembra directa.....	216
Figura 47. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023).	218
Figura 48. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023).	219
Figura 49. Superficie de las intervenciones de la práctica de siembra directa y zonas vulnerables a contaminación por nitratos.	226
Figura 50. Localización de la superficie de secano y regadío de las intervenciones de siembra directa, que están o no en zonas vulnerables a contaminación por nitratos.	227
Figura 51. Estaciones de control de nitratos para el estudio del estado de nitratos de aguas superficiales.	228
Figura 52. Cambio de categoría de las estaciones de control de nitratos en aguas superficiales (2021-22 y 2023-24).....	231
Figura 53. Estaciones de control para el estudio del estado de nitratos de aguas subterráneas.	234
Figura 54. Cambio de categoría de las estaciones de control de nitratos en aguas subterráneas (2021-22 y 2023-24).....	237

Figura 55. Variables principales que influyen en las comunidades microbianas del suelo. .244	
Figura 56. Área de muestreo del proyecto SoilBIO.....246	

14. Lista de gráficas

Gráfica 1. Evolución de la superficie de siembra directa en España (2015-2022).....14	
Gráfica 2. Porcentaje de superficie afectada por erosión hídrica moderada o severa del suelo 2000-2016 en España (%).....20	
Gráfica 3. Tasa media de erosión 2000-2016 (t/ha/año) en España.....21	
Gráfica 4. Tasa media de erosión 2000-2016 (t/ha/año) por CCAA.....21	
Gráfica 5. Porcentaje superficie por usos de suelo (referido a la nomenclatura de corine land cover) en España, 2016 (%).....22	
Gráfica 6. Porcentaje superficie con riesgo de pérdida de suelo moderada o severa en España, 2016 (%).....22	
Gráfica 7. Porcentaje superficie con riesgo de pérdida de suelo baja, moderada o severa por tipo de cobertura agraria en España, 2016 (%).....23	
Gráfica 8. Evolución de las emisiones del sector agrario (kt de CO ₂ equivalente (CO ₂ -eq)) y % respecto al total de emisiones del Inventario Nacional de emisiones GEI.29	
Gráfica 9. Evolución de las emisiones del sector agrario (kt de CO ₂ equivalente (CO ₂ -eq)) por categorías del Inventario Nacional de emisiones (GEI).29	
Gráfica 10. Evolución de las emisiones y absorciones del sector UTCUTS (kt de CO ₂ equivalente (CO ₂ -eq)) por categorías del Inventario Nacional de emisiones (GEI).30	
Gráfica 11. Emisiones y absorciones (kilotoneladas de CO ₂) de los suelos agrícolas (1990-2023).....31	
Gráfica 12. Emisiones brutas y netas (kilotoneladas de CO ₂ eq) en la agricultura española (1990 – 2023).....32	
Gráfica 13. Tendencias en el uso y riesgo de plaguicidas químicos (2011-2023).....33	
Gráfica 14. Tendencias en el de plaguicidas más peligroso (2011-2023).....33	
Gráfica 15. Indicador de riesgo armonizado HR1 (2011-2023).....34	
Gráfica 16. Indicador de riesgo armonizado HR2 (2011-2023).....35	
Gráfica 17. Evolución en la venta de pesticidas en España (toneladas) (2011 – 2023).....37	
Gráfica 18. Evolución de la venta de herbicidas y eliminadores de musgo (toneladas) en España entre 2011 y 2023.38	
Gráfica 19. Ventas por categorías de herbicidas, destructores de vástagos y eliminadores de musgos (% de participación sobre el total) España 2023.39	

Gráfica 20. Evolución de las ventas de las principales categorías de herbicidas, eliminadores de musgos en España 2019-2023 (toneladas).	40
Gráfica 21. Evolución de las ventas de las principales categorías de herbicidas, eliminadores de musgos en España 2023-2024 (toneladas).	41
Gráfica 22. Sustancias activas detectadas con mayor frecuencia (%).	47
Gráfica 23. Sustancias activas con mayor concentración media considerando todos los puntos muestreados.	48
Gráfica 24. Nº de estaciones en cada categoría de concentración de nitratos en aguas superficiales 2010-2023.	53
Gráfica 25. Nº de estaciones en cada categoría de concentración de nitratos en aguas subterráneas 2010-2023.	55
Gráfica 26. Porcentaje de la Superficie (ha) de cultivos en Siembra directa en los años 2023 y 2024.	82
Gráfica 27. Proporción de recintos que declaran SI en la plurianualidad en las campañas 2023 y 2024.	85
Gráfica 28. Proporción opiniones sobre el asesoramiento y la formación.	86
Gráfica 29. Motivación para aplicar la práctica basada en la formación y la divulgación.	87
Gráfica 30. Tendencia del número medio de aplicaciones de cada grupo de fitosanitarios por anualidad del periodo 2019-2023.	99
Gráfica 31. Promedio del número medio de aplicaciones de cada grupo de fitosanitarios por grupo de cultivo (2019-2023).	101
Gráfica 32. Porcentaje (%) de respuestas a la pregunta: En un año normal, ¿Nos puede indicar el número de tratamientos de glifosato que suele aplicar de manera previa a la siembra?.	102
Gráfica 33. Porcentaje (%) de respuestas a la pregunta: En un año complejo, ¿Nos puede indicar el número de tratamientos de glifosato que suele aplicar de manera previa a la siembra?	102
Gráfica 34. Percepción sobre los cambios tras aplicar la siembra directa en materia de fitosanitarios. Porcentaje (%) de respuestas.	105
Gráfica 35. Porcentaje de estaciones con datos de fitobentos y macroinvertebrados bentónicos en 2020-2023 según categorías.	109
Gráfica 36. % de estaciones de fitobentos y macroinvertebrados en función de la evaluación de la clasificación de la calidad en el periodo 2020-2022 con 2023.	110
Gráfica 37. % de estaciones de fitobentos que mejoran, empeoran o se mantienen en superficie de siembra directa o no.	112
Gráfica 38. % de estaciones de macroinvertebrados bentónicos que mejora, empeoran o se mantiene en superficie de siembra directa o no.	113

Gráfica 39. Proporción de puntos de detección en aguas superficiales en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024 (%).	121
Gráfica 40. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección (media 2023-2024 menos media 2021-2022 ($\mu\text{g/L}$)).	122
Gráfica 41. Proporción de puntos de detección en aguas superficiales en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024. Puntos en siembra directa.	124
Gráfica 42. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección en siembra directa (media 2023-2024 menos media 2021-2022 ($\mu\text{g/L}$)).	125
Gráfica 43. Proporción de puntos de detección en aguas superficiales en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024. Puntos no ubicados en siembra directa.	126
Gráfica 44. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección fuera de siembra directa (media 2023-2024 menos media 2021-2022 ($\mu\text{g/L}$)).	127
Gráfica 45. Diferencias en la evolución de los herbicidas entre los puntos de siembra directa y el resto de puntos ($\mu\text{g/L}$). Aguas superficiales.	128
Gráfica 46. Proporción de puntos de detección en aguas subterráneas en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024.	130
Gráfica 47. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección (media 23-24 menos media 21-22 ($\mu\text{g/L}$)).	131
Gráfica 48. Proporción de puntos de detección en aguas subterráneas próximos a la superficie de siembra directa con presencia de cada herbicida en el periodo 2021 a 2024.	132
Gráfica 49. Diferencia de concentración media de cada herbicida en los puntos de detección próximos a siembra directa (media 23-24 menos media 21-22 ($\mu\text{g/L}$)).	133
Gráfica 50. Proporción de puntos de detección en aguas subterráneas en función del herbicida que presentan en el periodo 2021 a 2024. Puntos fuera de la superficie de siembra directa.	134
Gráfica 51. Diferencia de concentración media de cada herbicida en el resto de puntos de detección (media 23-24 menos media 21-22 ($\mu\text{g/L}$)).	135
Gráfica 52. Diferencias en la evolución de los herbicidas entre los puntos de siembra directa y el resto de puntos ($\mu\text{g/L}$). Aguas subterráneas.	136
Gráfica 53. Superficie agrícola (%) solicitada en las distintas prácticas de ecorregímenes en los puntos de tratamiento y control del estudio de caso.	140
Gráfica 54. Concentración de herbicidas para los años 2021-2024 en el punto de NOSD.	142
Gráfica 55. Concentración de herbicidas para los años 2021-2024 en el punto de muestreo con mayoría de superficie en siembra directa.	143
Gráfica 56. Diferencia de concentración media de herbicidas entre 2021-2022 y 2023-2024 para los dos puntos de muestreo del estudio de caso.	144

Gráfica 57. Concentración del glifosato y AMPA para los dos puntos de muestreo del estudio de caso en 2021-2024.....	145
Gráfica 58. Superficie agrícola (%) solicitada en las distintas prácticas de ecorregímenes.	147
Gráfica 59. Concentración de herbicidas para los años 2021-2023 en el punto de SD.....	149
Gráfica 60. Concentración de herbicidas para los años 2021-2023 en el punto de NOSD.	150
Gráfica 61. Diferencia de concentración de herbicidas entre la media de 2021 y 2022 y el año 2023 para los dos puntos de muestreo del estudio de caso.	151
Gráfica 62. Porcentaje de superficie de siembra directa (2023) en cada rango de carbono en el suelo (2022), a nivel nacional.	155
Gráfica 63. Porcentaje de superficie de siembra directa en cada rango de carbono en el suelo, por CCAA.	156
Gráfica 64. Porcentaje de superficie de siembra directa en cada rango de COS del suelo a nivel nacional.	156
Gráfica 65. Porcentaje de superficie de siembra directa en cada rango de COS del suelo, por CCAA.	157
Gráfica 66. Valor medio de COS (t C/ha) en los primeros 30 cm de los pares de parcelas seleccionados.	163
Gráfica 67. Diferencia del valor de COS (t C/ha) en los primeros 30 cm de los pares de parcelas seleccionados (siembra directa y laboreo tradicional).....	164
Gráfica 68. Evolución de la proporción de C en parcelas de ensayo de siembra directa, mínimo laboreo y laboreo tradicional de cultivos de cebada, girasol y yeros (% C).	165
Gráfica 69. Evolución de la proporción de materia orgánica (MO) en el suelo en parcelas de ensayo de siembra directa, mínimo laboreo y laboreo tradicional de cultivos de cebada, girasol y yeros (% MO).	165
Gráfica 70. Emisiones/absorciones de gases efecto invernadero de la categoría tierras de cultivo (4B), 2021 a 2023 (Kt).	171
Gráfica 71. Emisiones de gases efecto invernadero de la categoría de combustión del sector de agricultura, silvicultura y pesca (1A4c), 2021 a 2023 (Kt).	175
Gráfica 72. Tasa media de erosión hídrica en 2016 en la superficie de siembra directa 2023 por CCAA.	180
Gráfica 73. Dispersión de los valores de erosión en los puntos de muestreo seleccionados, antes y después de la aplicación de la práctica de siembra directa.	184
Gráfica 74. Gestión de la superficie adscrita a siembra directa en 2023 y 2024. Porcentaje de superficie total en España.	192
Gráfica 75. Combinaciones de cultivos más frecuentes en 2023 y 2024. Porcentajes.	193

Gráfica 76. Proporción de personas que responden al sondeo de opinión en función de los años en los que han aplicado la práctica.....	194
Gráfica 77. Gestión de la plurianualidad por las personas que aplican la siembra directa (%).	195
Gráfica 78. N° y % de personas que aplican la siembra directa un año y todos los anteriores.	195
Gráfica 79. Relación entre la incidencia de labores excepcionales en siembra directa y el periodo en el que aplica la práctica.	198
Gráfica 80. Problemas apuntados para dejar de aplicar la práctica o declararla en la explotación.	199
Gráfica 81. Percepción de las personas que aplican la práctica sobre la gestión de los siguientes aspectos.	199
Gráfica 82. Proporción del total de personas que han respondido que no aplican la práctica de la siembra directa en función de su nivel formativo.	203
Gráfica 83. Evolución del porcentaje de puntos de detección de cada categoría de riesgo de plaguicidas. Aguas superficiales.	210
Gráfica 84. Porcentaje de puntos de detección en aguas superficiales de cada categoría de riesgo de plaguicidas según su vinculación a la superficie de siembra directa, 2023.	215
Gráfica 85. Evolución del porcentaje de puntos de detección de cada categoría de riesgo de plaguicidas. Aguas subterráneas.	218
Gráfica 86. Porcentaje de puntos de detección de cada categoría de riesgo de plaguicidas en aguas subterráneas según su vinculación a la superficie de siembra directa, 2023.	223
Gráfica 87. Porcentaje de superficie de siembra directa en secano y regadío que se localiza en zonas vulnerables a contaminación por nitratos (%).	227
Gráfica 88. Concentración media de nitrato (NO_3) en las aguas superficiales en el periodo 2021 a 2024 ($\text{mg NO}_3/\text{l}$).	229
Gráfica 89. Concentración media de nitrato (NO_3) en los periodos a comparar 2021-22 y 2023-24, dentro y fuera de las zonas vulnerables a contaminación por nitratos ($\text{mg NO}_3/\text{l}$).	229
Gráfica 90. Distribución de los puntos de muestreo de nitratos dentro y fuera de la superficie de siembra directa y de zonas vulnerables a contaminación por nitratos (N°).	230
Gráfica 91. Variación de la concentración media de nitrato (NO_3), dentro y fuera de la superficie de siembra directa y las zonas vulnerables a contaminación por nitratos entre los periodos 2021-22 y 2023-24 ($\text{mg NO}_3/\text{l}$).	230
Gráfica 92. Diferencia media de concentración de nitratos en los puntos de detección (media 23-24 menos media 21-22 ($\text{mg NO}_3/\text{l}$)).	231
Gráfica 93. Concentración media de nitrato (NO_3) en las aguas subterráneas en el periodo 2021 a 2024 ($\text{mg NO}_3/\text{l}$).	235

Gráfica 94. Concentración media de nitrato (NO_3) en los periodos a comparar 2021-22 y 2023-24, dentro y fuera de las zonas vulnerables a contaminación por nitratos ($\text{mg NO}_3/\text{l}$).....	235
Gráfica 95. Distribución de los puntos de muestreo de nitratos dentro y fuera de la superficie de siembra directa y de zonas vulnerables a contaminación por nitratos (N°).	236
Gráfica 96. Variación de la concentración media de nitrato (NO_3), dentro y fuera de la superficie de siembra directa y las zonas vulnerables a contaminación por nitratos entre los periodos 2021-22 y 2023-24 ($\text{mg NO}_3/\text{l}$).....	236
Gráfica 97. Diferencia media de concentración de nitratos en los puntos de detección (media 23-24 menos media 21-22 ($\text{mg NO}_3/\text{l}$)).	237
Gráfica 98. Impacto del manejo agrícola sobre la abundancia y diversidad de mesofauna.	247
Gráfica 99. Comunidades de mesofauna en el suelo.	248
Gráfica 100. Impacto del manejo agrícola sobre la abundancia de lombrices en el suelo...	248
Gráfica 101. Condiciones ambientales que determinan los efectos del manejo en la biodiversidad del suelo.	249
Gráfica 102. Actividad enzimática en el suelo, según manejo convencional, ecológico y siembra directa.....	250
Gráfica 103. Comparación del índice de disimilitud de Bray-Curtis por método de cultivo.	251
Gráfica 104. Diferencias en abundancia de artrópodos en dos rotaciones en Madagascar (Rakotomanga et al., 2016) y Brasil (Santos et al., 2016) comparando labranza convencional y siembra directa sin labranza.	252
Gráfica 105. Incremento observado, por diferentes artículos científicos, en abundancia de arañas implementando siembra directa en comparación con la agricultura convencional.	253
Gráfica 106. Percepción de las personas que aplican la siembra directa sobre la incidencia de la práctica en distintos aspectos que inciden en la rentabilidad final del cultivo.	259
Gráfica 107. Percepción de la incidencia de la siembra directa sobre los costes cultivo.....	260

15. Índice de tablas

Tabla 1. Superficie de siembra directa según Comunidad Autónoma.	15
Tabla 2. Tipo de siembra según distribución por cultivos.....	16
Tabla 3. Medidas de Desarrollo Rural 2014 - 2020 en las regiones donde se detalla especificidades para el fomento de la siembra directa.	17
Tabla 4. Contenido de carbono orgánico en Megatoneladas (Mt) y materia orgánica (g/Kg) en el suelo.....	26
Tabla 5. Categorías de concentración de plaguicidas en las aguas superficiales y subterráneas.	43

Tabla 6. Categorías de concentración de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas.	52
Tabla 7. Evolución de la superficie en la que se declara siembra directa antes (2022) y después del PEPAC (2023 y 2024). Hectáreas.	81
Tabla 8. Resultados del análisis de la caracterización de las superficies en siembra directa, en cuanto a rotación, teniendo en cuenta la titularidad de cada recinto en las campañas 2023 y 2024. N° de recintos (vinculados a un titular) y porcentaje de rotación de cultivo en los recintos coincidentes en 2023 y 2024.	83
Tabla 9. Superficie (ha) acogida a siembra directa, porcentaje de la misma que mantiene la continuidad y porcentaje de la superficie que se mantiene con rotación de cultivos. 2023-2024.	84
Tabla 10. Continuidad de los recintos de 2023 en función de su declaración de plurianualidad. Frecuencias y porcentajes.	85
Tabla 11. Continuidad de la superficie 2023 en función de su declaración de plurianualidad en los recintos. Hectáreas declaradas en 2023.	85
Tabla 12. Esquema de la lógica de intervención planificada en el PEPAC para la siembra directa.	91
Tabla 13. Detalles adicionales de la forma en la que se prevé en el PEPAC la contribución a las necesidades, según la lógica de la intervención.	91
Tabla 14. Promedio de aplicaciones de cada tipo de pesticida dependiendo del tipo de técnica de cultivo para cada anualidad.	98
Tabla 15. Promedio de aplicaciones de cada tipo de pesticida dependiendo del tipo de técnica de cultivo para cada grupo de cultivo (2019-2023).	99
Tabla 16. Tratamientos de los distintos cultivos gestionados en función de distintas técnicas. Campaña 2023/24.	104
Tabla 17. Resultados del Anova de dos vías ejecutado para la variable dependiente dosis de glifosato (l/ha).	106
Tabla 18. Resultados promedio de la dosis de glifosato (l/ha) estimado de las compras por tratamiento (siembra directa y control) y comunidad autónoma. Se ha incluido también el resultado de las comparaciones múltiples post-hoc (P-valor) para la variable tratamiento en función de la Comunidad autónoma y la OTE.	106
Tabla 19. Cambio de clasificación en las estaciones de seguimiento de fitobentos y macroinvertebrados en aguas superficiales al comparar el periodo 2020-2022 con 2023.	110
Tabla 20. Cambio de clasificación en las estaciones de seguimiento de fitobentos en función a la superficie de siembra de directa.	112
Tabla 21. Cambio de clasificación en las estaciones de seguimiento de macroinvertebrados bentónicos en función a la superficie de siembra de directa.	113

Tabla 22. Superficie (ha) declaradas de cada muestreo del estudio de caso.	140
Tabla 23. Porcentaje de la superficie de regadío o secano en los puntos de muestreo.	141
Tabla 24. Porcentaje de la tipología de la superficie de siembra directa.	141
Tabla 25. Superficie (ha) declaradas de cada muestreo del estudio de caso.	148
Tabla 26. Porcentaje de la superficie de regadío o secano en los puntos de muestreo.	148
Tabla 27. Porcentaje de la tipología de la superficie de siembra directa.	148
Tabla 28. Resumen del análisis en los puntos de detección de aguas superficiales.	152
Tabla 29. Estimación de los efectos beneficiosos de la siembra directa en el secuestro de carbono en el suelo y en la eliminación de emisiones de GEI.	158
Tabla 30. Estimación de los efectos beneficiosos de la siembra directa en el secuestro de carbono en el suelo.	159
Tabla 31. Superficie de siembra directa apoyada en 2023 y 2024.	159
Tabla 32. Resultados de la estimación de siembra directa, retención de COS.	160
Tabla 33. Estimación de los efectos beneficiosos de la siembra directa en el secuestro de carbono en el suelo.	161
Tabla 34. Resultados parciales de COS de la red de monitorización del estudio “Seguimiento del contenido de Carbono Orgánico en los suelos (COS) agrícolas de España”	162
Tabla 35. Distribución de las muestras analizadas disponibles de la práctica de siembra directa.	162
Tabla 36. Estimación de los efectos beneficioso de la siembra directa en el secuestro de carbono en el suelo y en la eliminación de emisiones de GEI.	168
Tabla 37. Resultados de la estimación de siembra directa, emisiones de CO ₂ eq.	169
Tabla 38. Superficie de siembra directa dentro del PEPAC que Continua y Nueva respecto a la anualidad 2022) y reducción de las emisiones gases efecto invernadero.	170
Tabla 39. Peso de la absorción media de CO ₂ eq de siembra directa del PEPAC (t CO ₂ eq/ año) respecto a las emisiones/absorciones la categoría 4B del inventario nacional de gases de efecto invernadero.	171
Tabla 40. Reducción del consumo de gasóleo de la superficie de siembra directa de 2023 y 2024 (l/año) en comparación con laboreo convencional.	173
Tabla 41. Reducción de las emisiones de CO ₂ eq por el ahorro en el consumo de gasóleo con la superficie de siembra directa del PEPAC (t CO ₂ eq/año) en comparación con el laboreo convencional.	174
Tabla 42. Reducción media de las emisiones de CO ₂ eq por cada nueva hectárea de siembra directa impulsada por el PEPAC (Kg CO ₂ eq/ha año).	174

Tabla 43. Peso de la reducción media de las emisiones de CO ₂ eq de siembra directa del PEPAC (t CO ₂ eq/año) respecto a las emisiones la categoría 1A4c del inventario nacional de gases de efecto invernadero.	176
Tabla 44. Porcentaje de superficie de siembra directa de 2023 con riesgo de pérdida de suelo bajo, moderado o severo para el año 2016.	180
Tabla 45. Puntos de muestreo del INES estudiados en relación con la práctica de siembra directa en el PEPAC.....	182
Tabla 46. Variación media de las pérdidas de suelo por hectárea en la superficie de siembra directa.	184
Tabla 47. Variación en las pérdidas de suelo en el total de superficie de siembra directa. .	185
Tabla 48. Superficie de siembra directa dentro del PEPAC que continúa, nueva con respecto a la anualidad de 2022 y reducción de la pérdida de suelo.	185
Tabla 49. Capacidad de intercambio catiónico (CIC), potasio de cambio (K) y fósforo disponible (P disponible) en suelo en función del manejo.	188
Tabla 50. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023). Número de puntos.....	211
Tabla 51. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023).	212
Tabla 52. Resumen del análisis de la evolución de la calidad en puntos de detección de plaguicidas en campañas previas a la aplicación del PEPAC y el primer año de su implementación. Aguas superficiales.....	212
Tabla 53. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023) próximas a la superficie de siembra directa.	213
Tabla 54. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023) resto de puntos.	213
Tabla 55. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2020 y 2023).	213
Tabla 56. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023) próximas a la superficie de siembra directa.	214
Tabla 57. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023) resto de puntos.	214
Tabla 58. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas superficiales (2022 y 2023).	215
Tabla 59. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023). Número de puntos.....	219
Tabla 60. Cambio de categoría de todos los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023).	220

Tabla 61. Resumen del análisis de la evolución de la calidad en puntos de detección de plaguicidas en campañas previas a la aplicación del PEPAC y el primer año de su implementación. Aguas subterráneas.....	220
Tabla 62. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023) próximas a la superficie de siembra directa.	221
Tabla 63. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023) resto de puntos.	221
Tabla 64. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2020 y 2023).	221
Tabla 65. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023) próximas a la superficie de siembra directa.	222
Tabla 66. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023) resto de estaciones.	222
Tabla 67. Cambio de categoría de los puntos de detección de plaguicidas en aguas subterráneas (2022 y 2023).	223
Tabla 68. Elaboración de planes de abonado y registro de fertilización en las zonas vulnerables a contaminación por nitratos.	224
Tabla 69. Cambio de categoría en las estaciones de control de nitratos en aguas superficiales (2021-22 y 2023-24), Número de estaciones en el grupo de tratamiento: siembra directa.	232
Tabla 70. Cambio de categoría en los puntos de detección de nitratos en aguas superficiales (2021-22 y 2023-24), Número de estaciones en los grupos de control: fuera de siembra directa.	233
Tabla 71. Resumen de los porcentajes de variación de la calidad de los puntos de detección de nitratos de forma comparada en los cuatro tipos analizados (2021-22 y 2023-24). % de estaciones que cambian en aguas superficiales.....	233
Tabla 72. Cambio de categoría en los puntos de detección de nitratos en aguas subterráneas (2021-22 y 2023-24), Número de estaciones en los grupos de tratamiento.	238
Tabla 73. Cambio de categoría en las estaciones de control nitratos en aguas subterráneas (2021-22 y 2023-24), número de estaciones en los grupos de control.....	239
Tabla 74. Resumen de los porcentajes de variación de la calidad de los puntos de detección de nitratos de forma comparada en los cuatro tipos analizados (2021-22 y 2023-24). % de estaciones que cambian en aguas subterráneas.....	239
Tabla 75. Valoración de las operaciones de cultivo para la cebada en la campaña 2023/24.	256
Tabla 76. Balance económico de las técnicas de laboreo.	257

Tabla 77. Gasto medio (€) de 2020 de cada elemento que interviene en los cultivos de trigo, girasol, cebada y guisantes en Siembra Directa (SD) en comparación con monocultivo de trigo.	258
--	-----

Tabla 78. Gasto medio (€) de 2022 de cada elemento que interviene en los cultivos de trigo, girasol, cebada y guisantes en Siembra Directa (SD) en comparación con monocultivo de trigo.	259
--	-----