



Libro de actas

Madrid, del 20 al 22 de octubre



Esta publicación recoge las comunicaciones presentadas al XX Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, celebrado en Madrid del 20 al 22 de octubre de 2026.

Título: Actas del XX Congreso de la Sociedad Española de Malherbología.
Madrid, 20-22 de octubre de 2026.

Autores y editores científicos: José Dorado, Ana Isabel de Castro, Agustín Garzón, José García-Guerra y José Manuel Peña.

Edita: Sociedad Española de Malherbología (SEMh).

Publicación y difusión: Digital.CSIC, repositorio institucional del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29320.

© **2026, de la edición:** Sociedad Española de Malherbología.

© **2026, de las comunicaciones:** sus respectivos autores.



Libro de actas

Madrid, del 20 al 22 de octubre

Comité Organizador

Ana Isabel de Castro Megías (INIA-CSIC)
José Dorado Gómez (ICA-CSIC)
José Manuel Peña Barragán (ICA-CSIC)
Agustín Garzón Hidalgo (ETSIAAB-UPM)

Colaboradores

Irene Borra Serrano (ICA-CSIC)
David Campos López (ICA-CSIC)
José García Guerra (ICA-CSIC)
Nicolás Lobato Vega (INIA-CSIC)
Francisco Javier López Carbonell (ICA-CSIC)
José Manuel Martín Fernández (ICA-CSIC)
Juan Diego Mena Castillo (ICA-CSIC)
Gustavo Adolfo Mesias Ruiz (ICA-CSIC)
Christian Rueda Ayala (INIA-CSIC)

Comité Científico

M. Remedios Alarcón (IMIDRA, Madrid)
Bàrbara Baraibar (Universitat de Lleida)
Judit Barroso (Oregon State University, EEUU)
Isabel M. Calha (INIAV-Portugal)
Alicia Cirujeda (CITA-Zaragoza)
Ana I. de Castro (INIA-CSIC-Madrid)
José Dorado (ICA-CSIC-Madrid)
César Fernández-Quintanilla (ICA-CSIC-Madrid)
José García-Guerra (ICA-CSIC-Madrid)
Agustín Garzón (ETSIAAB-UPM-Madrid)
José Luis González-Andújar (IAS-CSIC-Córdoba)
Carolina González-Puig (Universidade de Vigo)
Eva Hernández-Plaza (INIA-CSIC-Madrid)
Donato Loddo (CNR-Italia)
Alfredo Manicardi (Universitat de Lleida)
Ana Isabel Marí (CITA, Zaragoza)
José María Montull (Universitat de Lleida)
Hugo Moreno (CAR-CSIC-Madrid)
M. Dolores Osuna (CICYTEX-Badajoz)
Gabriel Pardo (CITA, Zaragoza)
Nuria Pedrol (Universidade de Vigo)
José Manuel Peña (ICA-CSIC-Madrid)
João Portugal (Universidade Politécnica de Beja, Portugal)
Jordi Recasens (Universitat de Lleida)
Aritz Royo (Universitat de Lleida)
Mercedes Royuela (Universidad Pública de Navarra, Pamplona)
Joel Torra (Universitat de Lleida)
Mercedes Verdeguer (Universitat Politècnica de València)
Ana Zabalza (Universidad Pública de Navarra, Pamplona)

Conferencias Invitadas.....	9
Fundamentos ecológicos para la gestión de la vegetación arvense:	
una revisión histórica y conceptual.....	11
Sistemas expertos para la gestión inteligente de malas hierbas.....	13
Aplicaciones de la alelopatía en el control integrado de malas hierbas.....	15
Tres décadas frente a las malas hierbas: evolución del control químico	
y la resistencia a herbicidas.....	17
Visitantes indeseados: las plantas exóticas e invasoras.....	19
SESIÓN 1: Agroecología y servicios ecosistémicos.....	21
O1. La especie de cubierta vegetal y su biomasa condicionan la eficacia del método	
de finalización para el control de malas hierbas estivales en viñedos mediterráneos.....	23
O2. Estrategias de manejo de cubiertas vegetales para el control de malas hierbas en viñedo:	
composición y métodos de finalización.....	29
O3. Influencia de diferentes estrategias de manejo de la flora arvense sobre	
la composición foliar de <i>Solanum lycopersicum</i> L., en el proyecto AGROSUS.....	35
O4. Cobertura y riqueza de arvenses en cereal de invierno entre 2005 y 2025 en Aragón.....	41
O5. Afinidad arvense y relevancia agronómica reflejan dimensiones funcionales distintas	
en la flora arvense ibérica.....	47
P1. Los microorganismos del suelo modulan la competencia cultivo - mala hierba	
en sistemas ecológicos.....	53
P2. Influencia de las cubiertas vegetales y el laboreo en el banco de semillas arvenses	
en agroecosistemas de secano.....	59
P3. Control ecológico de malas hierbas en viñedos de secano: ¿Labores o cubiertas vegetales?.....	65
P4. Variabilidad intraespecífica de rasgos funcionales en comunidades arvenses ibéricas:	
Resultados preliminares del grupo ECOHIERBA.....	71
P5. Introducción al proyecto AGROSOIL: Agro-ecological soil optimization	
for integrated weed management.....	77
P6. Competitividad de las malas hierbas con el cultivo en una rotación cereal-leguminosa	
bajo distintos sistemas de laboreo: un estudio de 32 años.....	83
P7. Evaluación de estrategias agroecológicas para el manejo de flora espontánea	
en viñedo atlántico: resultados de un experimento a corto plazo.....	89
P8. Efecto de la temperatura sobre la germinación de <i>Gypsophila vaccaria</i>	97
P9. La maleza perenne <i>Lepidium draba</i> L.: competencia con el trigo sin efectos de legado	
en cultivos de secano.....	103
P10. Estrategias agroecológicas para el control de malas hierbas en calabacín en el área	
biogeográfica mediterránea.....	109
P11. arvenSYS: una infraestructura funcional y ecológica para el análisis de la flora arvense	
ibérica.....	115
SESIÓN 2: Agricultura de precisión y digitalización en malherbología.....	121
O1. Manejo localizado de malas hierbas: ¿Cambio de paradigma agronómico u optimización	
tecnológica del modelo convencional?.....	123

O2. Comparación de imágenes satelitales de muy alta resolución para discriminar	
rodas de <i>Sorghum halepense</i> en maíz.....	129
O3. Detección de diversidad floral arvense mediante imágenes UAV e inteligencia artificial.....	135
O4. Let's play MixWeeding: un videojuego de aperos inteligentes.....	141
O5. Evaluación técnico-económica del manejo localizado de malas hierbas mediante	
la herramienta <i>Drone4Weeding</i>	147
P1. <i>Barrel</i> : Visualización reproducible de análisis de ordenación en comunidades	
de malas hierbas.....	153
P2. Evaluación de las infestaciones de <i>Bassia scoparia</i> en los secanos centrales de	
Lleida utilizando técnicas de teledetección.....	159
P3. Detección de <i>Brachiaria</i> en ecosistemas heterogéneos con OBIA y SVM a partir de	
parámetros espectrales, texturales y estructurales.....	165
P4. Gemelo digital para control mecánico variable de malas hierbas.....	171
P5. El cierre de la brecha digital en cultivos extensivos.....	177

SESIÓN 3: Gestión integrada.....	183
O1. Bioherbicida a base de biomasa densificada de eucalipto.	
Ensayo de campo en entorno operativo.....	185
O2. Estrategias sostenibles para mitigar la resistencia a herbicidas en sistemas de cultivo	
de trigo en no laboreo.....	191
O3. Viabilidad económica de dos hidroacolchados biodegradables	
en <i>Lavandula x intermedia</i> y <i>Salvia rosmarinus</i>	197
O4. Caracterización de la emergencia de especies estivales arvenses en huerta.....	203
O5. La enseñanza de la malherbología en grados y masters universitarios en España.	
Vamos de mal en peor.....	207
P1. Cuatro hidroacolchados controlan las plantas arvenses de forma satisfactoria en azafrán.....	219
P2. Primer estudio de programas de gestión integrada de <i>Amaranthus palmeri</i> resistente	
a herbicidas en Europa.....	225
P3. Uso de lana como acolchado para el control de flora arvense en cultivos leñosos.....	231
P4. Caracterización de la flora arvense de un agroecosistema cerealista de secano	
con diferentes estrategias de diversificación y biofertilización.....	237
P5. Temperatura base de poblaciones de <i>Echinochloa crus-galli</i> europeas y de Oriente Medio.....	243
P6. Potencial fitotóxico de formulados de aceites esenciales y metabolitos secundarios	
de plantas sobre la germinación de <i>Lolium rigidum</i>	249
P7. Identificación en Cataluña del ácaro eriófito <i>Aculus taihangensis</i> (Prostigmata),	
un potencial agente de control biológico del ailanto.....	255
P8. Efecto de diferentes estrategias de riego en la abundancia de malas hierbas	
e impacto en el rendimiento del arroz.....	259
SESIÓN 4: Control químico y resistencia a herbicidas.....	267
O1. <i>Amaranthus viridis</i> desafía al glifosato: primer caso documentado en Europa.....	269
O2. Nuevos casos de <i>Bromus madritensis</i> resistente a glifosato en cultivos de cereal en España.....	277

O3. Evolución temporal de resistencias tipo TSR en *Echinochloa* spp. en arroz en Extremadura (2019-2024) 283

O4. Separación de los cuatro estereoisómeros de profoxidim y evaluación de su actividad herbicida..... 289

O5. La resistencia múltiple en una población de *Lolium rigidum* de Navarra está vinculada a diferentes enzimas P450 295

P1. Caracterización de la sensibilidad a glifosato en poblaciones de *Eleusine indica* procedentes de viñedos en Cataluña, España 301

P2. Evaluación de la respuesta a herbicidas en poblaciones de *Echinochloa crus-galli* procedentes de campos de maíz de Extremadura..... 307

P3. Comparación de la aptitud biológica de un biotipo de *Digitaria sanguinalis* resistente a herbicidas inhibidores de la ALS y otro sensible..... 313

P4. Resistencia cruzada por metabolismo a distintos herbicidas inhibidores de ALS en *Amaranthus palmeri* y papel de las enzimas P450 y GSTs 319

SESIÓN 5: Biología y manejo de especies invasoras 325

O1. Evaluación de la eficacia sobre *Amaranthus palmeri* y la selectividad en maíz del herbicida Diflufenican y sus mezclas..... 327

O2. La amenaza silenciosa avanza: perfil de resistencia del *Amaranthus palmeri* recién detectado en Navarra..... 333

O3. Seguimiento y gestión de plantas invasoras en un olivar silvestre de alto valor en Lisboa (Portugal)..... 339

O4. Caracterización Ambiental de la dinámica espacial y distribución de *Amaranthus palmeri* a escala nacional 345

O5. Discriminación de *Amaranthus palmeri*, *A. hybridus* y *A. retroflexus* a lo largo de su ciclo fenológico mediante información espectral..... 351

P1. Primeiros registos de *Amaranthus palmeri* S. Wats em campos de milho em Portugal..... 357

P2. *Amaranthus tuberculatus* potencial ameaça de culturas regadas em Portugal 363

ÍNDICE de autores..... 369



Conferencias Invitadas
Keynote Lectures



Francisco Xavier Sans Serra
(Universitat de Barcelona)



César Fernández-Quintanilla Gallastegui
(ICA-CSIC, Madrid)

Fundamentos ecológicos para la gestión de la vegetación arvense: una revisión histórica y conceptual

Ecological foundations of weed vegetation management: A historical and conceptual review

En las últimas décadas los avances en la biología y ecología de poblaciones, la ecología funcional y la agroecología han puesto de manifiesto que las comunidades arvenses desempeñan funciones esenciales en el mantenimiento y funcionamiento de los agroecosistemas. Esta ponencia pretende revisar estos avances desde una perspectiva histórica y conceptual. Harper, en 1974, desarrolló los conceptos básicos de la biología de las poblaciones de plantas, conceptos que han sido muy utilizados en el estudio de la ecología de las especies arvenses. Posteriormente, las contribuciones de Grime (1974) y Tilman (1982) permitieron ampliar el análisis desde el nivel población al de comunidad, considerando estrategias adaptativas y rasgos funcionales, y su relación a la disponibilidad de recursos y a la intensidad de las perturbaciones. La teoría del ensamblaje de las comunidades de Booth y Swanton (2002) permitió comprender las prácticas agrícolas como filtros

ecológicos capaces de seleccionar determinados atributos funcionales y modificar la composición de las comunidades arvenses. Finalmente, la incorporación de enfoques basados en los atributos funcionales y en la valoración conjunta de servicios y perjuicios ecosistémicos de las especies arvenses han abierto una nueva etapa en la gestión agroecológica de las comunidades arvenses. Investigaciones recientes (Bàrberi *et al.*, 2018) muestran cómo la diversificación del manejo modifica la composición funcional de las comunidades arvenses, permitiendo compatibilizar la conservación de la biodiversidad con la productividad agrícola. Sobre estos fundamentos se desarrollan las propuestas agroecológicas de Altieri (1987) y de Liebman, Mohler and Staver (2001) que reorientan el objetivo de la gestión de las especies arvenses desde el control directo de sus poblaciones mediante métodos químicos y mecánicos hacia el diseño de sistemas agrícolas que contemplan

las comunidades arvenses como componentes de la diversidad biológica que favorecen propiedades como las interacciones benéficas, el reciclaje interno de los nutrientes, el uso eficiente de la energía, la estabilidad y la resiliencia. La principal conclusión de esta ponencia es que la gestión de las comunidades arvenses debe dejar de centrarse en su eliminación para orientarse al diseño de agroecosistemas que favorezcan el establecimiento de comunidades funcionales capaces de proporcionar múltiples servicios ecosistémicos, conciliando la productividad agrícola con la salud del suelo, la conservación de la biodiversidad y la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio global.

Over the past few decades, advances in population biology and ecology, functional ecology, and agroecology have demonstrated that weed communities play essential roles in the functioning of agroecosystems. This presentation reviews these advances from both a historical and conceptual perspective. Harper (1974) established the fundamental concepts of plant population biology, which have been widely applied to the study of weed ecology. Subsequently, the contributions of Grime (1974) and Tilman (1982) extended ecological analyses from the population to the community level by considering adaptive strategies and functional traits, and their relationships with resource availability and disturbance intensity. The community assembly fra-

amework proposed by Booth and Swanton (2002) offered a new perspective for interpreting agricultural practices as ecological filters that select for particular functional traits and shape the composition of weed communities. More recently, the incorporation of functional trait-based approaches together with the integrated assessment of the ecosystem services and disservices provided by weed species has opened a new phase in the agroecological management of weed communities. Recent studies (Bàrberi et al., 2018) have shown that diversified management practices can modify the functional composition of weed communities, thereby reconciling biodiversity conservation with agricultural productivity. Building upon these ecological foundations, the agroecological approaches proposed by Altieri (1987) and by Liebman, Mohler and Staver (2001) redefined the objective of weed management, shifting the emphasis from the direct control of weed populations through chemical and mechanical methods toward the design of agricultural systems that recognize weed communities as integral components of biodiversity. In this context, weed communities contribute to beneficial ecological interactions, internal nutrient cycling, efficient energy use, system stability, and resilience. The main conclusion of this review is that the future of weed community management does not lie in maximizing weed elimination, but rather in designing agroecosystems that promote the establishment of functional weed communities capable of delivering multiple ecosystem services while reconciling agricultural productivity with soil health, biodiversity conservation, and the resilience of farming systems under global change.



Dionisio Andújar Sánchez
(CAR-CSIC, Arganda del Rey, Madrid)

Sistemas expertos para la gestión inteligente de malas hierbas

Expert systems for intelligent weed management

En la última década, la evolución de las tecnologías de aplicación localizada ha experimentado una gran expansión, tanto en el desarrollo de nuevas técnicas de detección como en el diseño de maquinaria para la aplicación variable de tratamientos. La integración de tecnologías, sistemas de percepción artificial y modelos de gestión de datos ha permitido aumentar los rendimientos y reducir de forma significativa el uso de herbicidas mediante aplicaciones localizadas o adaptando las dosis a las densidades de mala hierba. Gran parte de esta información proviene de los mapas generados a partir del análisis de imágenes obtenidas mediante vuelos de UAV, satélites o sistemas de detección terrestre, como sensores y cámaras embarcadas en tractores, que permiten la creación de mapas para la realización de tratamientos variables. Siguiendo esta evolución, los últimos cinco años han sido fundamentales para acelerar el desarrollo de sistemas basados

en modelos inteligentes, capaces de mejorar la generación de recomendaciones de tratamiento para una toma de decisiones más precisa o incluso para la aplicación en tiempo real. Toda esta información se sustenta en la gestión de datos, lo que permite mejorar la toma de decisiones para la aplicación de herbicidas y la realización de tratamientos mecánicos variables, además de alimentar modelos predictivos basados en la gestión histórica de datos. Asimismo, esta información puede integrarse en sistemas robóticos que evolucionan hacia sistemas interconectados de flotas colaborativas con aplicación diferencial, capaces de tomar decisiones, utilizar la información recogida por multitud de sensores y recopilar la telemetría generada durante los tratamientos, completando así un ciclo de detección, tratamiento y evaluación de la calidad de la aplicación que conduce a procesos de automejora. En consecuencia, los sistemas de control de malas hierbas

están experimentando una transformación profunda mediante la adquisición de datos, la aplicación de robótica móvil y el uso de modelos de gestión integral, aunque esta evolución también implica riesgos asociados a la gestión de datos y requerirá, en los próximos años, una adaptación y el desarrollo de nuevos modelos de gestión agronómica.

Over the last decade, site-specific application technologies have undergone remarkable advances, driven by the development of new detection techniques and the design of machinery capable of variable-rate treatment applications. The integration of sensing technologies, artificial perception systems, and data management models has increased operational efficiency while significantly reducing herbicide use through site-specific applications and dose adjustment according to weed density. Much of the information supporting these approaches is derived from maps generated through the analysis of images acquired by unmanned aerial vehicles (UAVs), satellites, and ground-based sensing systems, including tractor-mounted sensors and cameras, which enable the production of prescription maps for va-

riable-rate treatments. In line with these developments, the last five years have witnessed rapid progress in intelligent model-based systems capable of improving treatment recommendations for more accurate decision-making and even real-time applications. These advances rely on data management, which supports optimized herbicide applications and variable-rate mechanical weed control while also providing the historical datasets required to develop predictive models. Furthermore, these data can be integrated into robotic systems that are evolving towards interconnected fleets of collaborative autonomous platforms capable of making decisions, processing information from multiple sensors, and collecting telemetry during field operations. This closes the loop between weed detection, treatment, and application quality assessment, enabling continuous system improvement. As a result, weed management systems are undergoing a profound transformation through data acquisition, mobile robotics, and integrated management models. However, this evolution also raises challenges related to data governance and management and will require the development of new agronomic management frameworks to fully exploit the potential of intelligent weed management systems in the coming years.



María Nuria Pedrol Bonjoch
(Universidade de Vigo)

Aplicaciones de la alelopatía en el control integrado de malas hierbas

Applications of allelopathy in Integrated Weed Management

Los ambiciosos objetivos del Pacto Verde Europeo y de las estrategias de la UE «De la granja a la mesa» y «Biodiversidad» incluían reducir en más del 50 % el uso de productos fitosanitarios químicos peligrosos para 2030 y promover los insumos naturales (bioproductos) con sustancias biológicamente activas, además de apoyar prácticas de gestión integrada y holística de las malas hierbas (IWM). Una estrategia respetuosa con el medio ambiente para este reto global pasa por aprovechar la alelopatía, definida por la *International Allelopathy Society* (IAS) como «la capacidad de las plantas, los microorganismos, los hongos, las algas y otros organismos para producir y liberar una mezcla de compuestos capaces de influir positiva o negativamente en los componentes bióticos y abióticos que conforman el agrosistema». La alelopatía se ha reconocido como un método eficaz y ecológico para controlar las malas hierbas en nuestros sistemas de cultivo. Recientemente,

algunos investigadores han dado un paso más en la estrategia de la IWM (*Integrated Weed Management*), promovida y defendida por la *European Weed Research Society* (EWRS) y nuestra Sociedad Española de Malherbología (SEMh) utilizando el término «Protección Agroecológica de los Cultivos» (ACP, *Agroecological Crop Protection*) para destacar el papel de la diversidad funcional en los sistemas de cultivo, un pilar sólido para acercarnos a los desafiantes pero necesarios objetivos del Pacto Verde para 2050. En este contexto, la alelopatía constituye una herramienta atractiva para incorporar a esta estrategia mediante cultivos alelopáticos en la rotación, ya sea como cultivos principales con propiedades alelopáticas, como cultivos de cobertura para la cosecha o como *mulch* o abono verde. Los aleloquímicos procedentes de plantas silvestres, que se perfilan como una prometedora reserva de nuevos herbicidas, también debe tenerse en cuenta para preservar la biodiversidad como

fuelle aún sin explotar de compuestos bioactivos. La alelopatía es clave para desarrollar herbicidas con nuevos modos de acción, lo cual es relevante en el contexto actual, en el que el uso repetido de herbicidas con modos de acción limitados ha favorecido la aparición de genotipos de malas hierbas resistentes. Cuando se introduce racionalmente en la IWM, la alelopatía puede contribuir a alcanzar los objetivos medioambientales de la transición ecológica, como el mantenimiento de la diversidad funcional de las «otras plantas» y de sus servicios ecosistémicos, al incorporar a la estrategia basada en herbicidas sintéticos un nuevo escenario alejado de suelos infértiles y de reinfestaciones, que deben tratarse varias veces en el mismo ciclo de cultivo. Diversos enfoques de investigación aportan pruebas de la utilidad de la alelopatía para el control de las malas hierbas, lo que refuerza y potencia la Alelopatía, en mayúsculas, como una rama viva y dinámica de la ciencia y de la disciplina de la Malherbología.

The aspirational goals of the European Green Deal, the EU Farm-to-Fork and Biodiversity strategies included reducing the use of hazardous chemical crop protection products by >50% in 2030 and promoting natural inputs (bioproducts) containing biologically active substances, while supporting holistic integrated weed management (IWM) practices. An eco-friendly strategy for this global challenge includes taking advantage of allelopathy, defined by the International Allelopathy Society (IAS) as “the ability of plants, microbes, fungi, algae and other organisms to produce and release a cocktail of compounds capable of positively or negatively influencing biotic and abiotic components that make up the agrosystem”. Alle-

lopathy has been recognised as an effective and ecological method for controlling weeds that plague cropping systems. Recently, some researchers have contributed a step further in the IWM strategy, promoted and advocated by the European Weed Research Society (EWRS) and our Sociedad Española de Malherbología (SEMh), using the term Agroecological Crop Protection (ACP) to highlight the role of functional diversity in cropping systems, representing a solid pillar to move closer to the challenging but necessary Green Deal targets for 2050. In this scenario, allelopathy is an attractive tool to include in this ACP strategy by introducing allelopathic crops in rotation, whether as cash crops, cover crops for harvesting, or crops used as mulch or green manure. The great diversity of allelochemicals from wild plants, which hold promise as a pool of new herbicides, should also be considered to preserve biodiversity as a still untapped source of bioactive compounds. Allelopathy is thought to be key to developing new, environmentally friendly herbicides with new modes of action, which is relevant in the current scenario where repeated use of herbicides with limited modes of action has favoured the emergence of resistant weed genotypes. When introduced rationally, allelopathy in the IWM can contribute towards achieving the extra environmental objectives of ecological transition, such as maintaining the functional diversity of the “other plants” and their wide variety of ecosystem services, by incorporating a scenario far from the one of infertile soils and reinfestation that must be treated several times in the same crop cycle, into the synthetic herbicide-based strategy. Valuable research approaches provide diverse evidence of the usefulness of allelopathy as a tool for weed control, as well as their rich opinions and approaches that reinforce and enhance Allelopathy, in capital letters, as a lively and dynamic branch of science, and, specifically, for weed science.



María Dolores Osuna Ruiz
(CICYTEX, Guadajira, Badajoz)

Tres décadas frente a las malas hierbas: evolución del control químico y la resistencia a herbicidas

Three decades tackling weeds: the evolution of chemical control and herbicide resistance

Hace treinta años, cuando inicié mi actividad profesional en el ámbito de la Malherbología, el control químico constituía la herramienta fundamental para la gestión de las malas hierbas. Los programas de control se apoyaban en un amplio abanico de materias activas y en la confianza de que la incorporación de nuevos herbicidas permitiría resolver la mayoría de los problemas existentes. Sin embargo, la intensificación de los sistemas de cultivo y el uso reiterado de los mismos modos de acción favorecieron la aparición y expansión de poblaciones resistentes. Lo que inicialmente se percibía como un fenómeno puntual y localizado se ha convertido en uno de los principales desafíos para la agricultura moderna. En España, la evolución de las resistencias ha estado protagonizada por especies como *Lolium rigidum*, *Papaver rhoeas*, *Echinochloa* spp. y *Conyza* spp., que han marcado algunas de las etapas más relevantes en el estudio y manejo de este problema. Más

recientemente, la irrupción de *Amaranthus palmeri* ha supuesto uno de los mayores retos emergentes debido a su elevada capacidad de adaptación y desarrollo de resistencias. Estas especies reflejan la creciente complejidad de esta problemática y una evolución paralela a la observada en el resto de Europa, situando a España entre los países con mayor experiencia en su estudio y gestión. Durante estas tres décadas también hemos sido testigos de una auténtica revolución en las herramientas de investigación y diagnóstico. Los ensayos en cámara de cultivo e invernadero, que durante años constituyeron la base para la detección de resistencias, han sido complementados por herramientas moleculares cada vez más precisas. La identificación de mutaciones en genes diana mediante PCR y secuenciación dio paso al empleo de marcadores moleculares capaces de realizar diagnósticos rápidos y fiables en un gran número de muestras. Más reciente-

mente, las tecnologías de secuenciación masiva y las aproximaciones transcriptómicas están permitiendo avanzar en la comprensión de mecanismos más complejos, especialmente las resistencias metabólicas. Paralelamente, la creciente presión regulatoria y la reducción de materias activas disponibles han puesto de manifiesto que la sostenibilidad del control de malas hierbas requiere estrategias integradas en las que el control químico sigue siendo una herramienta esencial, pero no la única. En esta conferencia realizaré un recorrido por la evolución del control químico y la resistencia a herbicidas durante las últimas tres décadas en Europa y, especialmente, en España, desde una perspectiva personal basada en mi experiencia investigadora y profesional. Revisaremos los principales cambios en los herbicidas, las malas hierbas y las herramientas disponibles para su estudio y manejo, así como las lecciones aprendidas y los retos que marcarán el futuro de la Malherbología.

Thirty years ago, when I began my professional career in Weed Science, chemical control was the main tool for weed management. Control programmes relied on a wide range of active ingredients and on the expectation that the introduction of new herbicides would solve most existing problems. However, the intensification of cropping systems and the repeated use of the same modes of action favoured the emergence and spread of resistant populations. What was initially perceived as an isolated and localised phenomenon has become one of the major challenges facing modern agriculture. In Spain, the evolution of resistance has been particularly associated with species such as Lo-

lium rigidum, Papaver rhoeas, Echinochloa spp. and Conyza spp., which have marked some of the most significant stages in the study and management of this problem. More recently, the emergence of Amaranthus palmeri has become one of the major new challenges due to its remarkable ability to adapt and evolve resistance. These species reflect the increasing complexity of the problem and a trend parallel to that observed elsewhere in Europe, placing Spain among the countries with the greatest experience in its study and management. Over these three decades, we have also witnessed a genuine revolution in research and diagnostic tools. Growth-chamber and greenhouse assays, which for many years formed the basis of resistance detection, have been complemented by increasingly precise molecular tools. The identification of mutations in target genes using PCR and sequencing was followed by the development of molecular markers capable of providing rapid and reliable diagnoses across large numbers of samples. More recently, high-throughput sequencing technologies and transcriptomic approaches have enabled significant advances in our understanding of more complex mechanisms, particularly metabolic resistance. At the same time, increasing regulatory pressure and the declining availability of active ingredients have highlighted the fact that sustainable weed management requires integrated strategies in which chemical control remains an essential tool, but is no longer the only one. In this plenary lecture, I will review the evolution of chemical weed control and herbicide resistance over the past three decades in Europe and, particularly, in Spain, from a personal perspective based on my research and professional experience. We will examine the major changes in herbicides, weeds, and the tools available for their study and management, as well as the lessons learned and the challenges that will shape the future of Weed Science.



Joel Torra Farré
(Universitat de Lleida - Centro Cerca AGROTECNIO, Lleida)

Visitantes indeseados: las plantas exóticas e invasoras

Unwelcome visitors: Exotic and invasive plants

Las plantas invasoras son especies exóticas que se introducen en un nuevo entorno, se adaptan con rapidez y desplazan a la flora autóctona, alterando los ecosistemas locales. En España, representan una seria amenaza medioambiental y económica, estando reguladas oficialmente por normativas estatales. Los campos de cultivos son agroecosistemas muy antrópicos y alterados y, por lo tanto, muy susceptibles a las invasiones vegetales. Muchas veces son la principal vía de entrada de plantas exóticas invasoras, que después pueden acabar llegando a los ecosistemas naturales. Las plantas exóticas invasoras en agroecosistemas despliegan atributos biológicos y funcionales clave que les permiten superar a las especies de malas hierbas nativas y ser altamente competitivas con los cultivos. Destacan por su rápido crecimiento, alta plasticidad genotípica y fenotípica para ser muy adaptables, producción masiva de semillas y otras características como la

alelopatía. Muchas llegaron hace siglos y llevan mucho tiempo naturalizadas en nuestros campos de cultivo, márgenes de campos y carreteras, y otros hábitats no cultivados, pero también en ecosistemas naturales. Muchas de estas especies pertenecen a unas pocas familias botánicas, Asteráceas, Poáceas, las antiguas Quenopodiáceas junto con las Amarantáceas, así como las Solanáceas, ya que suelen tener la mayoría de atributos biológicos anteriormente mencionados para medrar en nuevos entornos. Algunos de los ejemplos más paradigmáticos en España se dan en cultivos extensivos anuales de verano como arroz o maíz, pero también en los frutales de regadío, ya que la mayoría no tienen limitaciones de recursos, como el agua, siendo muy proclives a ser invadidos por especies vegetales alóctonas. Hay casos que ejemplifican el coste económico que puede tener una especie cuando no se evita su naturalización, como *Abutilon theophrasti*. En cambio, tam-

bién tenemos casos de éxito, como *Sycios angulatus* o el teosinte, un ancestro del maíz, que han sido erradicadas o contenidas.

El caso más reciente, y a la vez, más preocupante es *Amaranthus palmeri*. Esta especie, originaria de los desiertos de Centro y Norteamérica, está llegando de manera continua del continente americano. En algunos casos con resistencias a herbicidas ya incorporadas en origen, en otros, con resistencias que se han seleccionado una vez en nuestro país. Actualmente es la principal amenaza del cultivo del maíz en toda la península ibérica.

Invasive plants are non-native species that establish in new environments, rapidly adapt, and displace native flora, thereby altering local ecosystems. In Spain, they represent a major environmental and economic threat and are subject to official regulation under national legislation. Croplands are highly anthropogenic and disturbed agroecosystems and are therefore particularly susceptible to plant invasions. In many cases, they constitute the primary entry point for invasive alien plants, which may subsequently spread into natural ecosystems. In agroecosystems, invasive alien plants exhibit a range of key biological and functional traits that enable them to outcompete native weed species and become highly competitive with crops. These include rapid growth, high genotypic and phenotypic plasticity, prolific seed production, and additional attributes such as

*allelopathy. Many of these species were introduced centuries ago and have long since become naturalized in croplands, field margins, roadsides, and other non-cultivated habitats, as well as in natural ecosystems. A large proportion belong to a limited number of botanical families, including Asteraceae, Poaceae, the former Chenopodiaceae (now included within Amaranthaceae), and Solanaceae, whose members commonly possess many of the biological traits that facilitate successful establishment in novel environments. Some of the most representative examples in Spain occur in annual summer crops such as rice and maize, as well as in irrigated fruit orchards. Because these cropping systems are generally not limited by resources such as water, they are particularly vulnerable to invasion by alien plant species. Several cases illustrate the substantial economic costs associated with the failure to prevent the naturalization of invasive species, such as *Abutilon theophrasti*. Conversely, there have also been successful eradication or containment programs targeting species such as *Sycios angulatus* and teosinte, the wild ancestor of maize. The most recent—and arguably the most concerning—case is *Amaranthus palmeri*. Native to the arid regions of Central and North America, this species continues to be repeatedly introduced from the American continent. Some populations already carry herbicide resistance traits acquired in their native range, whereas others have evolved resistance after their introduction into Spain. At present, *A. palmeri* represents the greatest weed threat to maize production throughout the Iberian Peninsula.*



SESIÓN 1

Agroecología y servicios ecosistémicos

O1. La especie de cubierta vegetal y su biomasa condicionan la eficacia del método de finalización para el control de malas hierbas estivales en viñedos mediterráneos

O1. Cover crop species and biomass determine the effectiveness of termination methods for summer weed control in Mediterranean vineyards

BARRANCO-ELENA D^{1,2}, RECASENS J^{1,2}, MALUQUER J^{1,2}, BARAIBAR B^{1,2}

¹Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, ETSEAFiV/Universitat de Lleida, Lleida, España; ²AGROTECNIO-CERCA Center, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29259

Email (por orden de autoría): diego.barranco@udl.cat; jordi.recasens@udl.cat; jordi.maluquer@udl.cat; barbara.baraibar@udl.cat

Las cubiertas vegetales son una práctica agrícola sostenible que puede proporcionar múltiples servicios ecosistémicos, entre ellos, el manejo de malas hierbas sin comprometer la salud del suelo. La elección de especies adecuadas y el método de finalización son desafíos clave para implementar con éxito las cubiertas vegetales, especialmente en climas semiáridos. El objetivo de este estudio es determinar qué especies y métodos de finalización son más adecuados para controlar las especies de malas hierbas tanto de invierno como de verano en viñedos (*Vitis vinifera* L.). Para ello, se ha llevado a cabo un experimento en dos viñedos ecológicos ubicados en Raimat (Lleida), durante dos campañas en uno de los campos y tres en el otro. El estudio consta de seis tratamientos siguiendo un diseño de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Las cubiertas vegetales sembradas fueron *Phacelia tanacetifolia* Benth. y triticales (*×Triticosecale*), junto con un control sin sembrar, en el que se dejó crecer la vegetación espontánea. En primavera, la mitad de las cubiertas se finalizaron con el *roller crimper* (rodillo-cuchilla) y la otra mitad se picaron. A lo largo del estudio se evaluó la presencia de malas hierbas, el recubrimiento del suelo y la producción de biomasa, tanto de la cubierta como de las malas hierbas. Los resultados indican que triticales presentó mayor recubrimiento del suelo y producción de biomasa, traduciéndose en un mejor control de malas hierbas independientemente del método de finalización. Incluso con niveles moderados de biomasa, se lograron reducciones significativas de flora arvense. Por el contrario, *P. tanacetifolia* mostró una respuesta más variable, condicionada por la biomasa acumulada en primavera. La eficacia del método de finalización dependió del nivel de biomasa de *P. tanacetifolia* producido. Por otro lado, la cubierta espontánea se asoció con una mayor presencia de especies arvenses estivales más competitivas como *Chenopodium album* L.

Palabras clave: *Roller crimper*, picadora, triticales, *Phacelia tanacetifolia*, sistema ecológico.

Cover crops are a sustainable agricultural practice that provide multiple ecosystem services, including weed management without compromising soil health. However, selecting appropriate species and termination methods remains a key challenge, particularly in semi-arid climates. This study aimed to identify the most suitable cover crop species and termination methods

for controlling both winter and summer weed species in vineyards (*Vitis vinifera* L.). The experiment was conducted in two organic vineyards located in Raimat (Lleida) over two growing seasons in one field and three in the other. A randomized complete block design with three replicates and six treatments was used. The cover crops included *Phacelia tanacetifolia* Benth. and triticale ($\times$ Triticosecale), alongside an unsoven control with spontaneous vegetation. In spring, cover crops were terminated either using a roller crimper or by mechanical shredding. Triticale achieved higher soil cover and biomass production, resulting in improved weed suppression regardless of termination method. Even moderate biomass levels led to significant reductions in weed abundance. In contrast, *P. tanacetifolia* showed more variable performance, strongly influenced by spring biomass accumulation, which also determined the effectiveness of termination. The spontaneous vegetation treatment was associated with a higher presence of competitive summer weeds such as *Chenopodium album* L.

Keywords: roller crimper, flail mower, triticale, *Phacelia tanacetifolia*, organic system.

1. Introducción

Uno de los principales desafíos en la producción ecológica es el manejo de las malas hierbas (Teasdale & Cavigelli, 2017). En ausencia de herbicidas de síntesis, el principal método para el control de las malas hierbas es la labranza. A pesar de su efectividad, el laboreo también es la causa de diversos problemas, como el aumento de la erosión del suelo, pérdida de materia orgánica (Smith *et al.*, 2015) y el uso de combustibles fósiles. Por lo tanto, hay una necesidad de encontrar soluciones basadas en la naturaleza para abordar la problemática de las malas hierbas sin comprometer la salud del suelo. En este sentido, una estrategia de laboreo reducido, basada en cubiertas vegetales, puede garantizar un adecuado manejo de las arvenses.

Las cubiertas vegetales no se siembran para ser cosechadas, sino para proporcionar otros servicios eco-sistémicos como retención de nitrógeno, reducción de la erosión, mejor infiltración del agua, manejo de malas hierbas o aumento de la materia orgánica, entre otros (Schipanski *et al.*, 2014). Su función depende de la especie utilizada. Las gramíneas y las brasicáceas son excelentes extractoras de nutrientes con fuertes sistemas radiculares, reduciendo la compactación y la erosión mientras cubren rápidamente el suelo y proporcionan un buen control de las arvenses (Baraibar *et al.*, 2018). Por otro lado, las boragi-náceas destacan por su abundante y prolongada floración, favoreciendo la atracción de polinizadores e insectos auxiliares y contribuyendo a la regulación biológica dentro del agroecosistema.

En viñedos (*Vitis vinifera* L.), las cubiertas vegetales se siembran a mediados de otoño y se permite su cre-cimiento hasta finales de primavera, cuando empiezan a competir con el viñedo por agua. Al final del ciclo, las cubiertas suelen ser finalizadas mediante laboreo (incorporándolas al suelo como abono verde), picadora o con el roller crimper, un rodillo de gran peso con cuchillas que presiona el material vegetal, pero sin llegar a cortarlo. En este último método, las cubiertas vegetales crean un mantillo que cubre el suelo y puede limitar la germinación de las malas hierbas, aunque su efectividad es variable. Uno de los principales desafíos de este método es seleccionar las especies apropiadas para el paso del roller crimper. La implementación de esta estrategia es relativamente nueva y no se ha estudiado extensamente, pero puede proporcionar una buena supresión de las malas hierbas en las calles de viñedos ecológicos durante el verano. Cubiertas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y facelia (*Phacelia tanacetifolia* Benth.) fueron testadas previamente en condiciones agronómicas similares para el control de la grama, *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (Cabrera-Pérez *et al.*, 2024). Sin embargo, todavía hay escasa información de su efecto sobre

otras especies de malas hierbas. Por lo que el objetivo de este estudio es probar dos especies diferentes de cubiertas vegetales y dos métodos de finalización (roller crimper y picadora) para ver qué opción pro-porciona un mejor control de malas hierbas. La información obtenida en las condiciones del Valle del Ebro podría promover la adopción de las cubiertas vegetales en viñedos ecológicos de regadío en otras zonas del territorio.

2. Material y métodos

Se llevó a cabo un experimento en dos viñedos ecológicos ubicados en Raimat (Lleida), durante dos campañas en uno de los campos (Alrasa) y tres en el otro (Sat).

Las particularidades de cada campo se encuentran en la tabla 1. Ambos viñedos se regaron regular-mente por goteo durante toda la campaña. El manejo tradicional del suelo en ambas fincas consiste en picar la cubierta espontánea que crece entre las filas y pases mecánicos de intercepa bajo las vides entre tres y cuatro veces por campaña.

La clasificación climática del área de estudio es semiárida fría (BSk) (Kottek *et al.*, 2006). Durante el pe-riodo de ensayo, la precipitación anual promedio fue de 355 mm y la temperatura media anual de 14,9 °C. Los datos climáticos se obtuvieron de una estación meteorológica automática perteneciente a la red meteorológica regional, ubicada cerca del viñedo en Raimat (www.meteocat.cat).

Tabla 1. Características de los campos de ensayo.

ENSAYO	VARIEDAD	AÑO DE ESTABL.	MARCO (M)			TEXTURA (%)			
			Calle	Fila	Arena	Limo	Arcilla	pH	MO
Alrasa	Chardonnay	2010	3	1,5	30,5	32,7	36,7	8,3	2,7
Sat	Tempranillo	2015	3	1,5	44,3	34,8	20,9	8,4	3,9

La preparación del lecho de siembra se realizó en todas las calles del experimento con una fresadora montada en un tractor previo a la siembra. Se sembraron dos especies de cubiertas vegetales a finales de octubre de cada campaña en las calles de 2,5 m de ancho, $\times$ Triticosecale var. Hugo (triticale) y facelia. Las cubiertas de triticale y la facelia se sembraron a una dosis de 210 y 10 kg ha⁻¹ respectivamente. También se estableció un control sin sembrar (cubierta espontánea). Los seis tratamientos se instalaron siguiendo un diseño de bloques completamente aleatorizado con tres repeticiones.

En mayo, cuando las cubiertas estaban en floración, la mitad de las cubiertas vegetales fueron picadas y la otra mitad fue chafada con el roller crimper. Durante el estudio, las malas hierbas en las hileras se controlaron mediante un intercepa mecánico.

Los muestreos se realizaron en tres parcelas (unidades de muestreo) en cada fila, ocupando la anchura de siembra (2,5 m) y de largo, la separación entre cuatro vides (4,5 m). El porcentaje de recubrimiento del suelo en cada parcela, por parte de las cubiertas y de malas hierbas se estimó visualmente una vez al mes a lo largo de la temporada. En mayo, la biomasa de las cubiertas y de las malas hierbas se evaluó justo antes de la finalización de las cubiertas tomando muestras de tres cuadrados de 0,5 m de lado junto

a cada una de las tres parcelas. Finalmente, en agosto, la biomasa de malas hierbas de verano se midió de la misma manera que la biomasa de primavera. La biomasa recolectada fue secada en estufas a 60°C durante 48h para establecer el peso seco.

Cada campo se analizó por separado utilizando un Modelo Lineal de Efectos Mixtos, con las especies de cubierta vegetal, método de finalización y su interacción como factores fijos y bloque como factor aleatorio. Si los tratamientos fueron significativos, se realizaron comparaciones múltiples de los efectos utilizando la prueba HSD de Tukey ($P < 0,05$). Cuando fue necesario, los datos se transformaron con la raíz cuadrada para cumplir con los requisitos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (prueba de Levene). Los datos se retro transformaron para mayor claridad en los resultados. Los análisis se realizaron utilizando el programa estadístico R (R Core Team, 2023).

3. Resultados y discusión

En mayo, la biomasa de la cubierta vegetal y de las malas hierbas difirió de forma consistente entre años y tipos de cubierta. El triticale produjo la mayor biomasa en todas las campañas y campos, mientras que la biomasa de malas hierbas primaverales en los tratamientos con triticale se mantuvo cercana a cero, indicando un fuerte efecto supresor de esta cubierta sobre la flora arvense. La facelia presentó niveles intermedios de biomasa y controló eficazmente las malas hierbas primaverales, especialmente en Sat, donde la biomasa media de malas hierbas a lo largo de los años fue baja (161 kg ha^{-1}) (figura 1A).

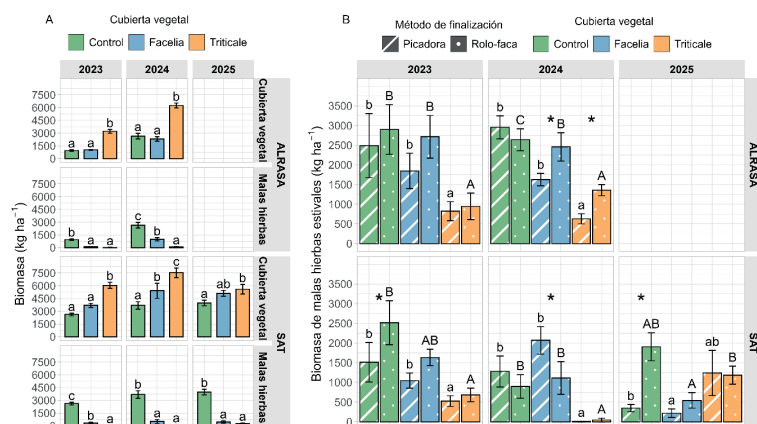


Figura 1. Biomasa de malas hierbas y de la cubierta vegetal en primavera (A) y biomasa de malas hierbas en verano (B) en cada tratamiento a lo largo de las campañas en ambos campos (Alrása y Sat), expresada en kg ha^{-1} . Las barras verticales representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tipos de cubierta vegetal dentro de cada año y campo ($P < 0,05$). En la figura 1B, las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre tipos de cubierta dentro de los tratamientos picados, y las letras minúsculas dentro de los tratamientos finalizados con *roller crimper*. Los asteriscos indican diferencias significativas entre métodos de terminación dentro de cada tipo de cubierta vegetal.

Durante el verano, los patrones de biomasa de malas hierbas estuvieron influenciados por el año, el tipo de cubierta y el método de terminación. En general, los tratamientos con triticale mostraron menor biomasa de malas hierbas estivales que el resto, excepto en 2025, cuando triticale presentó menor biomasa (figura 1A) y una biomasa de malas hierbas mayor (figura 1B). En 2023, el método de terminación no afectó significativamente la biomasa de malas hierbas estivales en Alrása ($P = 0,237$), mientras que, en la mayoría de los casos restantes, se observaron efectos significativos en la interacción entre tipo de cubierta y modo de finalización.

En general, se observó una tendencia a que los tratamientos finalizados con *roller crimper* presentaran mayor biomasa de malas hierbas estivales que los picados (figura 1B), aunque este patrón no fue consistente en todos los años y tratamientos. En 2024 en Sat, caracterizado por una elevada biomasa de facelia (figura 1A), se observó la tendencia opuesta: los tratamientos picados mostraron mayor biomasa de malas hierbas estivales, con diferencias significativas con la facelia chafada. En cambio, en la cubierta finalizada de triticale, la biomasa de malas hierbas estivales se mantuvo cercana a cero en ambos métodos de finalización (figura 1B).

En 2025, no se detectaron diferencias significativas entre métodos de finalización en las cubiertas sembradas en Sat, mientras que, en la cubierta espontánea, los tratamientos con *roller crimper* presentaron mayor biomasa de malas hierbas estivales que la cubierta espontánea picada.

4. Conclusiones

La elección de la especie utilizada como cubierta vegetal fue el principal factor que determinó el control de las arvenses en viñedos mediterráneos. Triticale proporcionó una reducción consistente de las malas hierbas primaverales y estivales, mientras que la eficacia de facelia fue más variable y dependió en gran medida de la biomasa acumulada en primavera.

La eficacia del método de finalización dependió tanto del tipo de cubierta como de la producción de biomasa. En condiciones de baja biomasa, la picadora resultó más efectiva, mientras que con altos niveles de biomasa tanto el *roller crimper* como la picadora ofrecieron un control comparable de las malas hierbas.

Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de seleccionar especies de cubierta con elevada capacidad de implantación, producción de biomasa y competitividad frente a las malas hierbas. Futuras investigaciones deberían evaluar además el efecto de estas estrategias sobre el rendimiento del viñedo y otros servicios ecosistémicos asociados, con el fin de valorar de forma integral su contribución a la sostenibilidad del sistema.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto TED2021-130138A-I00 “Manejo de flora arvense sin perturbación del suelo en agricultura ecológica” financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR D. Barranco es beneficiario del contrato “Personal predoctoral en formación UdL 2022”. Los autores quieren agradecer a las empresas Raventós-Codorníu S.A y Alrása Agraria S.A su colaboración y soporte técnico en campo.

Referencias

- BARAIBAR B, HUNTER MC, SCHIPANSKI ME, HAMILTON A & MORTENSEN DA (2018) Weed suppression in cover crop monocultures and mixtures. *Weed Science*, 66, 121-133.
- CABRERA-PÉREZ C, ROYO-ESNAL A, CATALÀ B, BARAIBAR B & RECASENS J (2024) Cover crops terminated with roller-crimper to manage *Cynodon dactylon* and other weeds in vineyards. *Pest Management Science*, 80, 2162-2169.
- KOTTEK M, GRIESER J, BECK C, RUDOLF B & RUBEL F (2006) World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259-263.
- R CORE TEAM (2023) R: A language and environment for statistical computing. Disponible en: <http://www.r-project.org/> [Consultado el 14 de abril de 2023].

SCHIPANSKI ME, BARBERCHECK M, DOUGLAS MR, FINNEY DM, HAIDER K, KAYE JP, KEMANIAN AR, MORTENSEN DA, RYAN MR, TOOKER J & WHITE C (2014) A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 125, 12-22.

SMITH RG, RYAN MR & MENALLED FD (2015) Direct and indirect impacts of weed management practices on soil quality. En: *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture*. 275-286.

TEASDALE JR & CAVIGELLI MA (2017) Meteorological fluctuations define long-term crop yield patterns in conventional and organic production systems. *Scientific Reports*, 7, 688.

O2. Estrategias de manejo de cubiertas vegetales para el control de malas hierbas en viñedo: composición y métodos de finalización

O2. Cover crop management strategies for weed control in vineyards: functional composition and termination methods

THERISOD F^{1,2}, BARAIBAR B^{1,2}, GÓMEZ COPETE J^{1,2}, BARRANCO-ELENA D^{1,2}, MALUQUER J^{1,2}, DOMINGO A³, RECASENS J^{1,2}

¹Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, ETSEAFiV/Universitat de Lleida, Lleida, España; ²AGROTECNIO-CERCA Center, Lleida, España; ³Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Tarragona, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29260

Email (por orden de autoría): federico.therisod@udl.cat; barbara.baraibar@udl.cat; jgc39@alumnes.udl.cat; diego.barranco@udl.cat; jordi.maluquer@udl.cat; albert.domingo@gen-cat.cat; jordi.recasens@udl.cat

La siembra de cubiertas vegetales es una práctica que puede mejorar la sostenibilidad de viñedos mediterráneos de secano. Las cubiertas pueden controlar las malas hierbas reduciendo la necesidad de laboreo y favoreciendo la conservación del suelo. El efecto de la cubierta vegetal sobre las malas hierbas y el cultivo está condicionado por su composición específica, la producción de biomasa, el grado de recubrimiento del suelo y el momento y método de finalización. En cuanto al momento, se busca evitar la competencia con la vid. Respecto al método, una técnica probada, pero poco difundida en viñedos, es el uso de *roller-crimper*. Esta técnica genera, sobre la calle, un acolchado de material vegetal de lenta descomposición, que puede inhibir el crecimiento de malas hierbas estivales y ser especialmente efectiva en cubiertas con alta proporción de poáceas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes cubiertas vegetales y una cubierta espontánea, junto a dos métodos de finalización (picadora y *roller-crimper*) sobre las malas hierbas y la productividad del viñedo. Con este fin se estableció un ensayo en Pla de Manlleu (Alt Camp, Tarragona) en la campaña 2024-2025, en una parcela de viña de la variedad Garnacha blanca en un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron tres mezclas comerciales: C1-Cal Pauet (48 % poáceas, 48 % fabáceas y 4 % brasicáceas), C2-Battle (72 % poáceas y 28 % fabáceas) y C3-Rocalba (60 % poáceas, 31 % fabáceas, 6 % brasicáceas y 3 % boragináceas). Las cubiertas sembradas produjeron, antes de su finalización, mayor biomasa que la cubierta espontánea. C1-Cal Pauet y C2-Battle alcanzaron un mayor recubrimiento del suelo y proporcionaron el mejor control de malas hierbas primaverales. Tras la finalización, los restos vegetales de las cubiertas depositados sobre el suelo redujeron la presencia de malas hierbas estivales, sin diferencias entre la picadora y el *roller-crimper*. En las condiciones de este ensayo, las cubiertas vegetales no afectaron al rendimiento del viñedo.

Palabras clave: *Vitis vinifera*, interlínea, secano, rodillo-cuchilla, mezcla de especies.

The establishment of cover crops is a management practice that can improve the sustainability of rainfed Mediterranean vineyards. Cover crops can suppress weeds, reducing the need for tillage while promoting soil properties. Their effects on

weeds and the crop depend on species composition, biomass production, soil cover, and the timing and method of termination. In terms of timing, termination should avoid competition with the grapevine. Regarding the termination method, one promising but still scarcely adopted technique in vineyards is the use of a roller-crimper. This method creates a slowly decomposing mulch in the inter-row, which may suppress summer weeds and could be particularly effective when cover crops contain a high proportion of grasses. The aim of this study was to evaluate the effects of different sown cover crop mixtures and spontaneous vegetation with two termination methods (shredding and roller-crimper), on weed suppression and vineyard productivity. A field experiment was established in Pla de Manlleu (Tarragona, Spain) during the 2024-2025 growing season in a cv. Garnacha Blanca vineyard, using a randomized complete block design with three replicates. Three commercial cover crop mixtures were evaluated: C1-Cal Pauet (48% grasses, 48% legumes, and 4% brassicas), C2-Battle (72% grasses and 28% legumes), and C3-Rocalba (60% grasses, 31% legumes, 6% brassicas, and 3% borages). Before termination, the sown cover crops produced greater biomass than the spontaneous vegetation. C1-Cal Pauet and C2-Battle achieved greater soil cover and provided the most effective control of spring weeds. Following termination, the sown cover crops reduced the abundance of summer weeds, with no differences between shredding and the roller-crimper. Under the conditions of this study, cover crops did not affect vineyard yield.

Keywords: *Vitis vinifera*, inter-row, rain-fed, roller-crimper, species mixture.

1. Introducción

Aproximadamente el 50% de los viñedos de Cataluña se manejan bajo producción ecológica (CCPAE, 2022). El manejo del suelo en estos viñedos se realiza mediante laboreo con el fin de eliminar las malas hierbas y evitar su competencia por agua y nutrientes. Estas prácticas, tanto profundas como superficiales, pueden favorecer la penetración radicular de la vid y la infiltración de agua, pero también conllevan efectos adversos como un aumento de la erosión, la degradación del suelo y la disminución de la materia orgánica (Glover et al., 2000; Ibáñez Pascual, 2015; Smith et al., 2008). Desde hace algunos años, una de las principales alternativas planteadas para el manejo del suelo en viñedos es el establecimiento de cubiertas vegetales (Recasens et al., 2023). Diversos estudios han demostrado sus beneficios agronómicos y medioambientales. Entre ellos destacan el incremento de la materia orgánica, la mejora de la estructura del suelo y la reducción de la erosión, la disminución de la emergencia de malas hierbas y el incremento de la biodiversidad. Sin embargo, también implican ciertos riesgos, especialmente la competencia por agua y nutrientes con las vides, así como un incremento del riesgo de heladas primaverales (Cabrera-Pérez et al., 2026; Guerra & Steenwerth, 2012). Según su origen, las cubiertas vegetales pueden clasificarse en espontáneas o sembradas. Dentro de las cubiertas sembradas pueden distinguirse cubiertas anuales o plurianuales, así como diferentes composiciones específicas. La inclusión conjunta de poáceas y fabáceas en mezclas de cubiertas vegetales responde a la complementariedad entre ambos grupos. Mientras las poáceas suelen incrementar la competencia por agua y nitrógeno, reduciendo el vigor vegetativo, las fabáceas contribuyen al aporte de nitrógeno mediante fijación biológica y al mantenimiento de la fertilidad del suelo, a la vez que suelen ser menos competitivas (Muscas et al., 2017; Pardini et al., 2002). Un aspecto clave para evitar los efectos competitivos de la cubierta con la vid es el momento de finalización. La finalización precoz de la cubierta (marzo o abril), mediante segadora o picadora, permite evitar procesos de competencia con la vid. Una alternativa es la finalización mediante el roller-crimper (Cabrera-Pérez et al., 2024). Este implemento aplasta la cubierta formando una capa de residuos vegetales de lenta descomposición sobre el suelo que dificulta la emergencia de malas hierbas y favorece la incorporación de materia orgánica. Sin embargo, esta técnica se ha aplicado hasta ahora principalmente en viñedos de regadío y se desconoce su adecuación en escenarios de secano. En este contexto, el objetivo del trabajo fue evaluar, en un viñedo mediterráneo de secano, el efecto de diferentes mezclas de cubiertas vegetales (sembradas y espontáneas) y métodos de finalización en la interlínea, sobre el control de malas hierbas y su efecto sobre el rendimiento del viñedo.

2. Material y métodos

El ensayo se estableció durante la campaña 2024-2025 en un viñedo ecológico de secano (*Vitis vinifera* L., Variedad Garnacha blanca) localizado en Pla de Manlleu (Alt Camp, Tarragona), con calles de 2,8 m de anchura y una distancia entre cepas de 1,5 m. El suelo del ensayo presentó textura franco-arcillosa y carácter fuertemente calcáreo (tabla 1). El diseño experimental consistió en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Cada calle se dividió en cuatro parcelas, correspondientes a tres cubiertas vegetales sembradas y una cubierta espontánea. Además, se compararon dos métodos de finalización de la cubierta vegetal, picadora y roller-crimper. Cada método se aplicó longitudinalmente a lo largo de una calle completa, en calles contiguas. Las parcelas situadas a ambos lados de la fila presentaban el mismo tipo de cubierta vegetal.

Tabla 1. Características físicoquímicas del suelo en la parcela de viñedo de Pla de Manlleu.

TEXTURA (%)							
Arena	Limo	Arcilla	pH	MO (%)	N total (%)	P (mg kg ⁻¹)	CaCO ₃ eq. (%)
28	37	35	8,6	2,2	0,25	5,6	47

Las cubiertas vegetales fueron sembradas el 10 de diciembre de 2024 y presentaron composiciones y dosis de siembra diferentes. La mezcla C1-Cal Pauet estuvo compuesta por un 48 % de poáceas, un 48 % de fabáceas y un 4 % de brasicáceas, y se sembró a una dosis de 120 kg ha⁻¹. La mezcla C2-Battle presentó un 72 % de poáceas y un 28 % de fabáceas, con una dosis de siembra de 70 kg ha⁻¹. Finalmente, la mezcla C3-Rocalba estuvo formada por un 60 % de poáceas, un 31 % de fabáceas, un 6 % de brasicáceas y un 3 % de boragináceas, sembrándose a 40 kg ha⁻¹. De manera periódica, en cada parcela y tipo de cubierta, se estimó, en cuatro cuadros de 0,5 m × 0,5 m, el recubrimiento protagonizado por las especies de cada familia botánica y por las malas hierbas. También se estimó la biomasa aérea de todas las cubiertas vegetales y malas hierbas el 30 de abril mediante cuadros de muestreo de 0,5 m × 0,5 m. La biomasa de las cubiertas sembradas se separó por familias botánicas. La finalización de las cubiertas se realizó el 30 de mayo mediante roller-crimper o picadora, según el tratamiento. Posteriormente, el 21 de julio, se evaluó el recubrimiento del acolchado generado tras la finalización de la cubierta, así como el porcentaje de superficie de suelo desnudo y el recubrimiento por parte de malas hierbas estivales. Finalmente, se determinó el rendimiento (peso uvas por cepa y número de racimos) del viñedo en el momento de la vendimia.

3. Resultados y discusión

Las cubiertas vegetales sembradas (C1-Cal Pauet, C2-Battle y C3-Rocalba) produjeron, en primavera, una biomasa significativamente superior que la cubierta espontánea. El recubrimiento del suelo también fue significativamente mayor en C1-Cal Pauet y C2-Battle, mientras que C3-Rocalba no difirió de la cubierta espontánea (tabla 2). C2-Battle presentó la mayor producción de biomasa, aunque sin diferencias significativas respecto a C1-Cal Pauet, y C3-Rocalba los valores más bajos entre las cubiertas sembradas. Asimismo, se observó que C1-Cal Pauet y C2-Battle fueron las cubiertas que suprimieron en mayor medida las malas hierbas primaverales (tabla 2). Aunque ambas presentaron un control similar, alcanzaron características diferentes en primavera (30 de abril) antes de su finalización: C1-Cal Pauet logró un mayor recubrimiento del suelo, mientras que C2-Battle produjo una mayor biomasa. Estos resultados sugieren que tanto un elevado recubrimiento del suelo como una alta producción de biomasa

pueden contribuir a incrementar la capacidad competitiva de las cubiertas frente a las malas hierbas. Tanto la producción de biomasa como el recubrimiento del suelo durante el ciclo de crecimiento de las cubiertas constituyen objetivos agronómicos clave, ya que aumentan la competencia por la luz, el agua y los nutrientes frente a las malas hierbas y limitan su crecimiento. Además, tras la finalización de la cubierta, sus residuos forman un acolchado orgánico que actúa como barrera física frente a la emergencia de nuevas plántulas y reduce la radiación solar que alcanza la superficie del suelo, prolongando así el efecto supresor sobre las malas hierbas.

Tabla 2. Biomasa en el mes de abril de las cubiertas ensayadas. Las diferencias entre tratamientos se consideraron estadísticamente significativas cuando $P < 0,05$.

TIPO DE CUBIERTA	BIOMASA CUBIERTA (G/M ²)		SE	RECUBRIMIENTO DEL SUELO (%)		SE	BIOMASA MALAS HIERBAS (G/M ²)		SE
C1 – Cal Pauet	354	bc	28,7	65,3	a	2,85	3,53	c	1,81
C2 – Batlle	434	c	41,9	53,3	ab	2,96	3,52	c	2,36
C3 – Rocalba	293	b	30,1	42,5	bc	2,95	40,1	b	25,8
C4 – Espontánea	79,4	a	20,4	24,9	c	3,7	79,4	a	20,4

En la figura 1 se muestra el recubrimiento de malas hierbas el 21 de julio, aproximadamente dos meses después de la finalización de las cubiertas realizada el 30 de mayo. Las cubiertas C1-Cal Pauet y C2-Batlle, que produjeron mayor biomasa y recubrimiento del suelo en primavera, fueron también las que presentaron un menor recubrimiento de malas hierbas estivales (figura 1a). En cambio, el método de finalización (picadora o *roller-crimper*) no influyó sobre el recubrimiento de malas hierbas (figura 1b), ni se detectó una interacción significativa entre el tipo de cubierta y el método de finalización.

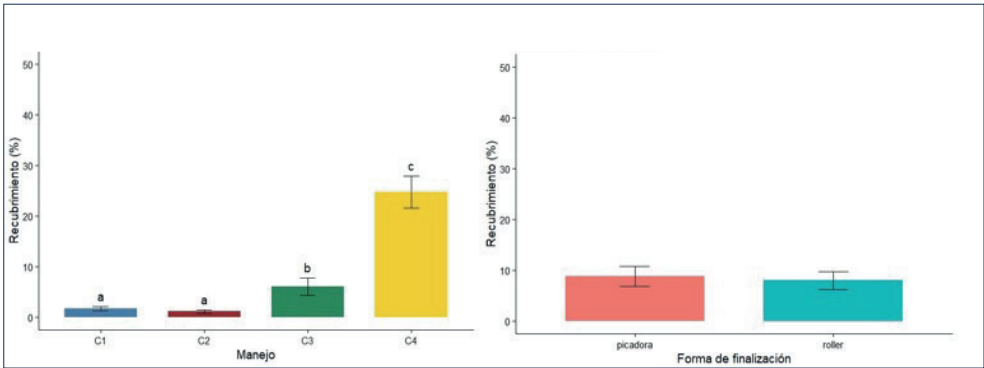


Figura 1. Recubrimiento (%) de malas hierbas en julio según (a) el tipo de cubierta vegetal y (b) el método de finalización. Las diferencias entre tratamientos se consideraron estadísticamente significativas cuando $P < 0,05$.

El método de finalización de la cubierta no tuvo un efecto significativo sobre el recubrimiento de malas hierbas, ya que no se observaron diferencias entre los tratamientos. Cabrera-Pérez *et al.* (2024) describieron, en viñedos de regadío, una mayor eficacia del *roller-crimper* frente a la picadora para la supresión de malas hierbas estivales, atribuida a una mayor persistencia del acolchado vegetal. No obstante,

dicho efecto no fue observado en el presente ensayo, posiblemente debido a no haberse generado una cantidad de biomasa suficiente para alcanzar su efecto de aplastado. Los resultados sugieren que la capacidad supresora de las cubiertas vegetales estuvo asociada principalmente a su capacidad para generar una elevada biomasa y un elevado recubrimiento del suelo, más que a su composición específica. Aunque la cubierta con una mayor proporción de poáceas podría favorecer una mayor persistencia del residuo tras su finalización, este efecto no se observó bajo las condiciones del ensayo. En conjunto, estos resultados resaltan la importancia de seleccionar cubiertas capaces de producir abundante biomasa y proporcionar un elevado recubrimiento del suelo en condiciones mediterráneas de secano como estrategia agroecológica para el manejo de malas hierbas.

4. Conclusiones

Las cubiertas vegetales sembradas produjeron una mayor biomasa y un mayor recubrimiento del suelo que la cubierta espontánea, lo que se asoció con una menor presencia de malas hierbas tanto en primavera como en verano. Entre las cubiertas sembradas, la eficacia supresora no estuvo determinada por su composición específica, sino por su capacidad para alcanzar un elevado desarrollo vegetativo, reflejado en una mayor producción de biomasa y/o un mayor recubrimiento del suelo. En cuanto al método de finalización, no se observaron diferencias entre la picadora y el *roller-crimper* en las condiciones evaluadas durante esta campaña. De forma preliminar, los resultados sugieren que, en viñedos mediterráneos de secano, el uso de cubiertas vegetales sembradas constituye una estrategia agroecológica adecuada para el manejo de malas hierbas, siendo recomendable priorizar aquellas cubiertas vegetales capaces de generar un rápido desarrollo durante el invierno y la primavera.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Grupo operativo CARBON-FLOW financiado por el DARPA del Gobierno Catalán. Los autores agradecen a María Casamitjana (técnica del grupo de investigación GREM), por su colaboración en el desarrollo del ensayo. El primer autor contó con un contrato predoctoral AGAUR FIS-DUR.

Referencias

CABRERA-PÉREZ C, LLORENS-CALVERAS J, ESCOLÀ À, BARAIBAR B, TORRES-VIÑALS M, TORRES-MACZASSEK M & RECASENS J (2026) Soil management in organic rainfed vineyards in the Penedès region (Catalonia, NE Spain) with cover crops and mulches. Effects on weed flora and vine vigor. *Frontiers in Agronomy*, 8, 1759319.

CABRERA-PÉREZ C, ROYO-ESNAL A, CATALÀ B, BARAIBAR B & RECASENS J (2024) Cover crops terminated with roller-crimper to manage *Cynodon dactylon* and other weeds in vineyards. *Pest Management Science*, 80, 2162-2169.

CCPAE (2022) Recull d'estadístiques del sector ecològic a Catalunya 2021 i evolució 2020-2021. Disponible en: <https://www.ccpae.org/index> [Consultado el 12 enero 2024].

GLOVER JD, REGANOLD JP & ANDREWS PK (2000) Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 80, 29-45.

GUERRA B & STEENWERTH K (2012) Influence of floor management technique on grapevine growth, disease pressure, and juice and wine composition: A review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63, 149-164.

IBÁÑEZ PASCUAL S (2015) Mantenimiento del suelo en el viñedo mediante cubiertas vegetales: Aspectos generales y experiencias. Logroño: Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente.

MUSCAS E, COCCO A, MERCENARO L, CABRAS M, LENTINI A, PORQUEDDU C & NIEDDU G (2017) Effects of vineyard floor cover crops on grapevine vigor, yield, and fruit quality, and the development of the vine mealybug under a Mediterranean climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237, 203-212.

PARDINI A, FAIELLO C, SNOWBALL R, MANCUSO S & LONGHI F (2002) Cover crop species and their management in vineyards and olive groves. *Advances in Horticultural Science*, 16, 1000-1010.

RECASENS J, CABRERA C & BARAIBAR B (2023) Cobertes vegetals en vinya. Implicacions agronòmiques i mediambientals. Lleida: Universitat de Lleida.

SMITH RG, GROSS KL & ROBERTSON GP (2008) Effects of crop diversity on agroecosystem function: Crop yield response. *Ecosystems*, 11, 355-366.

O3. Influencia de diferentes estrategias de manejo de la flora arvense sobre la composición foliar de *Solanum lycopersicum* L., en el proyecto AGROSUS

O3. Influence of different weed management strategies on the foliar composition of tomato within the AGROSUS project

GONZÁLEZ-GARCÍA E^{1,2}, VIEITES-ÁLVAREZ Y^{1,2}, LÓPEZ-GONZÁLEZ D^{1,2}, TORRES-PAGÁN N³, VERDEGUER M³, SÁNCHEZ-MOREIRAS AM^{1,2}

¹Departamento de Biología Vegetal e Ciencias do Solo, Facultade de Biología/Universidade de Vigo, Vigo, España; ²Instituto de Agroecología e Alimentación (IAA)/Universidade de Vigo, Ourense, España; ³Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universitat Politècnica de València, Valencia, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29261

Email (por orden de autoría): eva.gonzalez.garcia2@uvigo.gal; yedra.vieites.alvarez@uvigo.gal; davidlopez@uvigo.gal; natorpa@upv.es; merversa@eaf.upv.es; adela@uvigo.gal

La adopción de sistemas agroecológicos en la producción hortícola se plantea como estrategia para mejorar la sostenibilidad y favorecer los procesos ecológicos del suelo. Este trabajo evaluó el efecto de distintos sistemas de manejo de la flora arvense sobre la composición mineral foliar del tomate en un campo en término municipal de Meliana, provincia de Valencia, España. Cinco combinaciones de medidas de manejo fueron ensayadas: (1) rotación de cultivos, herbicida y control mecánico (CONV1); (2) rotación de cultivos, acolchado de plástico negro y control mecánico (CONV2); (3) rotación de cultivos, film biodegradable y control mecánico (AGRO1); (4) rotación de cultivos, acolchado de paja de arroz y control mecánico (AGRO2); y (5) rotación con acolchado de paja de maíz y control mecánico (AGRO3), con cinco repeticiones por tratamiento. Durante el ciclo de cultivo, se recolectaron hojas, que se secaron, molieron y analizaron mediante ICP-OES y EA-IRMS para determinar la concentración de B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P y Zn, así como las relaciones isotópicas y el contenido de C y N. El uso de herbicida se asoció a estrés fisiológico, evidenciado por valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos, mayores concentraciones de Ca y Mg, que podrían deberse a un efecto de concentración por menor crecimiento, y reducciones de N, P y K por menor absorción y translocación. Los micronutrientes mostraron respuestas diferenciadas: Fe y Zn aumentaron en el tratamiento con herbicida (CONV1), el B disminuyó en sistemas con acolchados y el Cu aumentó en el plástico negro. En conjunto, la nutrición mineral del cultivo varió según el manejo probablemente debido a mecanismos fisiológicos y edáficos específicos.

Palabras clave: Agroecología, tomate, flora arvense, acolchados orgánicos, análisis elemental.

The adoption of agroecological systems in horticultural production is proposed as a strategy to improve sustainability and enhance soil ecological processes. This study evaluated the effect of different weed management systems on the foliar mineral composition of tomato under field conditions in Valencia, Spain. Five treatments were established: (1) crop rotation, mechanical control and herbicides (CONV1); (2) crop rotation with black plastic mulch and mechanical control (CONV2); (3) crop rotation with biodegradable biofilm and mechanical control (AGRO1); (4) crop rotation with rice straw mulch and mechanical control (AGRO2); and (5) crop rotation with maize straw mulch and mechanical control (AGRO3), with

five replicates per treatment. During the growing cycle, leaves were collected, dried, ground, and analyzed using ICP-OES and EA-IRMS to determine B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P and Zn concentrations, as well as isotopic ratios and C and N content. Herbicide use was associated with physiological stress, evidenced by less negative $\delta^{13}\text{C}$ values, higher Ca and Mg concentrations likely due to a concentration effect from reduced growth, and decreases in N, P and K due to reduced uptake and translocation. Micronutrients showed differentiated responses: Fe and Zn increased in the herbicide treatment, B decreased in mulched systems, and Cu increased under black plastic mulch. Overall, crop mineral nutrition varied with management, likely due to specific physiological and edaphic mechanisms.

Keywords: Agroecology, tomato, weed flora, organic mulches, elemental analysis.

1. Introducción

La intensificación agrícola de las últimas décadas, basada en un mayor uso de fertilizantes minerales y herbicidas para maximizar la productividad, ha generado preocupación por la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad funcional y la contaminación de los agroecosistemas. Como alternativa, la agroecología propone integrar principios ecológicos para optimizar procesos naturales y reducir la dependencia de insumos químicos (Kumari *et al.*, 2025).

En sistemas hortícolas, el manejo de la flora arvense es un componente clave, ya que esta vegetación compete con los cultivos por agua, luz y nutrientes y puede afectar a la estructura y a la actividad biológica del suelo. Aunque el manejo tradicionalmente se ha basado en el uso de herbicidas, en los últimos años han cobrado importancia estrategias como el control mecánico combinado con acolchados plásticos, orgánicos o biodegradables, que pueden modificar tanto la dinámica de las especies arvense como las condiciones edáficas y la absorción de nutrientes por el cultivo (Scavo & Mauromicale, 2020). Estos cambios pueden reflejarse en la nutrición mineral de las plantas, por lo que la composición foliar es una herramienta muy útil para evaluar el estado nutricional. Además, el análisis de los isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) aporta información sobre eficiencia en el uso del agua, fuentes de nitrógeno y procesos fisiológicos del crecimiento vegetal (Sahu *et al.*, 2020; Koch *et al.*, 2020).

En tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivo de gran importancia mundial y especialmente relevante en la región mediterránea, resulta de interés conocer cómo distintas estrategias de manejo de flora arvense afectan a la nutrición mineral y a la fisiología vegetal. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta en la composición mineral foliar y las relaciones isotópicas tras la implementación de medidas agroecológicas en un campo con manejo convencional de tomate en Meliana, Valencia, España.

2. Material y métodos

Durante el ciclo de cultivo primavera-verano de tomate en 2024, se establecieron cinco tratamientos en Verdures Gorrito S.L, en el término municipal de Meliana, provincia de Valencia, España: CONV1 (rotación de cultivos, herbicida y control mecánico), CONV2 (rotación de cultivos con acolchado de plástico negro y control mecánico), AGRO1 (rotación de cultivos con biofilm biodegradable y control mecánico), AGRO2 (rotación de cultivos con acolchado de paja de arroz y control mecánico) y AGRO3 (rotación de cultivos con acolchado de paja de maíz y control mecánico). Cada tratamiento contó con cinco réplicas, distribuidas aleatoriamente en parcelas independientes dentro del mismo campo.

En el momento de máximo desarrollo vegetativo del cultivo, se recolectaron hojas sanas de cada parcela. Estas se secaron a 60°C durante el tiempo necesario hasta obtener un peso seco estable, se molieron hasta obtener un polvo homogéneo y se enviaron a la Universidad de Vigo para su análisis.

2.1 Análisis elemental

Las muestras (100 mg) fueron digeridas en un microondas (Synthos 3000) con HNO_3 (69 %) y H_2O_2 (30 %), siguiendo un programa de calentamiento hasta 150°C y posterior enfriamiento. El contenido obtenido se aforó a 25 mL con agua Milli-Q.

La determinación de elementos (B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, P y Zn) se realizó mediante ICP-OES (iCAP PRO, Thermo Fisher Scientific). Se utilizaron patrones multielementales y un patrón monoelemental de fósforo (P), con indio (In) como estándar interno. La recuperación analítica fue siempre superior al 88 %.

2.2 Discriminación isotópica

Se analizó 1 mg de muestra mediante EA-IRMS (analizador elemental Thermo Scientific Flash acoplado a un espectrómetro de masas Thermo Scientific MAT 253) para determinar las razones isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, además de los porcentajes de C y N. La calibración se realizó con estándares de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, Viena, Austria), incluyendo controles cada 10 muestras.

2.3 Análisis estadístico de resultados

Los datos se analizaron utilizando el software R (RStudio 2026.06.0+242) comparando el tratamiento con herbicida frente a no herbicida. Se evaluó la normalidad y la homogeneidad de varianzas de cada variable. Según los supuestos obtenidos se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA), seguido de una prueba post hoc de Tukey HSD para las comparaciones múltiples o Kruskal-Wallis con pruebas de Wilcoxon. El nivel de significación fue $\alpha = 0,05$.

3. Resultados y discusión

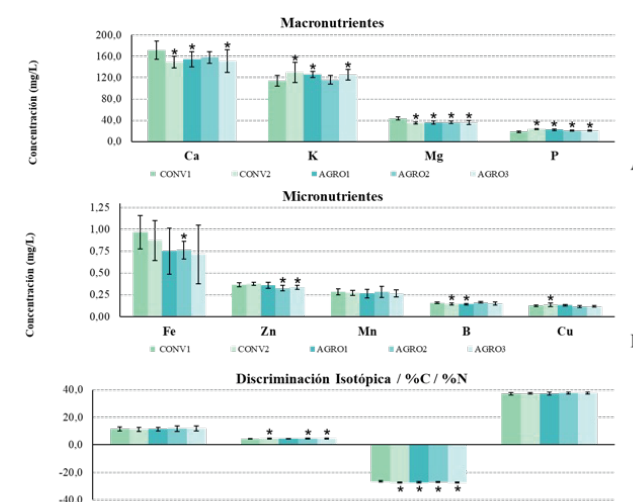


Figura 1. Resultados del análisis elemental, discriminación isotópica y contenido porcentual de C y N, representados mediante gráficos de barras con la media de los datos y sus correspondientes barras de error (desviación estándar). (A) Concentración foliar de macronutrientes (Ca, K, Mg y P), expresada en mg/L. (B) Concentración foliar de micronutrientes (Fe, Zn, Mn, B y Cu), expresada en mg/L. (C) Discriminación isotópica de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, junto con el porcentaje de C y N. Las diferencias significativas entre CONV1 y el resto de los tratamientos se indican con asteriscos (* $p < 0,05$).

El tratamiento con herbicida (CONV1) presentó una mayor concentración foliar de Ca y Mg que el resto de los tratamientos (figura 1A). Además, mostró valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos (figura 1C), lo que en especies C3 como el tomate se asocia con menor conductancia estomática y estrés fisiológico inducido por el herbicida (Hubick & Farquhar, 1989). Dado que el Ca se transporta principalmente por el xilema y depende del flujo transpiratorio, una reducción de la apertura estomática no sería consistente con un mayor transporte hacia las hojas (Hocking *et al.*, 2016). Por ello, una explicación más probable sería un efecto de concentración derivado de una menor producción de biomasa, de modo que los nutrientes acumulados se distribuyen en menos tejido y aumenta su concentración foliar (Marschner, 2011). Este efecto se ve reforzado por el incremento simultáneo de Mg, un elemento con mayor movilidad que el Ca, lo que sugiere un efecto general de estrés fisiológico sobre el crecimiento, más que un cambio específico en el transporte de un nutriente (Marschner, 2011). Además, el herbicida pudo reducir la actividad de órganos sumidero como frutos o brotes jóvenes, favoreciendo la acumulación relativa de estos elementos en las hojas. En conjunto, los resultados indican que el incremento de Ca y Mg foliar podría estar relacionado con estrés fisiológico, alteraciones en el crecimiento y en la redistribución interna de nutrientes, más que con una mejora en su absorción.

En cuanto a los valores observados de N, P y K, fueron menores en las plantas de tomate tratadas con herbicida en comparación con el resto de los tratamientos (figura 1A y 1C). Este resultado podría explicarse por una reducción en la absorción y translocación de nutrientes inducida por el estrés provocado por el herbicida. Otros estudios han descrito efectos similares. Por ejemplo, en Tyagi *et al.* (2022) se evaluó el efecto combinado de niveles de fertilización y estrategias de control de malas hierbas sobre la absorción de N, P y K en cultivo de mostaza. Los resultados mostraron que la mayor absorción de nutrientes por el cultivo se obtuvo en parcelas con control de flora arvense mediante deshierbe manual, frente a herbicidas.

Los micronutrientes Fe y Zn mostraron mayores concentraciones en el tratamiento CONV1 (figura 1B). En este caso, el incremento podría no estar asociado directamente a una respuesta de estrés fisiológico, sino a una mayor disponibilidad de estos elementos en el suelo derivada del uso de herbicidas. La acumulación de micronutrientes y cambios en sus concentraciones edáficas tras la aplicación de herbicidas ha sido descrita previamente en otros estudios, como el realizado por Sebiomo *et al.* (2012).

Por otro lado, las menores concentraciones foliares de B observadas en los tratamientos con acolchado plástico negro (CONV2) y film biodegradable (AGRO1) (figura 1B), respecto al tratamiento con herbicida, sugieren que este patrón estaría más relacionado con el efecto del acolchado que con el uso del herbicida. El B se transporta principalmente por xilema y depende del flujo de agua, por lo que cambios en la humedad del suelo, temperatura radicular y transpiración pueden modificar su concentración foliar (Li *et al.*, 2023). Además, los acolchados plásticos y biodegradables reducen la evaporación del suelo y alteran el régimen térmico e hídrico de la rizosfera, lo que puede modificar la absorción y movilidad de nutrientes (Kasirajan & Ngouajio, 2012). Asimismo, no puede descartarse un efecto dilución derivado de un mayor crecimiento vegetal bajo estos sistemas de manejo, de forma que el B absorbido se distribuya en una mayor biomasa y disminuya su concentración foliar relativa.

Este comportamiento contrasta con lo observado para el Cu (figura 1B), cuya concentración foliar fue mayor únicamente en el tratamiento con acolchado de plástico negro. El Cu es un micronutriente fuertemente condicionado por factores edáficos como el pH, la materia orgánica y las condiciones redox, por lo que las modificaciones del suelo inducidas por este tipo de acolchado podrían haber aumentado su disponibilidad y absorción (Marschner, 2011). El efecto observado podría explicarse por el impacto más intenso del plástico negro sobre el microclima del suelo, al incrementar la temperatura y reducir la evaporación, lo que estabiliza la humedad, favorece la actividad microbiana y puede modificar los procesos de complejación y liberación del Cu, aumentando su fracción disponible para la

planta (Kasirajan & Ngouajio, 2012; Steinmetz *et al.*, 2016). En conjunto, los resultados sugieren que el aumento de Cu en CONV2 estaría relacionado con cambios específicos del microambiente del suelo inducidos por el acolchado de plástico negro, más que con efectos del herbicida o un patrón general común a todos los sistemas de cobertura.

4. Conclusiones

En conjunto, el herbicida se asoció a un patrón de estrés fisiológico, reflejado en valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos y mayores concentraciones de Ca y Mg por un posible efecto de concentración asociado a menor crecimiento, junto con menores niveles de N, P y K por reducida absorción y/o translocación. Los micronutrientes mostraron respuestas diferenciadas, con aumentos de Fe y Zn en CONV1, descensos de B en sistemas con acolchados y un incremento de Cu en el plástico negro. En general, la nutrición mineral del tomate varió según el sistema de manejo mediante mecanismos fisiológicos y edáficos específicos.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto europeo AGROSUS por la financiación del estudio, y al personal técnico del CACTI, especialmente a Rosa María Lomba Pérez, por el análisis elemental mediante ICP-OES.

Referencias

- HOCKING B, TYERMAN SD, BURTON RA & GILLIHAM M (2016) Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers in Plant Science*, 7, 569.
- HUBICK K & FARQUHAR G (1989) Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, 40, 503-537.
- KASIRAJAN S & NGOUAJIO M (2012) Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agronomy for sustainable development*, 32, 501-529.
- KOCH M, NAUMANN M, PAWELZIK E, GRANSEE A & THIEL H (2020) The importance of nutrient management for potato production Part I: Plant nutrition and yield. *Potato Research*, 63, 97-119.
- KUMARI M, SWATI & PRIYANKA K (2025) A Comprehensive Review on Sustainable Agricultural Intensification and Ecosystem Services. *Green Equilibrium: Deciphering Earth's Ecosystems for Sustainable Tomorrow*. Singapore: Springer Nature Singapore.
- LI S, YAN L, VENUSTE M, XU F, SHI L, WHITE PJ, WANG X & DING G (2023) A critical review of plant adaptation to environmental boron stress: Uptake, utilization, and interplay with other abiotic and biotic factors. *Chemosphere*, 338, 139474.
- MARSCHNER H (2011) *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. EEUU: Academic Press, EEUU.
- SAHU M, GUPTA A & CP MN (2020) Role of micronutrients in vegetable production: a Review. *International Journal of Chemical Studies*, 8, 1984-1986.
- SCAVO A & MAUROMICALE G (2020) Integrated weed management in herbaceous field crops. *Agronomy*, 10, 466.
- SEBIOMO A, OGUNDERO VW & BANKOLE SA (2012) The impact of four herbicides on soil minerals. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 4, 617-624.

STEINMETZ Z, WOLLMANN C, SCHAEFER M, BUCHMANN C, DAVID J, TROGER J, MUÑOZ K, FROR O & SCHAUMANN GE (2016) Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the total environment*, 550, 690-705.

TYAGI S, KUMAR A, PAUL SC & ACHARYA SS (2022) N, P and K uptake by crop and weed as influenced by nutrient levels and weed management in mustard. *International Journal of Plant and Soil Science*, 34, 420-432.

O4. Cobertura y riqueza de arvenses en cereal de invierno entre 2005 y 2025 en Aragón

O4. Arable weed cover and richness in winter cereal between 2005 and 2025 in Aragón

CIRUJEDA A^{1,2}, PARDO G^{1,2}, ZARAGOZA C¹, PUEYO J¹, AIBAR J², CORDEAU S³, FRIED G⁴, ADEUX G³

¹Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, España; ²Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, CITA Universidad de Zaragoza, España; ³Université de Bourgogne Europe, Institut Agro Dijon, INRAE, UMR Agroécologie, Dijon, Francia; ⁴ANSES, Laboratoire de la Santé des Végétaux, Unité Entomologie & Botanique, Montpellier, Francia

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29262

Email (por orden de autoría): acirujeda@aragon.es; gpardos@aragon.es; jpueyo@aragon.es; stephane.cordeau@inrae.fr; guillaume.fried@anses.fr; guillaume.adeux@inrae.fr

Se han llevado a cabo prospecciones de arvenses en campos de cereal de invierno en las principales zonas cerealistas de Aragón, entre abril y junio, en dos periodos. El primero (P1) comprendió los años 2005 a 2013, el segundo (P2), 2021 a 2025. Se examinaron los mismos 211 campos en ambos periodos, salvo cambio de cultivo en el segundo, que se substituyó por otro cercano. Cada campo fue recorrido en zig-zag por al menos 3 personas cubriendo alrededor de una hectárea, se identificaron las especies arvenses y se estimó visualmente su cobertura; con estos datos se calculó la riqueza. Además del periodo se tuvieron en cuenta otros factores: altitud, secano o regadío, si había indicios de aplicación de herbicidas y el tipo de laboreo. Con esta información se realizó un análisis de Modelos Lineales Mixtos Generalizados (GLLM). Los resultados preliminares muestran que el periodo de prospección solo tuvo una influencia significativa sobre la cobertura total de arvenses (26% en P1, 18% en P2) pero no sobre la riqueza. Cuando se aplicaron herbicidas la riqueza de arvenses y la cobertura total fueron menores (9.7 versus 16.6 y 17 versus 26%, respectivamente). La riqueza de las plantas arvenses y su cobertura se incrementaron en un 29% y un 72%, respectivamente, a lo largo del gradiente altitudinal (100-1400 m). Se encontró mayor riqueza en situaciones de siembra directa en secano (14.5) y laboreo en secano (13.0) frente a laboreo y riego (10.5). Como conclusión preliminar se puede decir que la cobertura de las arvenses ha disminuido ligeramente entre los periodos estudiados, pero que, en ambos, la presencia y cobertura de las arvenses está afectada por el uso de herbicidas, la altitud, el laboreo y el regadío. Un análisis más detallado podrá definir mejor las especies asociadas a cada factor estudiado.

Palabras clave: Evolución de flora, manejo, herbicidas, laboreo, riego, altitud.

Arable weed surveys have been carried out in winter cereal fields in the main cereal production areas of the Aragón region between April and June in two periods. The first period (P1) included years 2005 to 2013, the second (P2), 2021 to 2025. The same 211 fields were surveyed in both periods excepting fields where in P2 a different crop was grown and substituted by a nearby field. Each plot was browsed in zig-zag by at least 3 trained persons covering around one ha, each species was identified and a visual cover was assigned; richness was estimated with these data. Apart from the period other

factors were taken into account: altitude, rainfed or irrigated, type of soil tillage and if there were evidences of herbicide application. With this information a Generalized Mixed Lineal Model Analysis (GLLM) was performed. The preliminary results show that the survey period had only a significant influence on the total weed cover (26% in P1, 18% in P2) but not on richness. When herbicides were used, arable weed richness and total cover were lower (9.7 versus 16.6 and 17 versus 26%, respectively). Plant richness and cover increased 29% and 72% respectively following the altitudinal gradient (100-1400 m). Higher richness was found for no-till in rainfed fields (14.5) and tilled fields in rainfed situation (10.5). As a preliminary conclusion it can be said that weed cover has diminished slightly between the two studied periods but in both of them presence and cover of weeds is affected by herbicide use, altitude, tillage and irrigation. A more detailed analysis will define better which are the species associated with each studied factor.

Keywords: Changes in weed flora, management, tillage, irrigation, altitude.

1. Introducción

Las técnicas agronómicas empleadas en agricultura se van modificando de forma poco predecible a lo largo del tiempo. En ocasiones los cambios son debidos a la aparición de nuevas técnicas (p.ej. a partir de los años 1920 con la introducción de tractores y arados de vertedera, a partir de 1950 con el uso de herbicidas o a partir de los años 1990-2000 con la aplicación masiva de purines de cerdos); en otras ocasiones los cambios son motivados por políticas agrarias (en Europa por la PAC) o por el encarecimiento y/o escasez de algunos insumos (como los fertilizantes a raíz de la invasión de Ucrania en 2022 o del gasóleo por la guerra con Irán en 2026). La flora arvense que se encuentra en una zona en un momento determinado es, por lo tanto, fruto del conjunto de técnicas de manejo utilizadas en ese tiempo, aunque también esté influenciada por las utilizadas en el pasado. Además, hay condicionantes edáficos, climáticos y geográficos, como lo son el tipo de suelo, la altitud o el relieve; este último condiciona el tamaño de las parcelas y el grado posible de mecanización. Otros aspectos sociales, como la intensidad de población de una zona o el régimen de tenencia de tierra, también condicionan el manejo de las parcelas, así como la adopción o no de las técnicas más dominantes en un momento determinado.

La flora arvense presente en una zona es la respuesta a medio y corto plazo a todos estos factores, incluidas las técnicas empleadas. Conocer las especies dominantes y las menos frecuentes y relacionarlas con las técnicas de manejo son informaciones necesarias para plantear tanto el control de las más perjudiciales como para promover las especies que puedan ser poco competitivas pero que puedan aportar funciones o servicios ecosistémicos relevantes para el agroecosistema.

A diferencia de otros países, en los que se llevan a cabo prospecciones planificadas periódicamente (p.ej. en Finlandia, Salonen *et al.*, 2023), en España existen pocos estudios que describan los cambios de la flora arvense en campos de cereal a lo largo del tiempo.

El objetivo de este trabajo es el de comparar algunos parámetros obtenidos de las prospecciones realizadas en las mismas parcelas en dos periodos de tiempo distintos (entre 10 y 20 años) en Aragón en campos de cereal de invierno en ambos periodos.

2. Material y métodos

2.1 Trabajo de campo

En este trabajo se presentan los resultados de 449 prospecciones, 227 hechas en los años 2005 y 2013 (período P1) y 222 realizadas entre los años 2021 y 2025 (período P2). Los campos seleccionados en P2 fueron los mismos que en P1, salvo en aquellos casos en los que ese campo se encontraba en barbecho, con un cultivo diferente a cereal de invierno o con otro uso (infraestructura, uso urbano o similar), en los que se escogió un campo lo más cercano posible al original.

Durante los meses de abril a junio se han prospectado campos de cereales de invierno entre final de ahijado hasta inicio de espigado del cultivo. En campo se han registrado todas las plantas arvenses presentes tras recorrerlo en zig-zag como mínimo tres personas entrenadas. Al finalizar el recorrido se ha asignado un valor consensuado de cobertura total de arvenses, así como de cada especie individual encontrada. Además, se han anotado los siguientes datos: coordenadas geográficas, tipo de laboreo (siembra directa o laboreo), especie cultivada, altura y cobertura de la especie cultivada y si había evidencias sobre el uso reciente de herbicidas (signos de fitotoxicidades en arvenses).

2.2 Procesado y análisis de datos

Para cada campo se buscó la información sobre la altitud (m.s.n.m.), superficie de la parcela (ha), se ha confirmado si la parcela estaba regada o no y se le asignó la provincia (Huesca, Zaragoza o Teruel) utilizando la información registrada en el Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) (SIGPAC, 2026). Los datos de los tratamientos herbicidas no están disponibles.

A partir de los datos de abundancia se ha calculado el índice de Shannon (H) y posteriormente e^H, obteniendo el número efectivo de especies asociado a Shannon, que representa el número de especies igualmente abundantes que producirían el mismo valor de diversidad observado.

El análisis estadístico se ha llevado a cabo utilizando R version 2.15.0 (R Core Development Team, 2019) mediante un modelo univariante. Los análisis se han realizado sobre la riqueza de especies de cada parcela y los datos de abundancia de cada especie y del total de arvenses. Para ello se han etiquetado los campos visitados en P1 y P2 de forma que se pudiera hacer una comparación por parejas y se han considerado los factores 1) provincia, 2) altitud, 3) uso evidente o no de herbicidas, 4) riego combinado con laboreo o siembra directa.

3. Resultados y discusión

En condiciones de secano se observa un incremento de campos gestionados en siembra directa en P2 comparado con P1 (tabla 1). También destaca un incremento en la detección de un uso evidente de herbicidas en postemergencia (H) en P2 comparado con P1, lo cual sugiere una intensificación del uso de herbicidas en P2.

Tabla 1. Número de campos visitados en los periodos P1 y P2 teniendo en cuenta algunas de sus características.

	P1	P2
Laboreo y secano	138	104
Siembra directa y secano	3	34
Laboreo y riego	86	84
HU	72	77
ZZA	131	122
TE	24	23
Riego en HU	5	4
Riego en ZZA	28	35
Riego en TE	0	0
Evidencias uso herbicidas de postemergencia	76	96
	Altitud media ± desv est	Rango altitud
HU	605 ± 163,5	322-1093
ZZA	414 ± 228,6	137-1104
TE	1101 ± 253,6	288-1390

En los párrafos que siguen, cuando se especifica que un parámetro es mayor **O menor a otro** nos referimos únicamente a diferencias estadísticamente significativas según el análisis univariante realizado siempre en el marco de la comparación por parejas.

En cuanto a la influencia de los parámetros estudiados sobre la cobertura total de especies arvenses se ha encontrado una mayor cobertura por arvenses en P1 que en P2 (tabla 2). La altitud también tuvo una fuerte influencia sobre la cobertura total, independientemente del período de muestreo, incrementándose un 72% entre los 100 y los 1400 m.s.n.m. La influencia de este mismo parámetro en la riqueza de especies fue de tendencia al alza con mayor altitud con un incremento del 29%, independientemente del momento de prospección. El efecto de la altitud en estos parámetros seguramente es el resultado de la combinación de varios factores asociados a la misma: por un lado la influencia de factores climáticos y edáficos como la temperatura, precipitación y distintos tipos de suelo, pero por otro lado el efecto de parámetros relacionados con la peor accesibilidad debido a la mayor pendiente, mayor distancia a núcleos de población, etc. los cuales generalmente (aunque no siempre) comportan una reducción en la intensidad del manejo (Cirujeda *et al.*, 2012).

Tabla 2. Medias marginales $\pm$ error estándar de los efectos en los que se han encontrado diferencias significativas en el análisis estadístico.

COBERTURA TOTAL DE ARVENSES (%)			
Uso de herbicidas	Si	Posiblemente	No
	16,7 $\pm$ 1,9	23,5 $\pm$ 2,29	26,1 $\pm$ 2,8
Muestreo	P1	P2	
	25,6 $\pm$ 2,72	18,4 $\pm$ 2,40	
RIQUEZA DE ESPECIES (NÚMERO)			
Provincia	Huesca	Zaragoza	Teruel
	10,3 $\pm$ 0,80	13,2 $\pm$ 0,82	14,6 $\pm$ 1,51
Uso de herbicidas	Si	Posiblemente	No
	9,7 $\pm$ 0,65	13,3 $\pm$ 0,79	16,6 $\pm$ 1,16
Combinación laboreo y riego	Laboreo secano	Siembra directa secano	Laboreo regadío
	13,0 $\pm$ 0,83	14,5 $\pm$ 1,23	10,5 $\pm$ 0,72
NÚMERO EFECTIVO DE ESPECIES (NÚMERO)			
Uso de herbicidas	Si	Posiblemente	No
	4,5 $\pm$ 0,31	5,2 $\pm$ 0,34	5,9 $\pm$ 0,47
Muestreo	P1	P2	
	5,0 $\pm$ 0,33	5,4 $\pm$ 0,36	

El factor *signos evidentes del uso de herbicidas* tuvo un impacto significativo sobre tres parámetros estudiados. Por un lado, independientemente del muestreo, la cobertura total de arvenses en campos H fue menor que en aquellos en los que no se apreciaban signos evidentes del uso de herbicidas (16,7% frente a 26,1%, tabla 2). En el mismo sentido se observó una menor riqueza de especies arvenses en campos H respecto a los que no fueron H (9,7 frente a 16,6 tabla 2). En tercer lugar, el número efectivo de especies fue mayor en campos sin H que en campos H (5,9 comparado con 4,5). Posibles factores que expliquen

estos datos serían la disminución de la intensidad del laboreo (Cirujeda *et al.*, 2025) y, en general, el aumento en el uso de herbicidas. Lógicamente estos factores están interrelacionados.

La provincia tuvo un efecto significativo sobre la riqueza de especies, encontrándose una riqueza mayor en Zaragoza y Teruel comparado con la observada en los campos muestreados en la provincia de Huesca.

El efecto sobre la cobertura total no fue estadísticamente significativo, pero muestra la tendencia de menor cobertura para Huesca ($P=0.09$) con unos valores de 25, 22 y 18% para los campos de las provincias de Teruel, Zaragoza y Huesca, respectivamente. Estos resultados podrían estar relacionados con un mayor rendimiento en muchas zonas de Huesca, relacionados con una mayor intensidad en el uso de insumos, como se desprende de encuestas realizadas a técnicos y agricultores (Cirujeda *et al.*, 2025). Cabe remarcar que el factor *provincia* engloba diferentes aspectos que pueden ser redundantes con otros parámetros, como el clima, tipo de suelo, etc. No obstante, también recoge actitudes locales en cuanto al manejo y otros aspectos que son difícil de cuantificar, por lo que se decidió incluirlo en el análisis y se destaca al haber resultado significativo.

El efecto del laboreo se reflejó en una mayor riqueza de arvenses en campos de secano labrados y no labrados (13,0 y 14,5, respectivamente) comparado con campos labrados en regadío (10,5). Lamentablemente no es posible comparar los efectos del regadío / secano y los del laboreo de forma individual sino solo de forma combinada, ya que en Aragón apenas se practica la siembra directa de cereal de invierno en regadío, salvo en algún caso excepcional. En algunas zonas muy intensivas se siembra maíz en siembra directa después de un cereal de invierno, pero normalmente los restos del maíz son enterrados mediante laboreo antes de la siembra del cereal de invierno.

También se ha observado una mayor riqueza en campos de secano comparado con los de regadío, independientemente de la provincia y de la época de muestreo, lo cual puede estar ligado al manejo más intensivo de los regadíos, en los que el uso de herbicidas es prácticamente seguro. Lo mismo se ha observado en campos a mayor altitud, en los que por varios motivos el grado de intensificación suele ser menor.

4. Conclusiones

La cobertura de arvenses ha disminuido ligeramente entre los períodos estudiados, pero en cada uno de los períodos la influencia del uso de herbicidas, de la altitud, el laboreo y el regadío son los factores más importantes que explican los cambios observados. Se considera necesario profundizar en el estudio de especies arvenses concretas para tratar de explicar su presencia según los factores disponibles.

5. Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de A.I. Marí en las prospecciones durante el período P1 y de M.A. Lorenzo para la obtención de los datos de tipos de suelo y de pH. Agradecemos el apoyo económico del proyecto Biodiversa dentro del Plan Complementario de Agroalimentación AGROALNEXT dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia financiado por la Unión Europea NextGenerationEU.

Referencias

CIRUJEDA A, AIBAR J & ZARAGOZA C (2012) Remarkable changes of weed species in Spanish cereal fields from 1976 to 2007. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 675-688. DOI 10.1007/s13593-011-0030-4.

CIRUJEDA A, PARDO G & AIBAR J (2025) Changes of the agronomic practices in rainfed winter cereal since 1970 in Aragón (Northeastern Spain): implications for the weed management. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 121, 114-135.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (2005) <https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/030769.html> (consultado el 17 de octubre de 2025).

R CORE DEVELOPMENT TEAM (2019) R: a language and environment for statistical computing. R Core Development Team, Vienna.

SALONEN J., JALLI H., MUOTILA A., NIEMI M., OJANEN H., RUUTTUNEN P. & HYVONEN T. (2023) Fifth survey on weed flora in spring cereals in Finland. Agriculture and Food Science, 32, 51-68. DOI: 10.23986/afsci.130009.

SIGPAC (2026) <https://sigpac.mapa.gob.es/fega/visor/> (consultado el 17 de octubre de 2025).

O5. Afinidad arvense y relevancia agronómica reflejan dimensiones funcionales distintas en la flora arvense ibérica

O5. Arable affinity and agronomic relevance reflect distinct functional dimensions in the Iberian arable flora

GARCÍA-GUERRA J¹

¹Tech4AGRO. Instituto de Ciencias Agrarias (ICA). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29263

Email: jose.g.guerra@csic.es

No todas las especies frecuentes en los cultivos tienen la misma relevancia agronómica. Por ello, los rasgos que favorecen su establecimiento y persistencia en los agroecosistemas no tendrían por qué coincidir con aquellos que contribuyen a su impacto potencial sobre el cultivo. En este trabajo se utilizó arvenSYS, un sistema de información funcional de la flora arvense ibérica, para evaluar si la afinidad arvense y la relevancia agronómica reflejan dimensiones funcionales distintas. Se analizaron seis rasgos funcionales relacionados con el tamaño vegetativo, la economía foliar y la fenología reproductiva, junto con dos variables integradas en arvenSYS: el grado de afinidad arvense, basado en la frecuencia de aparición en cultivos, y la alta relevancia agronómica, definida mediante un ranking bibliométrico construido a partir de literatura especializada de malherbiología. El incremento de afinidad arvense se asoció con estrategias foliares orientadas a una rápida adquisición de recursos, floraciones más tempranas y periodos reproductivos más prolongados. Sin embargo, dentro de las especies con máxima afinidad arvense, las especies de alta relevancia agronómica se diferenciaron principalmente por un mayor tamaño vegetativo, mayor área foliar y fenologías reproductivas más extensas, mientras que los rasgos relacionados con la economía foliar no mostraron señales consistentes. Estos resultados sugieren que la afinidad arvense y la relevancia agronómica capturan dimensiones funcionales parcialmente distintas dentro de la flora arvense ibérica: la primera estaría más vinculada a estrategias que favorecen el establecimiento y la persistencia en agroecosistemas, mientras que la segunda se asociaría principalmente con rasgos potencialmente relacionados con la capacidad competitiva.

Palabras clave: arvenSYS, flora arvense, rasgos funcionales, fenología, agroecosistemas.

Not all species frequently occurring in crops have the same agronomic relevance. Accordingly, the traits that favour their establishment and persistence in agroecosystems need not coincide with those contributing to their potential impact on the crop. In this study, arvenSYS, a functional information system for Iberian weed flora, was used to assess whether weed affinity and agronomic relevance reflect distinct functional dimensions. Six functional traits related to vegetative size, leaf economics and reproductive phenology were analysed, together with two variables integrated into arvenSYS: degree of weed affinity, based on frequency of occurrence in crops, and high agronomic relevance, defined through a bibliometric ranking constructed from specialised weed science literature. Increasing weed affinity was associated with leaf strategies oriented towards rapid resource acquisition, earlier flowering and longer reproductive periods. However, among species with maximum weed affinity, those of high agronomic relevance were mainly characterised by greater vegetative size, larger leaf area and more prolonged reproductive periods, whereas traits related to leaf economics showed no consistent patterns. These results suggest that weed

affinity and agronomic relevance capture partially distinct functional dimensions within Iberian weed flora: the former appears to be more closely linked to strategies that favour establishment and persistence in agroecosystems, whereas the latter is mainly associated with traits potentially related to competitive ability.

Keywords: *arvenSYS, arable flora, functional traits, weediness, phenology, agroecosystems.*

1. Introducción

Los agroecosistemas están sometidos a perturbaciones recurrentes asociadas al manejo agrícola y a cambios temporales en la disponibilidad de recursos. Desde una perspectiva funcional, estas condiciones pueden interpretarse como filtros ecológicos que favorecen especies con rasgos relacionados con estrategias oportunistas, rápida adquisición de recursos y fenologías ajustadas a las ventanas de manejo agrícola (Garnier & Navas, 2012). Como consecuencia, las especies más frecuentes en cultivos pueden compartir determinados síndromes funcionales asociados a la persistencia en ambientes perturbados. Sin embargo, la frecuencia de aparición de una especie en cultivos no implica necesariamente una mayor relevancia agronómica. Mientras algunas especies aparecen regularmente en agroecosistemas sin concentrar una atención destacada, otras reciben gran parte del interés científico y de manejo debido a características relacionadas con su competitividad, persistencia o dificultad de control. Diversos estudios han relacionado las prácticas agrícolas y la intensidad de manejo con cambios en la composición funcional de las comunidades arvenses, incluyendo variaciones en rasgos asociados al tamaño vegetativo, la economía foliar o la fenología (Fried *et al.*, 2012; Guerra *et al.*, 2022). En un análisis realizado a escala nacional en Francia, Bourgeois *et al.* (2019) mostraron que las especies con mayor fidelidad a cultivos presentan síndromes funcionales compatibles con los filtros ecológicos característicos de los agroecosistemas, en particular con perturbaciones recurrentes, elevada disponibilidad de recursos y fenologías tempranas y prolongadas. Sin embargo, siguen siendo escasos los trabajos realizados a gran escala capaces de evaluar cómo varían los síndromes funcionales a lo largo de gradientes explícitos de afinidad arvense. Además, ningún estudio previo ha analizado, hasta donde conocemos, si los rasgos asociados a la frecuencia de aparición en cultivos coinciden con aquellos relacionados con la relevancia agronómica de las especies. En este trabajo se utilizó arvenSYS, un sistema de información funcional de la flora arvense ibérica que integra información taxonómica, ecológica y funcional para 3.397 especies de la Península Ibérica y Baleares. A partir de este sistema, se analizó la relación entre el grado de afinidad arvense, la relevancia agronómica y distintos rasgos funcionales relacionados con el tamaño vegetativo, la economía foliar y la fenología reproductiva. El objetivo general fue evaluar si la afinidad arvense y la relevancia agronómica reflejan dimensiones funcionales distintas dentro de la flora arvense ibérica. Específicamente, se analizó: (i) qué rasgos funcionales caracterizan a las especies frecuentes en cultivos frente a especies sin presencia documentada en ellos; y (ii) si, dentro de las especies con máxima afinidad arvense, aquellas de mayor relevancia agronómica presentan una identidad funcional diferenciada respecto a las de menor relevancia agronómica.

2. Material y métodos

Se utilizó arvenSYS, un sistema de información funcional de la flora herbácea y subarborescente ibérica (García-Guerra, 2026). Este sistema integra información taxonómica armonizada, datos ecológicos de hábitat y rasgos funcionales para 3.397 especies de la Península Ibérica y Baleares, procedentes de bases de datos, fuentes bibliográficas y mediciones propias.

Para este análisis se consideraron seis rasgos funcionales: altura vegetativa de la planta (PHV), área foliar (LA), área foliar específica (SLA), contenido de materia seca foliar (LDMC), inicio de floración

(OFL) y duración del periodo de floración (DFP). PHV y LA se transformaron mediante log10 para reducir la asimetría de sus distribuciones. El inicio de floración se representó mediante una variable corregida, OFL_shift, que correspondió al mes de inicio de floración, salvo en especies cuya floración se iniciaba en otoño o invierno y se prolongaba hacia el año siguiente. En estos casos, OFL_shift se codificó como 0, de forma que estas especies fueran interpretadas como de floración temprana/transanual y no como especies de floración tardía. Por ejemplo, *Spergula arvensis* L., con floración de diciembre a junio, se codificó como OFL_shift = 0 y DFP = 7. Para caracterizar la relación de las especies con los agroecosistemas se utilizaron dos variables incluidas en arvenSYS: el grado de afinidad arvense y la alta relevancia agronómica (ARA). El grado de afinidad arvense se construyó a partir de *Flora Arvense Española* (Carretero, 2004), codificando la frecuencia de aparición de cada especie en cultivos en cuatro niveles: 0, sin presencia documentada; 1, presencia rara o marginal; 2, presencia ocasional; y 3, presencia frecuente. La alta relevancia agronómica (ARA) se definió mediante un indicador bibliométrico, identificando las especies situadas en el 10 % superior del ranking de menciones tras revisar 10.906 artículos publicados en revistas internacionales de malherbiología. Esta variable se utilizó como aproximación a la prominencia de cada especie en la literatura especializada, no como medida directa de impacto agronómico. Para los análisis de afinidad arvense, el grupo 0 se restringió a especies sin presencia documentada en cultivos, pero pertenecientes a clases de hábitat primario consideradas hábitats fuente plausibles para la flora arvense a partir de la distribución observada en especies raras u ocasionales en cultivos. Esta restricción evitó comparaciones con especies procedentes de ambientes ecológicamente alejados. Las clases incluidas fueron, en orden decreciente según su contribución relativa: vegetación ruderal, pastizales xéricos, matorrales bajos, vegetación acuática, palustre o riparia, matorrales altos o preforestales, pastizales higrófilos, prados mesófilos y sistemas litorales. Para los análisis de relevancia agronómica, las especies ARA se compararon exclusivamente con especies no ARA dentro del grupo de máxima afinidad arvense. Las diferencias entre niveles de afinidad arvense se evaluaron mediante pruebas de Kruskal-Wallis para cada rasgo funcional. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicaron comparaciones post hoc de Dunn con ajuste de valores *p* mediante el método de Benjamini-Hochberg. Para comparar especies ARA y no ARA dentro del grupo de máxima afinidad arvense, se aplicaron pruebas de Wilcoxon para cada rasgo. Adicionalmente, se realizó un procedimiento de remuestreo balanceado con 999 iteraciones para evaluar la robustez de los efectos observados bajo tamaños muestrales equilibrados. En cada iteración se extrajo el mismo número de especies por grupo, definido por el tamaño del grupo con menor disponibilidad de datos para cada rasgo. El tamaño del efecto se calculó como la diferencia de medianas sobre rasgos estandarizados. La robustez se expresó como el porcentaje de iteraciones en las que la comparación resultó significativa.

3. Resultados y discusión

Los seis rasgos analizados mostraron diferencias significativas entre niveles de afinidad arvense (figura 1), aunque los patrones variaron entre grupos de rasgos funcionales. PHV y LA alcanzaron sus valores más altos en las especies con afinidad arvense 1, mientras que los grupos 0, 2 y 3 mostraron valores relativamente similares, indicando que el aumento de afinidad arvense no implica necesariamente un incremento progresivo del tamaño vegetativo o foliar. En contraste, SLA aumentó hacia los grupos con mayor afinidad arvense, alcanzando sus valores máximos en el grupo 3, mientras que LDMC mostró el patrón opuesto. Esta combinación de mayor SLA y menor LDMC es compatible con estrategias foliares más adquisitivas, favorecidas en ambientes agrícolas sometidos a perturbaciones recurrentes. Los rasgos fenológicos mostraron las tendencias más claras. OFL_shift se adelantó con el aumento de afinidad arvense, mientras que DFP aumentó hacia los grupos de mayor afinidad, alcanzando sus valores máximos en el grupo 3. Estos resultados son coherentes con los descritos por Bourgeois *et al.* (2019) para la flora arvense francesa, donde las especies con mayor fidelidad a cultivos presentaron mayor SLA y floraciones más tempranas y prolongadas. El contraste entre especies con afinidad arvense 3 y especies

sin presencia documentada en cultivos confirmó señales robustas para SLA, LDMC, OFL_shift y DFP, significativas en el 100 % de las iteraciones del procedimiento de remuestreo. En cambio, PHV y LA mostraron señales inestables (8,1 % y 6,6 % de iteraciones significativas, respectivamente). En conjunto, estos resultados sugieren que las especies más estrechamente asociadas a cultivos se caracterizan principalmente por una economía foliar más adquisitiva, floración más temprana y periodos reproductivos más prolongados.

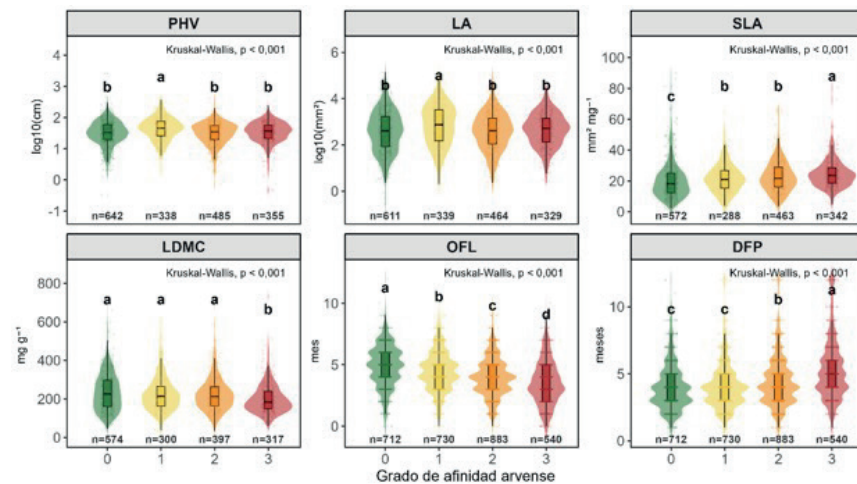


Figura 1. Distribución de los rasgos funcionales según el grado de afinidad arvense: 0, sin presencia documentada en cultivos; 1, presencia rara o marginal; 2, presencia ocasional; y 3, presencia frecuente. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos, y *n* indica el tamaño muestral de cada grupo.

Dentro del conjunto de especies con máxima afinidad arvense, las especies ARA presentaron diferencias funcionales claras respecto a las especies no ARA (figura 2). Las especies ARA mostraron valores significativamente mayores de PHV y LA, indicando que la relevancia agronómica se asocia con un mayor tamaño vegetativo y foliar. Estos rasgos pueden incrementar la capacidad competitiva, la producción de biomasa y la interceptación de luz, características potencialmente relacionadas con una mayor capacidad de interferencia sobre los cultivos y, por tanto, con una mayor prominencia en la literatura de malherbiología. En cambio, SLA y LDMC no mostraron diferencias significativas entre especies ARA y no ARA, sugiriendo que los rasgos relacionados con la economía foliar contribuyen principalmente a diferenciar especies con distinto grado de afinidad arvense, pero no necesariamente qué especies alcanzan mayor relevancia agronómica. Los rasgos fenológicos también diferenciaron parcialmente a las especies ARA. DFP mostró valores superiores en este grupo, mientras que OFL_shift indicó una tendencia hacia floraciones más tempranas. El remuestreo confirmó la robustez de las diferencias para PHV y LA (100 % de las iteraciones) y OFL_shift (98,4 %). DFP mostró una señal moderadamente robusta (80,6 %), mientras que SLA y LDMC permanecieron inestables (9,5 % y 6,9 %, respectivamente). En conjunto, estos resultados sugieren que, dentro de las especies claramente arvenses, la alta relevancia agronómica se asocia principalmente con un mayor tamaño vegetativo, mayor área foliar y fenologías reproductivas más extensas, mientras que los rasgos relacionados con la economía foliar parecen estar más vinculados al propio gradiente de afinidad arvense.

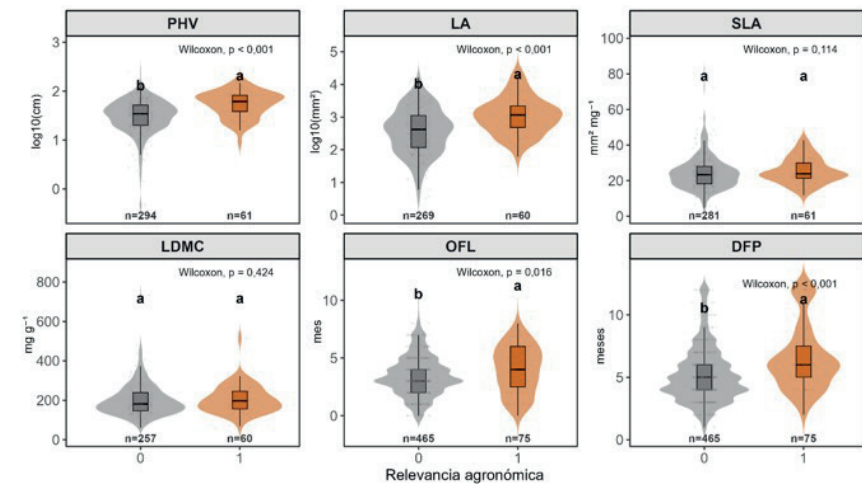


Figura 2. Distribución de los rasgos funcionales según la relevancia agronómica dentro del grupo de especies con máxima afinidad arvense (afinidad = 3). El grupo 0 corresponde a especies no ARA y el grupo 1 a especies ARA (alta relevancia agronómica). Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos, y *n* indica el tamaño muestral de cada grupo.

4. Conclusiones

El análisis basado en arvenSYS permitió identificar patrones funcionales consistentes en la flora arvense ibérica a partir de un volumen excepcional de información taxonómica, ecológica y funcional. El grado de afinidad arvense se asoció principalmente con estrategias foliares más adquisitivas y fenologías reproductivas más tempranas y prolongadas. Sin embargo, dentro de las especies con máxima afinidad arvense, la alta relevancia agronómica se relacionó sobre todo con mayor tamaño vegetativo, mayor área foliar y periodos reproductivos más extensos, mientras que SLA y LDMC no mostraron señales consistentes.

En conjunto, estos resultados sugieren que afinidad arvense y relevancia agronómica reflejan dimensiones funcionales parcialmente distintas dentro de la flora arvense ibérica. Además, ponen de manifiesto el potencial de arvenSYS para analizar síndromes funcionales asociados a la flora arvense y apoyar futuros enfoques de manejo basados en rasgos funcionales.

5. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por los proyectos PID2023-150108OB-C31 y PID2023-150108OB-C32 del MCIU/AEI (<https://doi.org/10.13039/501100011033>) y el FSE+.

Referencias

- BOURGEOIS B, MUNOZ F, FRIED G, *et al.* (2019) What makes a weed a weed? A large-scale evaluation of arable weeds through a functional lens. *American Journal of Botany* 106, 90-100.
- CARRETERO JL (2004) Flora arvense española. Las malas hierbas de los cultivos españoles. Ediciones Phytoma, Valencia.

FRIED G, KAZAKOU E & GABA S (2012) Trajectories of weed communities explained by traits associated with species' response to management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 158, 147-155.

GARCÍA-GUERRA J (2026) arvenSYS: sistema de información funcional y ecológica para el estudio de la flora arvense ibérica. XX Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, Madrid.

GARNIER E & NAVAS M-L (2012) A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 365-399.

GUERRA JG, CABELLO F, FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C, PEÑA JM & DORADO J (2022) How weed management influence plant community composition, taxonomic diversity and crop yield: A long-term study in a Mediterranean vineyard. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 326, 107816.

P1. Los microorganismos del suelo modulan la competencia cultivo - mala hierba en sistemas ecológicos

P1. Soil microorganisms modulate crop-weed competition in organic systems

BARAIBAR B¹, CABALLOL M¹, OLIVA J¹

¹Departamento Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, Universitat de Lleida, Agroecio - CERCA Center, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29264

Email (por orden de autoría): barbara.baraibar@udl.cat; maria.caballol@udl.cat; jonas.oliva@udl.cat

Las plantas, ya sean cultivadas o no, pueden modificar la disponibilidad de nutrientes del suelo, su contenido de humedad y las comunidades microbianas. A su vez, las poblaciones microbianas pueden afectar al crecimiento de las plantas, tanto negativamente, ejerciendo una acción patogénica sobre semillas o plántulas, como positivamente, por ejemplo, facilitando la absorción de nutrientes o aportando resistencia frente a estreses. Estas interacciones planta-suelo pueden modificar las relaciones de competencia entre especies. El manejo del cultivo (laboreo, rotación, fertilización) o el sistema productivo que engloba dicho manejo (ecológico o convencional) puede determinar las poblaciones microbianas presentes en el suelo y, por tanto, influir en la competencia entre cultivos y malas hierbas. Se realizó un experimento en 72 macetas en las que se sembró trigo o *Avena sterilis* L. en monocultivo y en competencia, siguiendo un diseño de series de reemplazo. El suelo fue primero esterilizado y posteriormente revivificado mediante la adición de una pequeña cantidad de suelo procedente de un campo ecológico o convencional. Además, la mitad de las macetas recibió un fertilizante orgánico. Tras dos meses de crecimiento, las plantas se cortaron y pesaron por separado. Se calcularon los índices de rendimiento relativo (RY) en las combinaciones en competencia. En ausencia de fertilización, los microorganismos redujeron el crecimiento de ambas especies en los suelos de origen ecológico. Con fertilización, este efecto desapareció. Sin embargo, cuando trigo y *A. sterilis* crecieron en competencia en suelo ecológico sin fertilizante, ambas especies mostraron mayores valores de RY en suelo vivo que en suelo estéril. Con fertilización, el trigo presentó valores de RY superiores a *A. sterilis*. Estos resultados sugieren que los microorganismos pueden modular la competencia entre el cultivo y la mala hierba.

Palabras clave: *Avena sterilis*, interacciones planta-suelo, comunidades microbianas, series de reemplazo.

Plants, whether cultivated or non-cultivated, can modify soil nutrient availability, moisture content, and microbial communities. In turn, microbial populations can affect plant growth, both negatively, by exerting pathogenic effects on seeds or seedlings, and positively, for example by facilitating nutrient uptake or conferring resistance to stress. These plant-soil interactions can alter competitive relationships between species. Crop management practices (tillage, rotation, fertilization), or the production system encompassing such practices (organic or conventional), may determine the microbial populations present in the soil and therefore influence competition between crops and weeds. An experiment was conducted using 72 pots in which wheat or Avena sterilis were grown either in monoculture or in competition, following a replacement series design. The soil was first sterilized and subsequently re-inoculated through the addition of a small amount of soil collected from

either an organic or a conventional field. In addition, half of the pots received organic fertilizer. After two months of growth, plants were harvested and weighed separately. Relative yield (RY) indices were calculated for the competition treatments. In the absence of fertilization, microorganisms reduced the growth of both species in soils of organic origin. With fertilization, this effect disappeared. However, when wheat and *A. sterilis* grew in competition in organic soil without fertilization, both species showed higher RY values in live soil than in sterile soil. Under fertilized conditions, wheat showed higher RY values than *A. sterilis*. These results suggest that soil microorganisms may modulate crop-weed competition.

Keywords: Avena sterilis, soil-plant interactions, microbial communities, replacement series.

1. Introducción

Las plantas, tanto cultivadas como arvenses, pueden modificar activamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el que se desarrollan. A través de la absorción diferencial de nutrientes, la liberación de exudados radiculares, la deposición de residuos vegetales y la alteración de la estructura del suelo, las plantas pueden modificar la disponibilidad de nutrientes, el contenido hídrico, el pH y otros parámetros fisicoquímicos del suelo, condicionando así el establecimiento y desarrollo de las comunidades vegetales posteriores (Philippot *et al.*, 2023). Estas modificaciones generan lo que se conoce como retroalimentaciones planta-suelo (*plant-soil feedbacks*, PSF), un proceso ecológico clave mediante el cual las plantas alteran las condiciones del suelo y estas alteraciones repercuten posteriormente sobre su propio crecimiento o sobre el de otras especies, influyendo en la dinámica de coexistencia y competencia vegetal (Mariotte *et al.*, 2018).

Dentro de este proceso, las comunidades microbianas del suelo desempeñan un papel especialmente relevante. La rizosfera constituye un entorno en el que las raíces seleccionan y modulan activamente determinados grupos microbianos. Como resultado, cada especie vegetal tiende a favorecer comunidades microbianas particulares, que pueden incluir tanto microorganismos beneficiosos como organismos patógenos o competidores por recursos. A su vez, estas poblaciones microbianas pueden afectar al crecimiento y desarrollo de las plantas. Por un lado, diversos patógenos del suelo pueden reducir la germinación, limitar el establecimiento de plántulas o provocar enfermedades radiculares. Por otro, microorganismos mutualistas o promotores del crecimiento, pueden mejorar la adquisición de nutrientes, incrementar la eficiencia en el uso del agua, modular respuestas hormonales y conferir tolerancia frente a estreses bióticos y abióticos.

Estas interacciones entre plantas y microbiota pueden modificar significativamente las relaciones de competencia entre especies, favoreciendo o limitando la dominancia de determinadas especies y modificando, por tanto, el resultado competitivo entre cultivos y malas hierbas (de Matos *et al.*, 2019). En sistemas agrícolas, este aspecto adquiere especial relevancia, ya que la competencia cultivo-mala hierba constituye uno de los principales determinantes del rendimiento. Asimismo, las prácticas de manejo agronómico, como el laboreo, las rotaciones o el tipo de fertilización pueden alterar la composición, diversidad y funcionalidad de las comunidades microbianas del suelo. En consecuencia, el sistema productivo en su conjunto —ecológico o convencional— puede generar microbiomas edáficos diferenciados, capaces de condicionar de forma distinta las interacciones competitivas entre cultivos y especies arvenses. De hecho, existe evidencia de que los sistemas de manejo menos intensivos y con mayor diversificación suelen favorecer comunidades microbianas más complejas y funcionalmente diversas (Lori *et al.*, 2017), lo que puede traducirse en cambios en la regulación natural de la competencia interespecífica (de Matos *et al.*, 2019). Comprender estos procesos en los sistemas cultivo-mala hierba puede ayudar a avanzar hacia estrategias de manejo más sostenibles y ecológicamente fundamentadas.

2. Material y métodos

En octubre de 2021, se recolectaron 300 kg de suelo de una parcela con historial de cultivo de cereales de invierno convencional situada en Alfés (Lleida, Cataluña). En el momento de la toma de muestras no había ningún cultivo sembrado en el campo. En el laboratorio, el suelo se tamizó con una malla de 2 mm y se dividió en 72 bolsas de plástico cerradas. Las bolsas se enviaron a Sterils (Marsella, Francia), para su esterilización mediante rayos gamma, que minimizan los cambios en las propiedades físicas del suelo, al tiempo que garantizan su esterilización biológica. Una vez esterilizado el suelo, se distribuyó en 72 macetas de 2,5 L con 200 mL de vermiculita para mejorar la infiltración del agua. La mitad de las macetas (36) se reactivó añadiendo 100 mL (5 % del volumen) de suelo vivo (tratamiento denominado en adelante como “vivo”), procedente bien de una parcela ecológica (ECO, con historial de rotación cereal-leguminosa, 18 macetas) o bien de la parcela convencional mencionada (CON, 18 macetas). La otra mitad recibió la misma cantidad de suelo procedente de las mismas parcelas, pero esterilizado con rayos gamma (tratamiento denominado en adelante como “estéril”). Además, en cada uno de los tratamientos (vivo, estéril) la mitad de las macetas recibió un fertilizante orgánico (Oscator) equivalente a 10 t/ha, lo que correspondía a 34,8 kg N/ha, asumiendo una disponibilidad del 20 % del nitrógeno.

Las 72 macetas se repartieron en tres escenarios competitivos (monocultivo de trigo, *Triticum aestivum*), monocultivo de avena loca (*Avena sterilis* L.) y competencia), dos estados del microbioma (vivo y estéril), dos sistemas de suelo (ecológico y convencional), dos niveles de fertilización (con y sin fertilización) y tres repeticiones. Antes de la siembra, las semillas de trigo y avena loca se esterilizaron sumergiéndolas en una mezcla de lejía y agua (1:9) durante 30 segundos. Para favorecer y asegurar una germinación sincronizada, unas 200 semillas de cada especie se colocaron en 20 placas de Petri por especie en una cámara de crecimiento con un rango de temperatura de 5-15 °C y fotoperiodo 12:12h. Una vez germinadas las semillas, en febrero de 2022 las plántulas fueron trasplantadas a las macetas. Cada maceta recibió 6 plantas de trigo (monocultivo de trigo), 6 plantas de avena loca (monocultivo de avena loca) o 3 plantas de trigo y 3 de avena loca (competencia). Las macetas se colocaron aleatoriamente en un invernadero abierto y se regaron regularmente para mantener la humedad a capacidad de campo.

Las plantas se dejaron crecer hasta el 4 de mayo de 2022 (BBCH 18, 21), momento en el que se cortó la biomasa aérea, se separó por especies, se secó en estufa durante 48 horas a 60 °C y se pesó. Para poder comprender mejor los resultados cuando ambas especies estaban en competencia, se calculó el rendimiento relativo (Relative Yield, RY) según la fórmula siguiente:

El RY mide si una especie en mezcla produce lo esperado según su proporción inicial: valores inferiores a 1 indican competencia, valores alrededor de 1 indican ausencia de efecto adicional y valores superiores a 1 indican complementariedad o facilitación.

Los RY para cada situación competitiva y fertilización, se analizaron con un modelo lineal mixto (lme en paquete nlme de R) con los factores sistema (ECO, CON) y estado del microbioma (vivo, estéril) como factores fijos y la repetición como factor aleatorio.

3. Resultados y discusión

3.1 Crecimiento en monocultivo

Cuando crecieron en monocultivo y en ausencia de fertilización, tanto el trigo como la avena loca crecieron más en suelos ecológicos estériles que en suelos vivos, indicando la presencia y acción de algún patógeno en los suelos vivos. Dentro de los suelos esterilizados, ambas especies crecieron más en suelos de campos ecológicos que en suelos convencionales. La fertilización hizo desaparecer estas diferencias,

y tanto el trigo como la avena loca crecieron por igual en todos los tipos de suelo y con independencia del microbioma (datos no mostrados).

3.2 Crecimiento en competencia

En sistemas convencionales no fertilizados, el rendimiento relativo (RY) tanto del trigo como de la avena loca no mostró diferencias, independientemente del estado del microbioma (vivo o estéril). Sin embargo, en suelos ecológicos, el RY tanto de la avena loca como del trigo fue mayor en suelos vivos que en suelos estériles. Valores más altos de RY indican una menor competencia y una mayor facilitación, aunque ninguno de estos valores fue significativamente diferente de 1. Únicamente el RY del trigo en suelos ecológicos estériles fue significativamente inferior a 1, lo que indica que el trigo creció menos de lo esperado en función de la biomasa en monocultivo o, dicho de otro modo, que la competencia fue mayor en este escenario. Estos resultados sugieren que el crecimiento del trigo podría depender más de la comunidad microbiana beneficiosa en estos suelos que el de la avena. Cuando se añadió fertilización, el RY de la avena loca fue mayor en suelos convencionales que en ecológicos, tanto en suelos estériles como vivos. Además, en suelos ecológicos, el RY del trigo fue mayor en suelos vivos que en suelos estériles, y el RY del trigo fue significativamente superior al de la avena ($p = 0,005$; figura 1).

Los resultados sugieren que las comunidades microbianas asociadas a suelos ecológicos pueden modular las interacciones competitivas entre trigo y avena loca, favoreciendo especialmente el rendimiento relativo del trigo. Este efecto fue más evidente bajo fertilización, donde el trigo mostró una ventaja competitiva significativa frente a la avena, lo que sugiere que el microbioma de suelos ecológicos puede contribuir a aumentar la resistencia biótica del cultivo frente a malas hierbas.

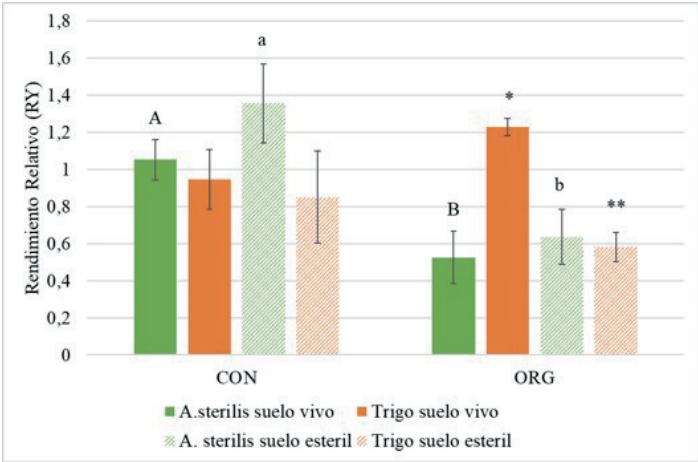


Figura 1. Rendimiento Relativo (Relative Yield, RY) de las plantas de *A. sterilis* (en verde) y de trigo (en naranja) creciendo en competencia en suelos convencionales (CON) o ecológicos (ECO) con un microbioma vivo (colores sólidos) o estéril (colores rallados). Diferentes letras mayúsculas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre CON y ECO en suelos vivos; diferentes letras minúsculas indican diferencias entre CON y ECO en suelos estériles. Los asteriscos indican diferencias entre suelo vivo y estéril dentro del mismo sistema.

4. Conclusiones

Los resultados indican que el microbioma de suelos ecológicos puede modificar las interacciones cultivo-mala hierba, favoreciendo la competitividad del trigo frente a la avena loca, especialmente en

condiciones fertilizadas. Esto sugiere un posible papel de las comunidades microbianas en la regulación biológica de las malas hierbas en sistemas agrícolas ecológicos.

5. Agradecimientos

Los autores quieren mostrar su agradecimiento a María Casamitjana por la ayuda con el trabajo experimental. Bàrbara Baraibar recibió financiación del programa postdoctoral Beatriu de Pinós financiado por la Secretaría de Universidades e Investigación (Gobierno de Cataluña) y por el programa de investigación e innovación Horizon 2020, acuerdo de subvención Marie Skłodowska-Curie No 801370.

Referencias

DE MATOS C, MONTEIRO L, GALLO S, COSTA M & DA SILVA A (2019) Changes in soil microbial communities modulate interactions between maize and weeds. *Plant and Soil* 440, 249-264.

LORI M, SYMNACZIK S, MÁDER P, DE DEYN G & GATTINGER A (2017) Organic farming enhances soil microbial abundance and activity. *PLoS ONE* 12(7).

MARIOTTE P, MEHRABI Z, BEZEMER T, DE DEYN G, KULMATISKI A, DRIGO B, VEEN G, VAN DER HEIJEN M & KARDOL P (2018) Plant-soil feedback: bridging natural and agricultural sciences. *Trends in Ecology and Evolution* 33, 129-142.

PHILIPPOT L, CHENU C, KAPPLER A, RILLIG M & FIERER N. (2023) The interplay between microbial communities and soil properties. *Nature Reviews Microbiology* 22:4, 226-239.

P2. Influencia de las cubiertas vegetales y el laboreo en el banco de semillas arvenses en agroecosistemas de secano

P2. Influence of cover crops and tillage on the arable weed seed bank

OSORNO R^{1,2}, SAN JUAN-HERAS R^{1,3}, GABRIEL JL¹, RODRÍGUEZ-MARTÍN JA¹, PORCEL MA¹, SANTÍN-MONTANYÁ MI¹

¹Departamento de Medioambiente y Agronomía, INIA-CSIC, Madrid, España; ²Área de Ecología, Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España; ³Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29265

Email (por orden de autoría): roberto.osorno@edu.uah.es; raul.sanjuan@inia.csic.es; gabriel.jose@inia.csic.es; rmartin@inia.csic.es; porcel@inia.csic.es; isantin@inia.csic.es

Los bancos de semillas arvenses permiten detectar y comprender los cambios que experimenta la flora espontánea como respuesta a modificaciones en los agroecosistemas, ya que el suelo actúa como un reservorio que almacena semillas tanto de la campaña en curso como de años previos, integrando así la memoria de las prácticas de manejo y de las condiciones ambientales acumuladas en el tiempo. Esta característica convierte al banco de semillas en un indicador clave de los efectos de las decisiones agronómicas. Aunque existe evidencia de que el laboreo y el uso de cubiertas vegetales influyen en la composición y estructura de las comunidades de arvenses, todavía es limitada la información acerca de cómo estas prácticas impactan directamente sobre el banco de semillas del suelo. En este marco, planteamos la hipótesis de que distintos sistemas de manejo del suelo y diferentes densidades de cubiertas vegetales afectarían de manera diferente al reservorio de semillas de especies arvenses. El objetivo de nuestro estudio fue evaluar si la densidad y riqueza funcional del banco de semillas variaban según el sistema de manejo del suelo, siembra directa y laboreo tradicional, y diferentes densidades de una cubierta vegetal de cebada-veza, después de tres años. Además, con la base de datos LEDA, analizamos rasgos funcionales del banco de semillas relativos a características físicas de las semillas, mecanismos de dispersión y fenología de las especies. Nuestros resultados no mostraron diferencias significativas con el manejo del suelo y la densidad de siembra de la cubierta. Sin embargo, observamos cambios relevantes en rasgos funcionales objeto del estudio. En laboreo tradicional predominaban especies con semillas pequeñas, y en siembra directa se observó una mayor diversidad de pesos de semilla. Los resultados sugieren que el manejo del suelo puede actuar filtrando las comunidades arvenses por sus rasgos funcionales.

Palabras clave: Dinámica de flora, manejo del suelo, rasgos funcionales, riqueza funcional.

Arable weed seed banks allow the detection and understanding of changes in spontaneous flora in response to modifications in agroecosystems, as the soil acts as a reservoir storing seeds from both the current growing season and previous years, thereby integrating the legacy of management practices and environmental conditions accumulated over time. This characteristic makes the seed bank a key indicator of the effects of agronomic decisions. Although there is evidence that tillage and the use of cover crops influence the composition and structure of weed communities, information regarding how these practices

directly affect the soil seed bank remains limited. Within this framework, we hypothesized that different soil management systems and varying cover crop densities would differentially affect the seed reservoir of arable weed species. The objective of our study was to evaluate whether the density and functional richness of the seed bank varied according to soil management system no tillage and conventional tillage and different sowing densities of a barley vetch cover crop after three years. In addition, using the LEDA database, we analyzed functional traits of the seed bank related to seed physical characteristics, dispersal mechanisms, and species phenology. Our results showed no significant differences associated with soil management or cover crop sowing density. However, relevant changes were observed in the functional traits analyzed. Under conventional tillage, species with small seeds predominated, whereas no-tillage systems exhibited greater diversity in seed weight. These results suggest that soil management may act as a filter on arable weed communities according to their functional traits.

Keywords: Flora dynamics, soil management, functional traits, functional richness.

1. Introducción

Los bancos de semillas son reservorios de semillas y otros propágulos con capacidad para regenerar la comunidad vegetal en diferentes periodos de tiempo. Estos bancos son dinámicos porque contienen distintas especies y estados de latencia (Watkinson *et al.*, 1997). Así, existe un flujo constante de entradas y salidas de semillas que determina su distribución espacial y temporal, influida por la localización de las plantas adultas, las condiciones edafoclimáticas y procesos como la depredación. La composición del banco de semillas es heterogénea y depende de los rasgos funcionales relativos a la producción, dispersión y supervivencia de sus semillas. Estas características proporcionan tanto una visión retrospectiva del manejo histórico del suelo como una herramienta predictiva para anticipar problemas futuros de infestación, siendo un indicador clave para comprender la dinámica de las arvenses y apoyar la toma de decisiones en agronomía.

Hay evidencias de que las condiciones ambientales y las técnicas agrícolas modifican el banco de semillas. Por ejemplo, se sabe que distintas técnicas de laboreo o las cubiertas vegetales influyen en la composición de la flora arvense y su banco de semillas (Cardina *et al.*, 2002). Estas perturbaciones actúan como filtros que seleccionan especies a través de sus rasgos funcionales y determinan patrones de germinación y persistencia. Esta dinámica modifica continuamente el banco de semillas y contribuye a la heterogeneidad temporal de los mismos. A pesar de que existen evidencias de que el laboreo y el uso de cubiertas vegetales influyen en la composición y estructura de las comunidades arvenses, aún es limitada la información acerca de cómo estas prácticas impactan directamente sobre el banco de semillas del suelo. En este marco conceptual, se planteó la hipótesis general de que el manejo del suelo, junto con las distintas densidades y proporciones de la cubierta vegetal, ejerce un efecto diferencial sobre el reservorio de semillas arvenses. El objetivo principal del estudio fue evaluar si la densidad y la diversidad funcional del banco de semillas varían en función del sistema de manejo del suelo (siembra directa frente a laboreo tradicional) y de diferentes densidades de una cubierta vegetal compuesta por cebada, veza o una mezcla de ambas en diferentes proporciones tras un periodo de tres años. Para ello, se analizó la influencia del manejo sobre la abundancia y composición del banco de semillas, así como el efecto de la densidad de siembra de la cubierta vegetal y la proporción de la mezcla cebada-veza sobre la comunidad arvense. Formulamos tres cuestiones de investigación:

1. ¿Las prácticas agrícolas, al actuar como filtro ambiental, tienen efecto sobre la diversidad funcional de las arvenses?
2. ¿Mayores densidades de siembra de la cubierta vegetal reducen la cantidad de semillas viables debido a la competencia?
3. ¿Mayores porcentajes de veza en la cubierta vegetal facilitan especies arvenses nitrófilas?

3. ¿Mayores porcentajes de veza en la cubierta vegetal facilitan especies arvenses nitrófilas?

2. Material y métodos

El ensayo de campo se ubicó en la finca experimental del INIA “La Canaleja”, en Alcalá de Henares (Madrid, España: 40°32'N y 3°20'O; 600 m). El sitio experimental se caracteriza por presentar un clima mediterráneo continental semiárido. La precipitación media anual a largo plazo fue de 389 mm (186-547 mm). Las temperaturas mínimas y máximas anuales oscilaron entre una media de 4 °C en enero (de -0,6 °C a 10 °C) y una media de 24 °C en julio (de 14,7 °C a 33 °C). El suelo es un *Haploxeralf* cálcico franco arenoso con una baja fertilidad inherente, un pH de 8 y un bajo contenido inicial de carbono orgánico (alrededor de 7 g kg⁻¹).

El experimento (figura 1) consistió en un diseño de bloques al azar con 3 factores principales: manejo, densidad de siembra y proporción entre veza/cebada en la cubierta vegetal.

El sistema de manejo consistió en siembra directa y laboreo tradicional (volteo de suelo con arado de vertedera + cultivador).

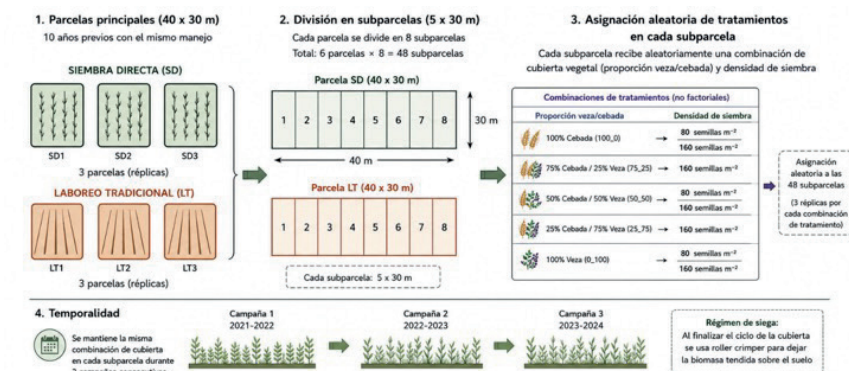


Figura 1. Diseño experimental en el que se basó el ensayo.

Al finalizar las 3 campañas, en cada subparcela se tomó una muestra compuesta de 2 puntos diferentes de suelo a una profundidad entre 0 y 20 cm en el mes de noviembre.

Para extraer el banco de semillas se usó una adaptación del método de Malone (Malone, 1967), extracción mediante flotación en una solución salina. Por cada muestra se tomaron 200 g de suelo, el primer paso consistió en eliminar los agregados de arcilla por medio de agitación mecánica. Posteriormente se filtró la fracción vegetal (sobrenadante) a través de un filtro con malla de 0,2 mm y tamizado con agua. En dicho filtro se recogieron todos los restos vegetales y semillas contenidas en el suelo. La clasificación taxonómica fue de forma manual. Se asumió que una semilla completa era una semilla viable.

2.1 Análisis de datos

Se construyó una matriz de comunidad a partir de los datos de abundancia y se asignaron los rasgos funcionales de las especies mediante la base de datos LEDA (Kleyer *et al.*, 2008). Los rasgos considerados fueron el peso de la semilla, altura, longevidad, tipo y modo de dispersión, producción de semillas y nitrofilia. Para cada rasgo se calcularon la media ponderada comunitaria (CWM), la divergencia funcional (RaoQ) y la riqueza funcional (FRic). La nitrofilia se estimó mediante el índice de Ellenberg

siguiendo la actualización de (Tichý *et al.*, 2023). Este índice permite clasificar a las especies en función de su preferencia por suelos desde pobres hasta eutrofizadas. La riqueza taxonómica se calculó utilizando el índice inverso de Simpson. Los efectos del laboreo y la cubierta vegetal se analizaron mediante modelos lineales generalizados y ANOVA tipo II, verificando previamente los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Para rasgos categóricos, como el tipo de dispersión, se priorizó el uso de RaoQ y, cuando no se cumplían los supuestos de normalidad, se aplicaron pruebas no paramétricas de Wilcoxon. Además, se evaluó la cantidad total del banco de semillas mediante modelos lineales con transformación logarítmica de la variable respuesta.

3. Resultados y discusión

Ninguna variable predictora explicó el número de semillas en el banco de semillas, lo que indica que una mayor densidad de siembra de cubierta no implica un menor banco de semillas arvense. Detectamos una interacción significativa entre laboreo y dosis de siembra en la diversidad taxonómica, lo que indica que el efecto del manejo del suelo sobre la diversidad taxonómica depende de la dosis de siembra de la cubierta vegetal (Alarcón *et al.*, 2018). Bajo condiciones de alta dosis de siembra (160 kg ha⁻¹), el laboreo tradicional presentó valores de diversidad más elevados que la siembra directa, mientras que en bajas dosis de siembra (80 kg ha⁻¹) las diferencias entre ambos sistemas se redujeron notablemente. La composición de la cubierta (proporción cebada/veza) no tuvo efecto sobre la diversidad, ni de forma directa ni en interacción con otros factores. Estos resultados podrían indicar que la diversidad del banco de semillas estaría controlada principalmente por la interacción entre perturbación (el laboreo tradicional) y competencia. El laboreo tradicional incrementa la diversidad cuando la presión competitiva es alta, probablemente porque activa el banco de semillas, reduce la dominancia de la cubierta vegetal y genera heterogeneidad ambiental que favorece la coexistencia de múltiples especies. En cambio, cuando la competencia es baja, el efecto se atenúa y las diferencias entre sistemas desaparecen. Hubo diferencias significativas en el peso de las semillas entre sistemas de manejo tanto en la media ponderada comunitaria (CWM; $F_{1,46} = 10.51$, $p = 0.002$), como en la divergencia funcional (RaoQ; $F_{1,46} = 15.93$, $p < 0.001$) y la riqueza funcional (FRic; $F_{1,46} = 10.82$, $p = 0.002$) (figura 2). Es decir, no solo se desplaza el valor medio del rasgo, sino que también se restringe el espacio funcional disponible y se reorganiza la distribución de estrategias dentro de ese espacio.

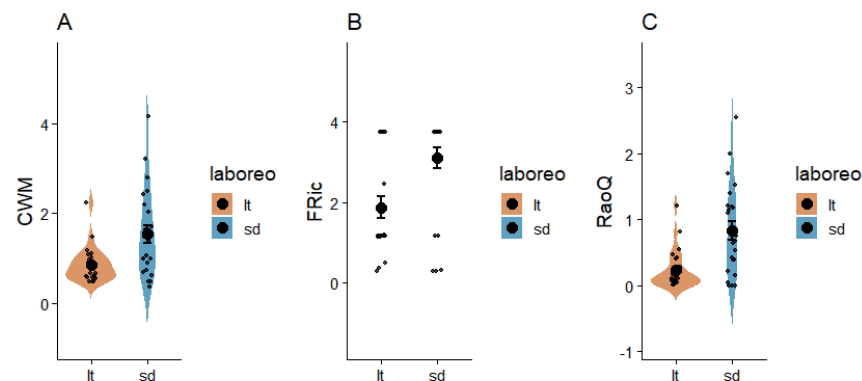


Figura 2. Panel con la media ponderada del rasgo en la comunidad (A), espacio funcional ocupado (B) y divergencia funcional (C) del peso de la semilla en función del tipo de manejo: sd -Siembra directa y Lt -Laboreo tradicional. Los violines representan la densidad de los datos para cada tratamiento, los puntos corresponden a observaciones individuales, y el punto central indican la media $\pm$ error estándar.

El laboreo tradicional determina qué estrategias persisten y cómo coexisten las especies que quedan. Esto se interpreta desde la teoría de la perturbación intermedia (Connell, 1978): el laboreo tradicional, como perturbación recurrente, favorece especies con rasgos colonizadores, típicamente asociadas a semillas más pequeñas, numerosas y con mayor capacidad de dispersión y banco de semillas. En cambio, penaliza estrategias más competitivas, ligadas a semillas más grandes, mayor inversión por descendiente y dependencia de condiciones más estables. La reducción o cambio en FRic sugiere que el laboreo tradicional elimina parte de la diversidad de estrategias, provocando una convergencia en los rasgos funcionales. Por otro lado, el cambio en RaoQ indica que no todo es convergencia, ya que el laboreo también altera las distancias funcionales entre las especies coexistentes. El efecto del laboreo sobre la altura fue débil. No se observaron diferencias significativas en la CWM ni en la riqueza funcional. Sin embargo, la divergencia funcional (RaoQ) mostró una tendencia marginalmente significativa ($F_{1,46} = 3.31$, $p = 0.076$), probablemente ligado a la partición de nicho (luz). Esto apunta a un efecto débil sobre los mecanismos de coexistencia, donde el laboreo podría estar alterando ligeramente el balance entre competencia por similitud y limitación por diferencias.

Para el número de semillas, el laboreo no afectó significativamente al CWM ni a la riqueza funcional. No obstante, sí se detectaron diferencias significativas en la divergencia funcional (RaoQ; $F_{1,46} = 4.31$, $p = 0.043$).

La nitrofilia mostró una baja varianza explicada y ausencia de efectos significativos, indicando que estas variables no estructuran claramente la comunidad de especies nitrofilas. En conjunto, la elevada superposición entre muestras y la falta de señal ambiental sugieren que la nitrofilia observada podría estar más relacionada con procesos estocásticos, especies generalistas o factores ambientales no medidos que con el manejo agrícola evaluado.

Existe un desacoplamiento entre diversidad taxonómica y funcional. Aunque el laboreo aumenta la diversidad de especies, no implica necesariamente una mayor diversidad de rasgos. El laboreo tradicional actúa como un filtro ambiental que favorece especies con estrategias similares, es decir, genera comunidades con más diversidad de especies, pero funcionalmente redundantes. Por el contrario, la siembra directa, al reducir el grado de perturbación, permite la coexistencia de especies con estrategias más variadas, lo que puede aumentar la diversidad funcional, aunque la diversidad taxonómica sea menor o similar.

Esto sugiere que el sistema está más influenciado por procesos históricos y ambientales que por cambios recientes en el manejo, reflejando una cierta inercia ecológica propia de los bancos de semillas.

3. Conclusiones

- 1) El laboreo tradicional actúa como filtro ambiental, aumentando la diversidad de especies, pero reduciendo la diversidad funcional de los rasgos asociados a las semillas.
- 2) Una mayor densidad de la cubierta no tiene efecto sobre la abundancia de semillas en el banco.
- 3) Un mayor porcentaje de veza no favorece la presencia de especies nitrófilas.

Referencias

- ALARCÓN R, HERNÁNDEZ-PLAZA E, NAVARRETE L, SÁNCHEZ MJ, ESCUDERO A, HERNANZ JL, SÁNCHEZ-GIRON V & SÁNCHEZ AM (2018) Effects of no-tillage and non-inversion tillage on weed community diversity and crop yield over nine years in a Mediterranean cereal-legume cropland. *Soil and Tillage Research*, 179, 54-62.
- CARDINA J, HERMS CP & DOOHAN DJ (2002) Crop rotation and tillage system effects on weed seedbanks. *Weed Science*, 50, 448-460.

CONNELL JH (1978) Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs: High diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state. *Science*, 199, 1302-1310.

MALONE CR (1967) A Rapid Method for Enumeration of Viable Seeds in Soil. *Weeds*, 15, 381.

TICHÝ L, AXMANOVÁ I, DENGLER J, GUARINO R, JANSEN F, MIDOLO G, NOBIS M P, VAN MEERBEEK K, AČIĆ S, ATTORRE F, BERGMEIER E, BIURRUN I, BONARI G, BRUELHEIDE H, CAMPOS JA, ČARNI A, CHIARUCCI A, ČUK M, ČUŠTEREVSKA R & CHYTRÝ M (2023) Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species. *Journal of Vegetation Science*, 34, e13168.

WATKINSON AR, THOMPSON K, BAKKER JP & BEKKER RM (1997) The soil seed banks of North West Europe. *The Journal of Applied Ecology*, 34, 834.

KLEYER M, BEKKER RM, KNEVEL IC, BAKKER JP, THOMPSON K, SONNENSCHNEIN M, POSCHLOD P, VAN GROENENDAEL JM, KLIMEŠ L, KLIMEŠOVÁ J, KLOTZ S, RUSCH GM, HERMY M, ADRIAENS D, BOEDELTE G, BOSSUYT B, DANNEMANN A, ENDELS P, GÖTZENBERGER L & PECO B (2008) The LEDA Traitbase: A database of plants traits

P3. Control ecológico de malas hierbas en viñedos de secano: ¿Labores o cubiertas vegetales?

P3. Weed ecological control in rainfed vineyards: Tillage or cover crops?

THERISOD F^{1,2}, BARAIBAR B^{1,2}, GÓMEZ COPETE J^{1,2}, BARRANCO-ELENA D^{1,2}, MALUQUER J^{1,2}, MORAGAS P³, RECASENS J^{1,2}

¹Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, ETSEAFiV/Universitat de Lleida, Lleida, España; ²AGROTECNIO-CERCA Center, Lleida, España; ³L'Olivera, Vallbona de les Monges, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29266

Email (por orden de autoría): federico.therisod@udl.cat; barbara.baraibar@udl.cat; jgc39@alumnos.udl.cat; diego.barranco@udl.cat; jordi.maluquer@udl.cat; pau@olivera.org; jordi.recasens@udl.cat

En viñedos ecológicos el laboreo del suelo es la práctica tradicional para manejar las malas hierbas. Sin embargo, estas labores recurrentes deterioran la estructura del suelo. Las cubiertas vegetales constituyen una alternativa que a la vez que ejercen presión sobre las malas hierbas, mejoran las propiedades edáficas. No obstante, existe un riesgo potencial de pérdidas de rendimiento según su presencia a ambos lados de la fila de las vides y de su duración. Bajo la hipótesis de que las cubiertas vegetales pueden controlar las malas hierbas reemplazando el laboreo y ser finalizadas antes que ejerzan competencia con la vid, se planteó un ensayo en la localidad de Nalec (Lleida), durante la campaña 2024-25, con el fin de evaluar el balance existente entre la presión ejercida por las cubiertas sobre las malas hierbas y el vigor y rendimiento de la vid. El ensayo se llevó a cabo en una parcela de viña variedad Garnacha negra, donde fue sembrada una cubierta vegetal anual a una dosis de 120 kg ha⁻¹, compuesta por una mezcla de fabáceas (48 %), poáceas (48 %) y brasicáceas (4 %) y fue incorporada al suelo en mayo mediante una labor. Los resultados reflejan un escaso efecto de la cubierta en reducir la presencia de malas hierbas de la calle respecto al laboreo, justificado por el retraso de la fecha de siembra de la cubierta debido a las lluvias otoñales de 2024, estando muchas malas hierbas ya emergidas. No obstante, la cubierta no afectó al rendimiento, aunque sí redujo el vigor vegetativo de las vides, posiblemente debido a una cierta competencia amortiguada por las condiciones hídricas de la campaña. Estos resultados reflejan que la implementación de cubiertas vegetales precisa de un manejo oportuno en cuanto a momento de siembra, establecimiento y finalización, de cara a optimizar los beneficios agronómicos.

Palabras clave: Cubiertas sembradas, competencia, peso de cosecha, flora arvense, interlínea.

In organic vineyards, tillage is the traditional practice for weed management; however, its recurrence may cause soil structure degradation. Cover crops represent an alternative to tillage, exerting pressure on weeds while simultaneously improving soil properties. Nevertheless, their implementation may pose a potential risk of yield reduction depending on their presence on both sides of the vine row and their duration. Under the hypothesis that cover crops can control weeds as a substitute for tillage and be terminated before competing with the vine, a field trial was conducted in Nalec (Lleida) during the 2024-2025 season to evaluate the balance between the pressure exerted by cover crops on weeds and vine vigor and yield. The experiment

was carried out in a vineyard plot (cv. Garnacha negra), where an annual cover crop was sown at a rate of 120 kg ha⁻¹, consisting of a mixture of legumes (48%), grasses (48%), and mustard (4%), and was incorporated into the soil in May through tillage. The results showed a limited effect of the cover crops in reducing weed presence in the inter-row area compared to tillage, which can be explained by the delayed sowing date due to autumn rainfall in 2024, when many weed species had already emerged. However, the cover crop did not affect yield, although it did reduce vegetative vigor, possibly due to moderate competition buffered by the water availability during the growing season. These results indicate that the successful implementation of cover crops requires appropriate management in terms of sowing date, establishment, and termination to optimize agronomic benefits.

Keywords: Sown cover crops, competition, yield, arable weeds, inter-row.

1. Introducción

La gestión del suelo en viñedos es un elemento clave para la sostenibilidad de los cultivos, especialmente en sistemas de secano mediterráneo, donde la disponibilidad hídrica es limitada y el suelo está sometido a un alto riesgo de erosión y degradación. En este contexto, la superficie de viñedo en manejo ecológico ha aumentado significativamente en los últimos años, incrementando el interés por estrategias alternativas de manejo del suelo. Tradicionalmente, el control de la vegetación espontánea se ha realizado mediante labores recurrentes, tanto en las calles como bajo la línea, lo que permite contener las malas hierbas, pero conlleva efectos negativos sobre el suelo, como la reducción de su fertilidad y el aumento de la erosión (Recasens *et al.*, 2024). Además, las labores incrementan la huella de carbono del sistema vitivinícola y pueden favorecer pérdidas de agua por evaporación, así como una disminución de la biodiversidad edáfica (Quemada & Gabriel, 2016).

En este contexto, las cubiertas vegetales han sido propuestas como una alternativa sostenible de control de malas hierbas que puede reducir la erosión, aumentar el contenido de carbono del suelo y mejorar la circulación de maquinaria tras periodos de lluvia (Recasens *et al.*, 2023). Estas cubiertas pueden ser espontáneas o sembradas, siendo estas últimas las que permiten un mayor control sobre su composición y funcionalidad. No obstante, en zonas de secano pueden generar competencia por agua y nutrientes, lo que puede limitar el desarrollo del cultivo y afectar a la producción (Abad *et al.*, 2021). Un aspecto clave en el manejo de las cubiertas es el momento de su finalización, que debe ajustarse para evitar efectos competitivos sobre el cultivo. Por este motivo, es necesario determinar si estas cubiertas pueden gestionarse de manera eficiente para maximizar el control de malas hierbas sin comprometer la productividad del viñedo.

A partir de estas premisas, este estudio tiene como objetivo analizar si una cubierta vegetal anual puede compatibilizar el control de malas hierbas y el mantenimiento del rendimiento en condiciones de secano. El ensayo se desarrolla en un viñedo ecológico de secano situado en el municipio de Nalec (Lleida, Cataluña), y compara el uso de una cubierta vegetal anual con el manejo tradicional basado en el laboreo, evaluando su efecto en el control de malas hierbas, el desarrollo vegetativo del viñedo y el rendimiento del cultivo.

Los resultados de este estudio contribuirán a generar conocimiento aplicable a la viticultura ecológica en condiciones de secano, con el objetivo de encontrar estrategias más sostenibles que permitan mantener la productividad del cultivo al tiempo que se reduce el impacto ambiental de su gestión.

2. Material y métodos

El ensayo se desarrolló en la localidad de Nalec (Lleida, Cataluña) en una parcela de viña (*Vitis vinifera* L.), de 0,4 ha de la variedad *Garnacha negra* con un marco de plantación de 2,6 m × 0,8 m, un sistema de formación Royat de cordón simple e injertada en un portainjerto 110 Richter (110R).

Según la estación meteorológica cercana de San Martí de Riucorb, en el período 2015-2024 la temperatura media anual se situó entre 14 y 15 °C, con valores extremos de hasta 42 °C en verano y -9 °C en invierno, y una precipitación media anual de 365 mm. En la campaña 2024-2025, la precipitación acumulada alcanzó 478 mm, con 224 mm registrados en otoño, lo que supone un incremento del 82 % respecto a la media otoñal del periodo de referencia, concentrándose principalmente en el mes de octubre de 2024 (figura 1).

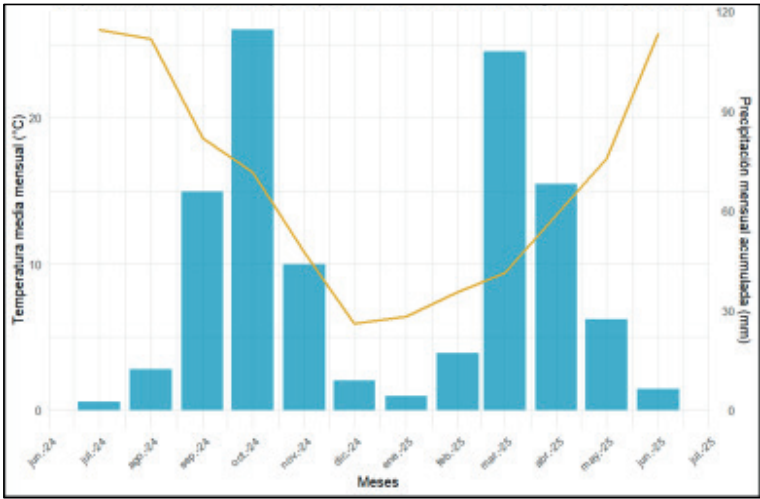


Figura 1. Temperatura media mensual y precipitación acumulada para el período junio 2024 - julio 2025.

El ensayo siguió un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones, considerando como factor el manejo del suelo en las calles. Este consistió en la combinación de calles bajo laboreo y calles con cubierta vegetal anual, sembrada el 11 de noviembre de 2024. La cubierta vegetal estuvo compuesta por una mezcla de fabáceas (*Vicia villosa* y *V. ervilia*, 57,6 kg ha⁻¹), poáceas (*Secale cereale* y *Triticosecale*, 57,6 kg ha⁻¹) y brasicáceas (*Sinapis alba*, 5,2 kg ha⁻¹). Los tratamientos en relación con la fila fueron tres: (i) cubierta vegetal en ambas calles adyacentes a la fila, (ii) manejo mixto —una calle con cubierta vegetal y la otra con laboreo— y (iii) laboreo en ambas calles. El manejo bajo la línea de cultivo se realizó mediante pases de intercepas. La cubierta fue finalizada en el mes de mayo mediante su incorporación al suelo con una grada de discos. Las variables evaluadas en las calles fueron el recubrimiento de la cubierta vegetal anual y de malas hierbas en las calles sembradas, y el recubrimiento de malas hierbas en las calles bajo laboreo. La estimación del recubrimiento se realizó mediante evaluación visual, cada mes desde la emergencia hasta la finalización de la cubierta. El muestreo se llevó a cabo utilizando cuadros de 0,5 m × 0,5 m (0,25 m²), en los que se estimó el porcentaje de cobertura. En cada tratamiento se evaluaron un total de 10 cuadros por calle, distribuidos aleatoriamente para asegurar la representatividad.

Por otra parte, en las filas del cultivo se evaluaron variables de rendimiento y vigor vegetativo. En vendimia, se seleccionaron cinco cepas por fila, en las que se estimó el peso de cosecha por cepa y el número

de racimos como indicadores de rendimiento. El vigor vegetativo se estimó mediante el peso de poda que se realizó durante el reposo invernal. Para ello, en febrero 2026 se seleccionaron cinco cepas por fila y se determinó el número y peso de sus sarmientos principales y rebrotes.

Los datos se analizaron mediante ANOVA, y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$), excepto para el recubrimiento, que se analizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis seguida de la prueba de Dunn. Todos los análisis fueron realizados con el software R (R Core Team, 2025).

3. Resultados y discusión

La cubierta sembrada presentó un bajo nivel de implantación, con recubrimientos medios inferiores al 10 % durante todo el periodo evaluado. En contraste, como se observa en la figura 2, las calles con cubierta mostraron un mayor recubrimiento de malas hierbas que el tratamiento labrado, alcanzando valores cercanos al 50 % frente a aproximadamente el 15 %. Estas diferencias fueron significativas y reflejan una baja capacidad competitiva de la cubierta en las fases iniciales del ciclo.

Este comportamiento puede explicarse por una siembra tardía y una implantación deficiente de la cubierta, condicionada por un otoño excepcionalmente húmedo (precipitaciones un 82 % superiores a la media), lo que dificultó la preparación del suelo. En estas condiciones, una baja cobertura inicial favorece la emergencia de malas hierbas frente a la cubierta.

Dada la escasa implantación de la cubierta sembrada, este tratamiento representó en la práctica una combinación de especies sembradas y vegetación espontánea, en contraste con el tratamiento con laboreo, con una menor presencia de vegetación espontánea debido a la remoción más frecuente del suelo.

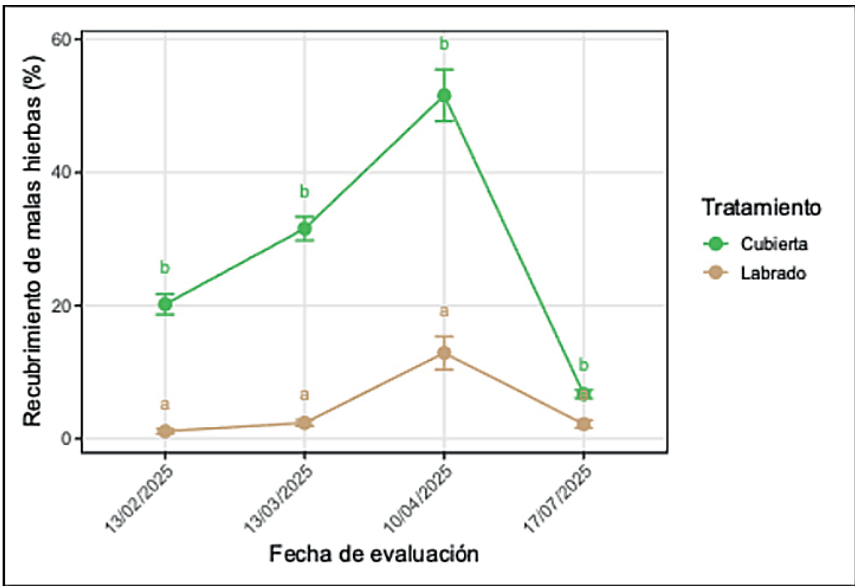


Figura 2. Recubrimiento de malas hierbas en función del manejo en la calle. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

A pesar de que se esperaba una reducción del rendimiento por competencia por recursos, especialmente agua como se ha visto en otros viñedos de secano de Cataluña (Cabrera-Pérez *et al.*, 2026), no

se observaron diferencias entre tratamientos. La elevada disponibilidad hídrica durante la campaña probablemente atenuó esta competencia. El manejo del suelo en las calles no tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento de la vid (tabla 1). Los valores de peso medio por cepa fueron similares entre tratamientos, situándose en todos los casos por debajo de 1 kg/cepa, sin detectarse diferencias significativas entre la cubierta anual, el manejo mixto y el laboreo. Estos resultados indican que, en las condiciones del ensayo, la presencia de cubierta vegetal no comprometió la producción. En cuanto al vigor vegetativo, los tratamientos con laboreo mostraron valores más elevados, seguidos del manejo mixto y, finalmente, de la cubierta. Esta tendencia se observó en el peso de poda (tabla 1), aunque no siempre con diferencias significativas entre todos los tratamientos.

Tabla 1. Peso de cosecha medio según el manejo en las calles adyacentes. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

MANEJO FILA	PESO MEDIO (KG/CEPA)	SE	PESO DE PODA (KG/CEPA)	SE
Cubiertas	0,729 a	0,123	0,104 a	0,0171
Mixto	0,844 a	0,0669	0,131 ab	0,0201
Laboreo	0,783 a	0,0872	0,172 b	0,0194

Los resultados indican que el manejo del suelo en las calles no afectó significativamente al rendimiento de la vid, independientemente del tratamiento aplicado. Sin embargo, la presencia de cubierta vegetal (en este caso constituida por especies sembradas y espontáneas) se asoció a una reducción del vigor vegetativo en comparación con el laboreo, situándose el manejo mixto en una posición intermedia. El retraso de siembra y dificultad de implantación de la cubierta no permitió ejercer una presión eficaz contra malas hierbas, a diferencia del tratamiento mediante laboreo. En conjunto, los resultados muestran que la implantación de cubiertas vegetales en viñedos de secano mediterráneo es viable sin penalizar el rendimiento a corto plazo, aunque su eficacia en el control de malas hierbas y su impacto sobre el vigor dependen en gran medida de una correcta implantación y manejo. La implementación de cubiertas vegetales constituye una estrategia viable en viñedos mediterráneos de secano, alineada con los eco-regímenes de la Política Agraria Común. Estas prácticas aportan beneficios tanto a nivel edáfico como en la mejora de la biodiversidad y el control de malas hierbas en sustitución del laboreo. No obstante, su eficacia depende en gran medida de un manejo adecuado, siendo fundamental optimizar su siembra y finalización para maximizar sus beneficios y evitar efectos negativos sobre el cultivo.

4. Conclusiones

La cubierta vegetal ensayada en un viñedo de secano mediterráneo no implicó una reducción del rendimiento de la vid en la campaña del ensayo, aunque sí tendió a disminuir el vigor vegetativo respecto al tratamiento con laboreo. La eficacia de las cubiertas en el control de malas hierbas durante la campaña se vio limitada por las condiciones climáticas y la siembra tardía.

5. Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a técnicos y al personal de la cooperativa L'Olivera de Vallbona de les Monges. El estudio se integra en el proyecto VITIREM financiado en la convocatoria de Grupos Operativos del DARPA. El primer autor de la contribución cuenta con un contrato predoctoral AGAUR FIS-DUR.

Referencias

- ABAD J, MENDOZA IH DE, MARÍN D, ORCARAY L & SANTESTEBAN LG (2021) Cover crops in viticulture. A systematic review (1): Implications on soil characteristics and biodiversity in vineyard. *OENO One*, 55, 295-312.
- CABRERA-PÉREZ C, LLORENS-CALVERAS J, ESCOLÀ A, BARAIBAR B, TORRES-VIÑALS M, TORRES-MACZASSEK M. & RECASENS J (2026) Soil management in organic rainfed vineyards in the Penedès region (Catalonia, NE Spain) with cover crops and mulches. Effects on weed flora and vine vigor. *Frontiers in Agronomy*, 8:1759319
- QUEMADA M & GABRIEL JL (2016) Approaches for increasing nitrogen and water use efficiency simultaneously. *Global Food Security*, 9, 29-35.
- R CORE TEAM (2025) R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- RECASENS J, CABRERA PÉREZ C & BARAIBAR B (2023) Cobertes vegetals en vinya. Implicacions agronòmiques i mediambientals. Lleida: Edicions de la Universitat de Lleida.
- RECASENS J, GUIU À, BARRANCO-ELENA D, MORAGAS P, LLORENS CALVERAS J, ESCOLÀ A & BARAIBAR B (2024) Weed management in vineyard through cover crops and organic mulches. *Revista de Ciències Agràries*, 47, 11-20.

P4. Variabilidad intraespecífica de rasgos funcionales en comunidades arvenses ibéricas: Resultados preliminares del grupo ECOHIERBA

P4. Intraspecific variability of functional traits in Iberian weed communities: Preliminary results from the ECOHIERBA (SEMh) group

BARAIBAR B¹, ROYO-ESNAL A¹, CIRUJEDA A^{2,3}, PARDO G^{2,3}, PUEYO J², VILLAR MP², GARCÍA-GUERRA J⁴, SANTÍN-MONTANYÁ MI⁵, PORCEL MA³, ALAR-CÓN-VÍLLORA MR⁶, MEDINA-VILLAR S⁷, BONA N⁶, IZQUIERDO J⁸, GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL⁹, HERNÁNDEZ PLAZA E⁷

¹Dpto. DCEFA, UdL - Agrotecnio CERCA Center, Lleida, España; ²Dpto. Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, CITA, Zaragoza, España; ³Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, CITA-Unizar, Zaragoza, España; ⁴Tech4AGRO, ICA-CSIC, Madrid, España; ⁵Dpto. Medio Ambiente y Agronomía, INIA-CSIC, Madrid, España; ⁶IMIDRA, Madrid, España; ⁷Dpto. Protección Vegetal, INIA-CSIC, Madrid, España; ⁸Dpto. d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, UPC, Castelldefels, España; ⁹IAS-CSIC, Córdoba, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29267

Email (por orden de autoría): barbara.baraibar@udl.cat; aritz.royo@udl.cat; acirujeda@aragon.es; gpardos@aragon.es; jpueyob@aragon.es; mpvillarm@aragon.es; jose.g.guerra@ica.csic.es; isantin@inia.csic.es; porcel@inia.csic.es; remedios.alarcon@madrid.org; silvia.medina@inia.csic.es; noelia.bona@madrid.org; jordi.izquierdo@upc.edu; andujar@ias.csic.es; eva.hernandez@inia.csic.es

El uso de aproximaciones basadas en rasgos funcionales en malherbología se ha incrementado en los últimos años, pero con frecuencia los datos sobre los rasgos de las especies arvenses se obtienen de fuentes bibliográficas, lo que puede limitar la interpretación cuando existe elevada variabilidad intraespecífica asociada al ambiente y al manejo. En este contexto, el grupo ECOHIERBA (SEMh) está desarrollando un trabajo conjunto con los siguientes objetivos: (1) Caracterizar funcionalmente especies arvenses en la Península Ibérica. Estos datos se utilizarán en futuros trabajos y se compararán con aquellos procedentes de la bibliografía. (2) Determinar diferencias entre especies en el grado de variabilidad intra-específica y (3) definir si existe una relación entre la capacidad de las arvenses para desarrollarse en diferentes ambientes y manejos y su diversidad intra-específica. Se seleccionaron especies características de cultivos herbáceos en secano: 15 especies frecuentes y otras 17 más raras, según datos del grupo. En la primavera de 2025, se recolectaron 280 individuos pertenecientes a 28 poblaciones de 18 de estas especies. En estas plantas, siguiendo protocolos estandarizados, se midió la altura, área foliar específica, el contenido en materia seca de la hoja y su biomasa total. Se recogieron datos de la altura del cultivo y del tipo de manejo del campo donde se recolectaron. Presentamos resultados preliminares sobre la magnitud de la variabilidad intraespecífica por rasgo y especie, y su relación con la frecuencia de aparición en cultivos. En próximas campañas se completará el muestreo para aumentar el número de poblaciones por especie y consolidar los patrones observados.

Palabras clave: Diversidad intraespecífica, rasgos funcionales, servicios agroecosistémicos, cultivos de secano, arvenses raras.

The use of functional trait-based approaches in weed science has increased in recent years. However, the trait values of weeds are often obtained from bibliographic sources, which may limit interpretation when there is high intraspecific variability associated with environmental conditions and management practices. In this context, the SEMh group ECOHIERBA is developing a functional characterization of weed species with the following objectives: (1) to functionally characterize weed species in the Iberian Peninsula. These data will be used in future studies and compared with data from other geographical regions; (2) to determine differences among species in the degree of intraspecific variability; and (3) to define whether there is a relationship between the ability of weeds to develop under different environmental and management conditions and their intraspecific diversity. To this end, characteristic species from rainfed herbaceous crops were selected: 15 frequent species and 17 rarer ones, according to the group's data. In the spring of 2025, 280 individuals belonging to 28 populations of 18 of these species were collected. In these plants, following standardized protocols, height, specific leaf area (SLA), leaf dry matter content, and total biomass were measured. Additionally, information on crop height and field management was recorded at the sampling sites. We present preliminary results on the magnitude of intraspecific variability by trait and species, and its relationship with frequency of occurrence in crops. In the next growing seasons, sampling will continue to increase the number of populations per species and strengthen the observed patterns.

Keywords: Intraspecific diversity, functional traits, agroecosystem services, rainfed crops, rare species.

1. Introducción

En las últimas décadas, las aproximaciones basadas en rasgos funcionales han sido utilizadas en numerosos trabajos en malherbología con objeto de explicar la composición de las comunidades arvenses y su funcionalidad dentro del agroecosistema. Por una parte, han permitido abordar cómo distintos factores determinan la composición de las comunidades arvenses. Desde esta perspectiva, diferentes prácticas de manejo o la competencia con el cultivo, entre otros factores, actúan como filtros que favorecen o restringen determinadas estrategias funcionales, condicionando así la presencia y abundancia de unas especies arvenses frente a otras (MacLaren *et al.*, 2020). Por otra parte, las características funcionales, de las especies y de la comunidad arvense en su conjunto, se han relacionado con aspectos como su competencia con el cultivo o su capacidad para proveer diferentes servicios ecosistémicos (Adeux *et al.*, 2019; Yvoz *et al.*, 2021). En un gran número de trabajos los datos utilizados para caracterizar las especies arvenses se obtienen de bases de datos y no de mediciones locales. Sin embargo, existen algunas limitaciones asociadas al uso de datos procedentes de la bibliografía: las especies arvenses localmente comunes, pero sin una distribución cosmopolita, pueden no estar representadas en estas bases de datos y en una especie, los valores de un rasgo pueden variar ampliamente entre localidades geográficamente alejadas y en función de las condiciones en las que se registra (ej.: dentro de un cultivo vs. barbecho). En este caso se asume que las diferencias entre especies (variabilidad interespecífica) son mayores que las observadas dentro de una misma especie (variabilidad intraespecífica) y se opta por agregar datos de varias localidades. Sin embargo, muchos autores cuestionan este procedimiento por la elevada variabilidad observada en los atributos de una misma especie. La variabilidad intraespecífica puede resultar de diferencias genéticas, pero también de la plasticidad fenotípica, y su magnitud puede variar considerablemente entre especies. Analizar las causas y los patrones de esta variación puede ser clave para entender las diferencias entre especies arvenses en su capacidad de establecerse bajo distintas condiciones ambientales, su respuesta a la interacción con el cultivo o su contribución a los servicios agroecosistémicos. Por ejemplo, la frecuencia de aparición y la abundancia con la que se distribuyen las distintas especies arvenses a lo largo del territorio varía notablemente, lo que ha llevado a distinguir entre “especies comunes” y “especies raras”. Estas diferencias podrían relacionarse tanto con los valores medios de los rasgos funcionales de cada especie como con su variabilidad intraespecífica.

En este contexto, el grupo de trabajo de la SEMh ECOHIERBA desarrolla un trabajo con los siguientes objetivos: (1) Caracterizar funcionalmente especies arvenses en la Península Ibérica. Estos datos podrán utilizarse en futuros trabajos y se compararán con los procedentes de otras regiones geográficas. (2) Determinar diferencias entre especies en el grado de variabilidad intraespecífica y (3) definir si existe una relación entre esta variabilidad y la capacidad de las arvenses para desarrollarse en diferentes ambientes.

2. Material y métodos

Se seleccionó un conjunto de especies arvenses características de cultivos herbáceos en secano, incluyendo especies frecuentes y otras más raras, según datos previos del grupo. Para controlar el efecto filogenético, se seleccionaron especies raras y frecuentes, siempre que fue posible, pertenecientes a la misma familia. Se utilizaron cinco caracteres morfológicos para caracterizar las especies arvenses siguiendo protocolos estandarizados (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013): la altura (m), el área foliar (superficie proyectada de una hoja individual, expresada en cm²), el área foliar específica (SLA); área de una hoja fresca (mm²) dividida por su masa seca (mg), el contenido en materia seca de la hoja (LDMC); la masa seca de una hoja (mg), dividida por su masa fresca (g) y la biomasa total de la planta (g). En la primavera de 2025, se recolectaron 280 individuos pertenecientes a 28 poblaciones de 18 de estas especies arvenses. El muestreo se realizó en campo durante la floración de las arvenses, seleccionando poblaciones en distintas regiones de la Península Ibérica que pudieran representar la distribución geográfica de cada especie en este territorio. Además, se registró la especie de cultivo, así como su altura y estado fenológico, junto con el tipo de manejo (convencional o ecológico) del campo donde se realizaron las recolecciones. Para cada especie y población se midió la altura de 30 individuos. Después, se cortó la parte aérea de 10 individuos y se conservaron en una nevera portátil hasta su llegada al laboratorio. Allí, se seleccionaron cinco hojas (bien desarrolladas y sin síntomas visibles de enfermedad) y se registró el peso fresco de cada una de ellas. A continuación, las hojas se escanearon (o fotografiaron). Las imágenes de cada hoja se utilizaron para determinar su área foliar. Tras el escaneado, las hojas se secaron en estufa a 60 °C durante 48 horas y se midió su peso seco. A partir de estas mediciones se calculó el SLA y el LDMC para cada una de las hojas. El peso seco total de la planta se obtuvo tras el secado en estufa (60 °C durante 48 horas) y sumando el peso de las cinco hojas analizadas.

2.1 Análisis numéricos

Para cada especie se obtuvo el valor medio y el coeficiente de variación (CV) de cada uno de sus rasgos. El CV se estima como la desviación estándar dividida por la media. Se trata de una medida adimensional que permite comparar fácilmente entre especies y rasgos (de Bello *et al.*, 2021). Los valores medios de cada una de las especies muestreadas se compararon con los valores obtenidos de una base de datos europea, FloraVeg (Chytrý *et al.*, 2024). Posteriormente, se utilizaron modelos lineales para evaluar si existían diferencias en estos valores (media y CV de cada rasgo) entre especies frecuentes y raras. De forma similar, se analizó la diferencia en el CV entre rasgos para determinar si algunos caracteres presentaban mayor variación que otros para el conjunto de las especies muestreadas. Igualmente, a modo ilustrativo, calculamos la densidad de probabilidad de rasgos (TPD, *Trait Probability Density*; de Bello *et al.*, 2021) para dos caracteres, el SLA y el LDMC, en dos de las especies muestreadas pertenecientes a la misma familia, pero con diferente frecuencia de aparición: *Papaver rhoeas* L. y *Roemeria hybrida* (L.) DC. El TPD representa la distribución de probabilidad de los valores de un rasgo dentro de una especie y, a diferencia de métricas resumidas como el CV, permite caracterizar la forma, amplitud y estructura de dicha distribución. Estos cálculos se realizaron utilizando el paquete TPD (Carmona *et al.*, 2019). Todos los análisis se realizaron en el entorno de R (versión 4.4.2; R Core Team 2024).

3. Resultados y discusión

Presentamos resultados preliminares sobre el valor y la magnitud de la variabilidad intraespecífica (CV) por rasgo para 13 de las especies estudiadas (tabla 1). El CV, expresado en %, muestra que la variabilidad intraespecífica de estas especies, considerando los individuos analizados, varía entre el 24 % y el 80 %. Se observaron diferencias en la variabilidad de los caracteres estudiados ($F_{4,57}=16,95$; $P<0,001$). En concreto, el peso de la planta es el carácter que mostró una mayor variabilidad (mayor CV), siendo esta similar en los otros rasgos estudiados. Estos resultados indican la elevada variabilidad existente entre individuos de una misma especie, incluso cuando han sido recolectados bajo condiciones similares en cultivos herbáceos de secano. El hecho de que el peso de la planta sea el carácter que presenta una mayor variabilidad podría deberse a diferencias en el momento de germinación entre los individuos muestreados o diferencias en la disponibilidad de recursos.

Tabla 1. Valores medios y coeficiente de variación (CV) de cada uno de los rasgos medidos en 280 individuos de 13 de las especies muestreadas por el grupo ECOHIERBA en 2025.

ESPECIE	FRECUENCIA	ALTURA		LA		SLA		LDMC		PESO PLANTA		Poblaciones
		media	CV	media	CV	media	CV	media	CV	media	CV	
<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	FR	46,3	0,26	6,74	0,49	21,83	0,47	176,46	0,27	2,75	0,90	2
<i>Bromus diandrus</i> Roth	FR	71,48	0,19					264,28	0,13			1
<i>Chenopodium album</i> L.	FR	52,6	0,24	4,34	0,43	20,03	0,31	230,96	0,40	2,67	0,56	2
<i>Fumaria parviflora</i> Lam.	FR	57,21	0,21	6,96	0,46	13,81	0,15	174,00	0,11	0,73	0,51	2
<i>Hypocoum procumbens</i> L.	FR	14,04	0,35	4,13	0,54	40,04	0,27	175,83	0,81	0,97	1,23	2
<i>Papaver rhoeas</i> L.	FR	45,5	0,38	10,90	0,76	29,62	0,14	205,60	0,37	4,03	1,42	2
<i>Veronica hederifolia</i> L.	FR	35,48	0,19	1,53	0,18	29,84	0,19	145,40	0,24	0,71	0,44	1
<i>Bromus rubens</i> L.	RA	37,66	0,25	2,34	0,35	26,34	0,15	287,40	0,21	3,18	1,03	1
<i>Centaurea depressa</i> M.Bieb.	RA	37,55	0,16	3,12	0,24	20,29	0,30	444,00	0,17	13,78	0,55	1
<i>Delphinium ajacis</i> L.	RA	48,94	0,18	2,78	0,72	38,55	0,27	296,60	0,25	0,31	0,60	1
<i>Hypocoum pendulum</i> L.	RA	11,58	0,33	5,32	0,44	40,85	0,37	99,12	0,21	1,71	0,78	1
<i>Strigosella africana</i> (L.) Botsch.	RA	18,2	0,21	3,10	0,28	13,7	0,15	285,30	0,20	1,18	0,43	1
<i>Roemeria hybrida</i> (L.) DC.	RA	24,97	0,37	3,94	0,69	20,30	0,29	267,36	0,29	1,43	1,28	3

Altura(m), LA (área foliar; cm²), SLA (área foliar específica; mm²/mg), LDMC (contenido en materia seca de la hoja; mg/g), peso planta (g). FR, especie frecuente. RA, especie rara.

Los análisis realizados no mostraron diferencias entre especies raras y frecuentes para ninguno de los caracteres analizados, tanto en el caso del valor medio como del CV ($P>0,05$). Sin embargo, el análisis de TPD entre *R. hybrida* y *P. rhoeas* mostró diferencias en la distribución de SLA y LDMC entre las dos especies, evidenciando un bajo grado de solapamiento en el espacio funcional (figura 1). *P. rhoeas* presentó una distribución de SLA y LDMC más estrecha y centrada, indicando una menor amplitud de su nicho funcional intraspecífico en comparación con *R. hybrida*. En conjunto, estos análisis sugieren que las diferencias en la frecuencia de aparición entre especies no se relacionan con la variabilidad de los rasgos estudiados. Además, muestran la potencialidad de los análisis TPD para describir de manera más completa el grado de solapamiento de los rasgos entre especies. Finalmente, la comparación entre nuestras mediciones y los datos incluidos en FloraVeg mostró que la base de datos solo ofrece valores para dos de los caracteres analizados (altura y SLA), aunque incluye información sobre otros caracteres no estudiados en este trabajo. Para estos caracteres, únicamente nueve especies contaban con datos de altura y seis con datos de SLA en FloraVeg. La comparación entre ambos conjuntos de datos (datos propios y FloraVeg) mostró una correlación moderada en el caso de la altura ($r=0,6$) y baja en el caso de SLA ($r=0,31$).

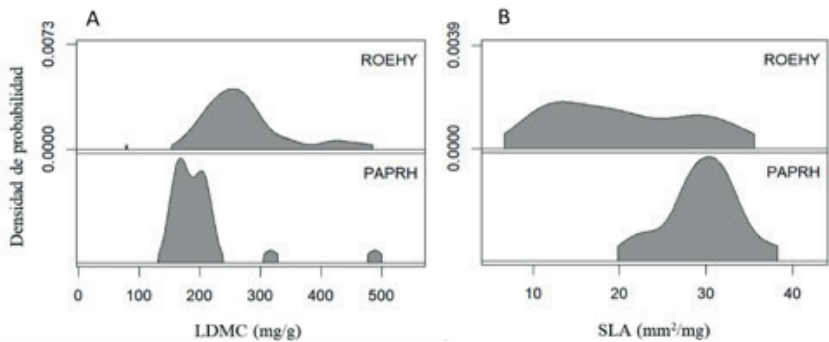


Figura 1. Solapamiento entre los TPD de SLA (a) y LDMC (b) para dos de las especies estudiadas en 2025; *Papaver rhoeas* y *Roemeria hybrida*.

4. Conclusiones

Nuestros resultados señalan la elevada variabilidad intraespecífica en las especies arvenses. Sin embargo, las especies y los rasgos estudiados no permiten identificar la amplitud del rasgo como una característica explicativa de la frecuencia de aparición de estas especies. Esto puede deberse a que, aunque las arvenses estudiadas presentan diferencias en su frecuencia de aparición, todas ellas están comúnmente asociadas a los cultivos herbáceos de secano. En próximas campañas ampliaremos el estudio incorporando un mayor número de especies, poblaciones y rasgos funcionales, incluidos caracteres relacionados con la germinación. Además, pretendemos analizar en qué medida la variabilidad intraespecífica observada puede explicarse por diferencias en el crecimiento y el tamaño de los individuos (alometría) o, por el contrario, refleja estrategias funcionales diferenciadas. Nuestros resultados señalan el potencial de los análisis TPD para evaluar el grado de solapamiento entre especies en el espacio funcional y avanzar en la comprensión de los mecanismos que estructuran las comunidades de arvenses.

Referencias

ADEUX G, VIEREN E, CARLES S, BÀRBERI P, MUNIER-JOLAIN N & CORDEAU S (2019) Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability*, 2, 1018-1026.

CARMONA CP, DE BELLO F & MASON NWH (2019) TPD: an R package for measuring functional diversity based on Trait Probability Density (TPD).

CHYTRÝ M, *et al.* (2024) FloraVeg.EU – an online database of European vegetation, habitats and flora. *Applied Vegetation Science*, 27, e12798.

DE BELLO F, CARMONA CP, DIAS ATC, GÖTZENBERGER L, MORETTI M & BERG MP (2021) *Handbook of Trait-Based Ecology: From Theory to R Tools*. Cambridge University Press.

MACLAREN C, STORKEY J, MENEGAT A, METCALFE H & DEHNEN-SCHMUTZ K (2020) An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment: A review. *Agro-nomy for Sustainable Development*, 40, 24.

PÉREZ-HARGUINDEGUY N *et al.* (2013) New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61, 167-234.

R CORE TEAM (2024) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

YVOZ S, CORDEAU S, PLOTEAU A & PETIT S (2021) A framework to estimate the contribution of weeds to the delivery of ecosystem (dis)services in agricultural landscapes. *Ecological Indicators*, 132, 108321.

P5. Introducción al proyecto AGROSOIL: Agro-ecological soil optimization for integrated weed management

P5. Introduction to the AGROSOIL project: Agro-ecological soil optimization for integrated weed management

MALUQUER J¹, BARAIBAR B¹

¹ DCEFA, Universitat de Lleida/AGROTECNIO, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29268

Email (por orden de autoría): jordi.maluquer@udl.cat ; barbara.baraibar@udl.cat

En los sistemas agrarios europeos, el control de las malas hierbas está basado mayoritariamente en el uso de herbicidas y/o el laboreo intensivo del suelo, estrategias que han permitido mantener la productividad, pero con un impacto ambiental y sobre la calidad del suelo importante. Para paliar estos efectos, desde el Pacto Verde de la Unión Europea se está promoviendo la transición hacia modelos agroecológicos que reduzcan la dependencia de estas estrategias. En este contexto, el proyecto europeo AGROSOIL (36 meses, 2025-2028) reúne ocho centros de investigación y diversos actores del sector agrario de cinco países europeos (Suecia, Noruega, Alemania, Holanda y España) con el objetivo de co-desarrollar estrategias de manejo agroecológico de las malas hierbas mediante la implementación de laboratorios vivos (*living labs*) a nivel nacional. Con esta metodología participativa, se pretende estudiar tanto el efecto de métodos agroecológicos de manejo como la relación que puede tener la microbiología del suelo sobre factores que afecten directamente a la composición y magnitud de las comunidades de malas hierbas y la producción del cultivo. Así mismo, se quiere analizar cómo distintas estrategias de manejo del suelo pueden modificar dicha microbiología. Finalmente, se quiere determinar y divulgar los posibles impactos sociales y económicos que pueden tener las nuevas estrategias para promover y favorecer su implantación. En el *living lab* de Lleida, las estrategias a estudiar se centrarán en i) favorecer la competencia por parte del cultivo a través de la introducción de microorganismos beneficiosos y ii) la optimización del uso de la escardadora rotativa como estrategia de manejo de hierbas en cereales de invierno.

Palabras clave: Agroecología, microbiología, *living lab*, competencia cultivo-mala hierba, control mecánico.

In European agricultural systems, weed control is still largely based on the use of herbicides and/or intensive soil tillage. Although these strategies have enabled the maintenance of crop productivity, they also have significant environmental impacts and negatively affect soil quality. To mitigate these effects, the European Union Green Deal is promoting the transition towards agroecological models that reduce dependence on such practices. In this context, the European project AGROSOIL (36 months, 2025-2028) brings together eight research institutions and several stakeholders from the agricultural sector across five European countries (Sweden, Norway, Germany, the Netherlands, and Spain) with the aim of co-developing agroecological weed management strategies through the implementation of national living labs. Using this participatory approach, the project seeks to study both the effects of alternative management practices and the potential relationship between soil microbiology and factors directly affecting weed community composition and crop production. Likewise, the project will analyse how different soil management practices may modify soil microbiology. Finally, the project aims to identify and

disseminate the potential social and economic impacts associated with these new strategies in order to promote and facilitate their adoption. Within the Lleida living lab, the strategies to be studied will focus on: i) enhancing crop competitiveness through the introduction of beneficial microorganisms, and ii) optimizing the use of the rotary hoe as a weed management strategy in winter cereals.

Keywords: Agroecology, microbiology, living lab, crop-weed competition, mechanical weed control.

1. Introducción

El control de las malas hierbas constituye uno de los principales retos agronómicos en los sistemas de producción de cereales de invierno (Flessner *et al.*, 2021). Tradicionalmente, el manejo de las malas hierbas se ha basado en labores mecánicas intensivas y en el uso de herbicidas químicos (Kopittke *et al.*, 2019). Sin embargo, estas estrategias han generado impactos negativos como la aparición de resistencias a herbicidas, la degradación de la estructura del suelo y una mayor dependencia de insumos externos (Gaines *et al.*, 2020; MacLaren *et al.*, 2020).

En este contexto, las estrategias de manejo agroecológico de malas hierbas (agroecological weed management, AEWM, por sus siglas en inglés) promueven comunidades arvenses más diversas y menos competitivas con los cultivos que pueden ser fundamentales para la estabilidad de los agroecosistemas (Adeux *et al.*, 2019; Storkey y Neve, 2018). Además de reducir la competencia con el cultivo, una mayor diversidad de malas hierbas puede favorecer servicios ecosistémicos como la polinización, el aporte de alimento y hábitat para niveles tróficos superiores (Marshall *et al.*, 2003), un mayor y más prolongado recubrimiento del suelo, el reciclaje de nutrientes y el mantenimiento de un microbioma edáfico diverso (Philippot *et al.*, 2013; Bardgett *et al.*, 2014; Freschet *et al.*, 2021).

El microbioma del suelo impulsa funciones cruciales de los agroecosistemas, como la fertilidad del suelo, la productividad de los cultivos y la tolerancia al estrés (Berg *et al.*, 2014). Distintas estrategias de manejo de malas hierbas, como el control mecánico o los cultivos de cobertura, tienen un impacto significativo sobre la diversidad, composición y funcionalidad microbiana del suelo y de la rizosfera de cultivos y malas hierbas (Babin *et al.*, 2019; Bier *et al.*, 2024; Cerecetto *et al.*, 2021). Aprovechando la influencia de estas interacciones, el microbioma del suelo puede utilizarse directamente como herramienta para el control de malas hierbas o la estimulación del crecimiento de los cultivos (Trognitz *et al.*, 2016).

En este contexto, el proyecto europeo AGROSOIL (Agro-Ecological Soil Optimization for Integrated Weed Management) propone un enfoque basado en la co-implementación de estrategias de manejo agroecológico de malas hierbas (AEWM) en condiciones reales mediante el desarrollo de *living labs*. El proyecto reúne a agricultores, investigadores y otros actores del sector agrario de cinco países europeos (Alemania, España, Holanda, Noruega y Suecia) con el objetivo de diseñar, adaptar y evaluar estrategias sostenibles de control de malas hierbas. Para ello, además de parámetros agronómicos del cultivo, se estudiará cómo distintas prácticas agroecológicas influyen sobre la diversidad funcional de las malas hierbas, el banco de semillas y el microbioma del suelo. También se evaluará si las interacciones entre los procesos biológicos del suelo y del cultivo pueden mejorar la fertilidad, la resiliencia y la sostenibilidad de los agroecosistemas. Además, el proyecto analizará la viabilidad social y económica de estas estrategias y promoverá su adopción mediante actividades de demostración y transferencia de conocimiento.

2. Material y métodos

Este proyecto se desarrolla mediante el establecimiento de *living labs*, que siguen un proceso participativo y progresivo en el que agricultores, investigadores, asesores y otros actores del sector colaboran en el

diseño, implementación, evaluación y mejora de estrategias de manejo agroecológico de malas hierbas (AEWM).

El proyecto es conducido por los centros de investigación de cada país participante. Está organizado mediante un reparto de tareas distribuidas en seis paquetes de trabajo (*Work Packages*, WP), donde cada uno es liderado por una institución distinta.

El WP1 Coordinación (*Coordination*), es el encargado de coordinar el proyecto, la comunicación entre socios y la gestión de datos y actividades.

El WP2 Co-innovación (*Co-Innovation*) actúa como eje metodológico del proyecto y establece la dinámica de los *living labs*: se identifican los actores implicados, se organizan talleres participativos y se seleccionan conjuntamente las estrategias de manejo más adecuadas para cada contexto agrícola.

El WP3 Interacciones planta-microorganismo (*Plant-microbe interactions*) estudia, principalmente mediante experimentos controlados y análisis microbiológicos de ADN, cómo el microbioma del suelo puede influir sobre el manejo agroecológico de malas hierbas y mejorar procesos como la degradación de semillas.

El WP4 Validación en campo (*Field Validation*), liderado por el Grup de Recerca de Malherbiologia i Ecologia (GREM) de la Universitat de Lleida (UdL), se centra en la implementación y validación en campo de las estrategias seleccionadas. En esta fase se recopilan datos sobre presencia y diversidad de malas hierbas, rendimiento del cultivo y características físico-químicas y del microbioma del suelo. Se realiza un seguimiento mensual de distintos parámetros del cultivo y de la comunidad de malas hierbas a lo largo del ciclo. Los muestreos incluyen recuentos de emergencia, estimaciones de recubrimiento vegetal, inventarios florísticos, cuantificación de biomasa aérea y evaluación final de rendimiento del cultivo.

Paralelamente, el WP5 Diversidad funcional (*Functional Diversity*) analiza cómo las distintas estrategias afectan a la diversidad funcional de las malas hierbas y del microbioma del suelo, con el objetivo de comprender las relaciones ecológicas entre ambos componentes.

Por último, el WP6 Impactos sociales y económicos (*Social and Economic Impacts*) evalúa la viabilidad social y económica de las estrategias desarrolladas mediante análisis de costes-beneficios, encuestas, entrevistas y talleres con los actores implicados.

Esta información se devuelve a los *living labs* para tener también el *feedback* de los agricultores y favorecer la adopción de las estrategias más eficaces y viables. Todo el proceso sigue una dinámica de aprendizaje continuo, donde los resultados obtenidos en cada campaña permiten adaptar y mejorar las prácticas implementadas, favoreciendo así la transición hacia sistemas agrarios más sostenibles y resilientes.

2.1 Las estrategias en Lleida

El 25 de noviembre de 2025 se inició el proyecto en Lleida, tras realizar la primera reunión con agricultores y asesores de la zona, en la que se decidió centrar los ensayos en la bioestimulación del cultivo y el trabajo superficial del suelo. De este modo, esta es la primera campaña en la que se está probando, por un lado, la inoculación de semillas o aplicación en campo de extractos de compost con alta carga microbiológica y, por otro lado, el uso y modo de empleo de la grada/rastra rotativa de estrellas para el control temprano de malas hierbas. Estas estrategias pretenden aumentar el potencial de crecimiento y la capacidad de competición del cultivo, a la vez que se pretende mejorar la biomasa y la diversidad microbiológica del suelo y mantener o mejorar su estructura.

Las estrategias de bioestimulación propuestas se comparan con manejos de fertilización tradicionales, como la aplicación de purín de cerdo o estiércol de vacuno a máxima capacidad (170 kg de N/ha) mientras que la grada/rastra rotativa de estrellas se estudia como alternativa a la aplicación de herbicida en pre y post emergencia, la grada de púas y el labrado antes de la siembra.

3. Resultados y discusión

Dado que el proyecto AGROSOIL comenzó recientemente y aún no ha terminado la primera campaña, todavía no se dispone de resultados experimentales. En estos primeros meses, las actividades se han centrado principalmente en la creación y coordinación de los *living labs*, la selección de las estrategias agroecológicas a implementar y el diseño de los protocolos experimentales que ya se están utilizando en los distintos ensayos de campo y en los estudios microbiológicos.

No obstante, se espera que el proyecto permita obtener información relevante sobre cómo distintas estrategias de manejo agroecológico del suelo pueden influir sobre la dinámica de las poblaciones arvenses y su diversidad funcional, el microbioma del suelo y la productividad de los cultivos. Además de los resultados agronómicos y ecológicos, el proyecto también prevé analizar la viabilidad económica y social de estas estrategias, facilitando y motivando su adopción por parte del sector agrario europeo.

4. Conclusiones

Aún no se pueden sacar conclusiones por la falta de resultados.

5. Agradecimientos

Los autores desean agradecer el financiamiento recibido por el programa Horizon Europe dentro de la Agroecology Partnership (2025-2028) que incluye el proyecto europeo AGROSOIL (Agro-Ecological Soil Optimization for Integrated Weed Management).

Referencias

- ADEUX G, VIEREN E, CARLES S, BÀRBERI P, MUNIER-JOLAIN N & CORDEAU S (2019) Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability*, 2, 1018-1026.
- BABIN D, DEUBEL A, JACQUIOD S, SØRENSEN SJ, GEISTLINGER J, GROSCH R & SMALLA K (2019) Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 129, 17-28.
- BARDGETT RD, MOMMER L & DE VRIES FT (2014) Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 29, 692-699.
- BERG G, GRUBE M, SCHLOTER M & SMALLA K (2014) Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 5, 148.
- BIER RL, DANIELS M, OVIEDO-VARGAS D, PEIPOCH M, PRICE JR, OMONDI E, *et al.* (2024) Agricultural soil microbiomes differentiate in soil profiles with fertility source, tillage, and cover crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 368, 109002.
- CERECETTO V, SMALLA K, NESME J, GARAYCOCHEA S, FRESIA P, SØRENSEN SJ *et al.* (2021) Reduced tillage, cover crops and organic amendments affect soil microbiota and improve soil health in Uruguayan vegetable farming systems. *FEMS Microbiology Ecology*, 97, fiab023.
- FLESSNER M, BURKE I, DILLE J, EVERMAN W, VANGESSEL M, TIDEMANN B, MANUCHEHRI M, SOLTANI N & SIKKEMA P (2021) Potential wheat yield loss due to weeds in the United States and Canada. *Weed Technology*, 35, 916-923.
- FRESCHET GT, ROUMET C, COMAS LH, WEEMSTRA M, BENGOUGH AG, REWALD B *et al.* (2021) Root traits as drivers of plant and ecosystem functioning: current understanding, pitfalls and future research needs. *The New Phytologist*, 232, 1123-1158.

GAINES T, DUKE S, MORRAN S, RIGON C, TRANEL P, KÜPPER A & DAYAN F (2020) Mechanisms of evolved herbicide resistance. *The Journal of Biological Chemistry*, 295, 10307-10330.

KOPITTKE PM, MENZIES NW, WANG P, MCKENNA BA & LOMBI E (2019) Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078.

MACLAREN C, STORKEY J, MENEGAT A, METCALFE H & DEHNEN-SCHMUTZ K (2020) An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 1-29.

MARSHALL EJP, BROWN VK, BOATMAN ND, LUTMAN PJW, SQUIRE GR & WARD LK (2003) The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research*, 43, 77-89.

PHILIPPOT L, RAAIJMAKERS JM, LEMANCEAU P & VAN DER PUTTEN WH (2013) Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology*, 11, 789-799.

STORKEY J & NEVE P (2018) What good is weed diversity? *Weed Research*, 58, 239-243.

TROGNITZ F, HACKL E, WIDHALM S & SESSITSCH A (2016) The role of plant-microbiome interactions in weed establishment and control. *FEMS Microbiology Ecology*, 92.

P6. Competitividad de las malas hierbas con el cultivo en una rotación cereal-leguminosa bajo distintos sistemas de laboreo: un estudio de 32 años

P6. Weed competitiveness in cereal-legume rotations under different tillage systems: A 32-year study

GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL¹, GARCÍA DE LEÓN D²

¹Departamento de Protección de Cultivos, Instituto de Agricultura Sostenible (CSIC), Córdoba, España; ²Servicio de Agroecología, Área de Investigación Aplicada y Extensión Agraria, Organismo Autónomo Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA), Alcalá de Henares, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29269

Email (por orden de autoría): andujar@ias.csic.es; david.garciadeleon@madrid.org

Las malas hierbas constituyen una de las principales limitaciones bióticas de la agricultura, al reducir el rendimiento y exigir estrategias de manejo más sostenibles. Este estudio analiza la dinámica a largo plazo de la competitividad de las malas hierbas mediante un experimento de campo de 32 años (1985-2017) en un sistema mediterráneo semiárido, basado en una rotación cereal-leguminosa y tres regímenes de manejo del suelo: laboreo convencional (LC), laboreo mínimo (ML) y siembra directa o no laboreo (NL). Mediante un enfoque de modelización de dinámica poblacional, se evaluaron los efectos competitivos de las principales especies dominantes, *Descurainia sophia*, *Papaver rhoeas*, *Veronica hederifolia* y *Fumaria* spp., sobre los rendimientos de trigo y veza. Los resultados indican que el LC intensifica las interacciones cultivo-maleza, especialmente en cereales, donde *D. sophia* mostró consistentemente la mayor capacidad competitiva. Por el contrario, ML y NL redujeron significativamente la intensidad de estas interacciones, lo que respalda la agricultura de conservación como una herramienta eficaz para el control sostenible de malas hierbas. Las fases con leguminosas presentaron menor presión de malas hierbas en todos los sistemas. El estudio subraya la necesidad de estrategias de manejo específicas por especie, integrando reducción del laboreo y diversificación de cultivos, y destaca el valor de los estudios a largo plazo para diseñar sistemas agrícolas resilientes y sostenibles.

Palabras clave: Competencia intra- e interespecífica, competencia con plantas arvenses, ránking de competitividad de malas hierbas, trigo, veza.

*Weeds represent one of the major biotic constraints in agriculture, as they reduce crop yields and demand more sustainable management strategies. This study analyzes the long-term dynamics of weed competitiveness through a 32-year field experiment (1985-2017) conducted in a semi-arid Mediterranean system, based on a cereal-legume rotation and three contrasting soil management regimes: conventional tillage (CT), minimum tillage (MT), and no-tillage or direct seeding (NT). Using a population-dynamics modelling approach, the competitive effects of the dominant weed species *Descurainia sophia*, *Papaver rhoeas*, *Veronica hederifolia*, and *Fumaria* spp. on wheat and vetch yields were evaluated. The results indicate that CT markedly intensifies crop-weed interactions, particularly in cereals, where *D. sophia* consistently exhibited the greatest competitive ability. In contrast, MT and NT significantly reduced the intensity of crop-weed interactions, supporting conservation agriculture as an effective tool for the long-term sustainable control of weeds. Legume phases showed*

lower weed pressure across all tillage systems. This study highlights the need for species-specific management strategies that integrate reduced tillage and crop diversification, and emphasizes the value of long-term studies for designing resilient and sustainable agricultural systems.

Keywords: Intraspecific and interspecific competition, vetch, weed competition, weed competitiveness ranking, wheat.

1. Introducción

Las malas hierbas son uno de los principales factores bióticos que limitan la producción agrícola, al competir con los cultivos por recursos y causar importantes pérdidas de rendimiento y económicas a nivel mundial. Aunque se apliquen medidas de control, las pérdidas siguen siendo relevantes, especialmente en los países en desarrollo.

La competitividad de las malas hierbas varía según la especie, el ambiente y las prácticas de manejo. En los sistemas cerealistas mediterráneos, especies como *Descurainia sophia* y *Papaver rhoeas* destacan por su elevada capacidad competitiva. Las prácticas de laboreo influyen decisivamente en estas interacciones: el laboreo convencional favorece la emergencia y el establecimiento de malas hierbas, mientras que el laboreo reducido y la siembra directa tienden a limitar su aparición y crecimiento, además de mejorar la salud del suelo.

La mayoría de los estudios de competencia se basan en experimentos de corta duración, lo que impide captar cómo las jerarquías competitivas de las malas hierbas se reconfiguran a largo plazo según el sistema de laboreo y la rotación de cultivos. Los recientes avances en dinámica de poblaciones permiten superar esta limitación mediante nuevos enfoques para cuantificar la competitividad relativa de las malas hierbas y apoyar estrategias de manejo específicas por especie (González-Andújar *et al.*, 2023).

En este contexto, el presente estudio aplica un enfoque analítico novedoso a un experimento de 32 años en el centro de España para evaluar cómo los distintos sistemas de laboreo influyen en la competencia cultivo-maleza en rotaciones cereal-leguminosa, contribuyendo al diseño de estrategias de manejo integrado más sostenibles.

2. Material y métodos

2.1 Sitio de estudio y diseño experimental

El experimento a largo plazo se llevó a cabo en la Estación Experimental El Encín. El sistema de cultivo consistió en una rotación bienal cereal-leguminosa bajo tres regímenes de laboreo: laboreo convencional (LC), mínimo laboreo (ML) y siembra directa o no laboreo (NL). Las densidades de malas hierbas (plantas m⁻²) se registraron anualmente, excepto en 1990 y 1997. Cuatro especies dominaron de forma consistente: *Descurainia sophia*, *Fumaria officinalis*, *Papaver rhoeas* y *Veronica hederifolia*. Una descripción detallada del experimento se puede encontrar en Hernández Plaza *et al.* (2015).

2.2 Modelado de la dinámica de poblaciones

Para modelizar los rendimientos del cultivo, se empleó la versión generalizada de la forma exponencial del modelo logístico en tiempo discreto (ec. 1; Lima *et al.*, 2012; Ferrero *et al.*, 2017):

$$R_t = r_{max} \cdot \exp((\sum_{j=1}^n a_j Y_{(t-1)}) + c_i) \quad (1)$$

donde R_t es la tasa anual de incremento del cultivo; r_{max} es una constante positiva que representa el incremento máximo del rendimiento del cultivo, estimada como el valor máximo observado en los datos; Y_{t-1} representa la densidad logarítmica de malas hierbas con un desfase de un año; c es una medida de la relación entre la oferta y la demanda de los recursos limitantes, y a representa la intensidad de la interacción intraespecífica (es decir, la respuesta funcional) y el parámetro a es el efecto competitivo de la especie j sobre el cultivo (cereal o leguminosa). En este caso $n=4$ (*P. rhoeas*, *V. hederifolia*, *D. sophia* y *Fumaria* spp). El modelo se ajustó por separado a los años de cereales y leguminosas mediante regresiones de mínimos cuadrados no lineales, utilizando la biblioteca 'nls' del entorno de computación estadística R. La bondad de ajuste del modelo se calculó mediante el RMSE. A partir de los parámetros de competencia obtenidos durante el proceso de ajuste, se estableció una matriz de interacción neta para el sistema (ver descripción en Freckleton & Watkinson, 2001; Gonzalez-Andujar *et al.*, 2023). Los elementos de esta matriz ($e_{ij} = ABS(a_{ij}/a_{ii})$) representan la interacción individual absoluta de la especie j sobre la especie i . En otras palabras, la matriz refleja la intensidad de la competencia intraespecífica e interespecífica entre las especies de malas hierbas objeto de estudio. Este enfoque permite comparar la equivalencia competitiva entre especies y sistemas, más allá de simples densidades (Gonzalez-Andujar *et al.*, 2023).

3. Resultados y discusión

Comprender la competitividad de las malas hierbas es esencial para evaluar su impacto sobre el rendimiento de los cultivos y para desarrollar estrategias de manejo específicas del sitio que apoyen la sostenibilidad agrícola. Identificar especies de malas hierbas altamente competitivas permite implementar medidas de control precisas, reduciendo la dependencia de herbicidas de amplio espectro y mitigando los efectos ambientales.

Los resultados de este estudio de 32 años proporcionan una comprensión integral de la competitividad de las malas hierbas en rotaciones cereal-leguminosa bajo los tres sistemas de laboreo evaluados. Los hallazgos ponen de manifiesto la naturaleza dinámica de la competencia y la importancia tanto de las prácticas de laboreo como del tipo de cultivo en la configuración de estas interacciones. Los modelos mostraron un buen ajuste, como lo evidencian los bajos valores de RMSE (tabla 1) (Royo-Esnal *et al.*, 2010).

Tabla 1. Parametrización de la ecuación 1 y bondad de ajuste (RMSE) para *Papaver rhoeas* (PAP), *Veronica hederifolia* (VER), *Descurainia sophia* (DES) y *Fumaria* spp (FUM). LC: Laboreo Convencional, ML: Mínimo laboreo, NL: Siembra directa o no laboreo.

Laboreo	CEREAL							LEGUMINOSAS						
	r_{max}	c	a_{DES}	a_{FUM}	a_{PAP}	a_{VER}	RMSE	r_{max}	c	a_{DES}	a_{FUM}	a_{PAP}	a_{VER}	RMSE
LC	6,15	0,37	0,38	-0,21	0,28	-0,16	0,84	1,55	-0,18	-0,24	0,16	0,043	-0,03	0,38
ML	4,55	-0,04	0,57	-0,45	-0,24	-0,01	0,61	1,77	-0,58	0,09	-0,05	-0,01	0,08	0,37
NL	4,92	-0,2	0,58	-0,27	0,13	-0,02	0,62	2,17	-0,75	0,20	-0,32	-0,54	0,17	0,46

A partir de los parámetros estimados (tabla 1) se construyó una matriz de interacciones netas (tabla 2) para cuantificar los valores de equivalencia por individuo entre las especies de malas hierbas y los cultivos bajo los distintos regímenes de laboreo. Los resultados revelaron diferencias en la intensidad de las interacciones cultivo-maleza entre los sistemas cereal y leguminosa, con efectos específicos del laboreo. La comparación de los sistemas de laboreo muestra que el laboreo convencional (LC) promueve las mayores interacciones cultivo-maleza, especialmente en cereales, donde los valores medios de interacción alcanzaron 17,35. Este resultado concuerda con estudios previos que indican que la alteración del suelo

asociada al laboreo convencional crea condiciones favorables para la germinación y el establecimiento de las malas hierbas (Liebman & Dyck, 1993). En contraste, los sistemas de laboreo mínimo (ML) y siembra directa (NL) redujeron dichas interacciones. En los cereales, la especie *D. sophia* emergió como la más competitiva en todos los sistemas de laboreo. La elevada capacidad competitiva de *D. sophia* se atribuye a su rápido crecimiento, alta plasticidad fenotípica y eficiencia en la absorción de nutrientes, particularmente nitrógeno (Lehnhoff *et al.*, 2025).

Tabla 2. Matriz de interacción. DES: *Descurainia sophia*; FUM: *Fumaria* spp.; PAP: *Papaver rhoeas*; VER: *Veronica hederifolia*. LC: laboreo convencional; ML: laboreo mínimo; NL: siembra directa o no laboreo.

LABOREO	CEREAL				LEGUMINOSA			
	DES	FUM	PAP	VER	DES	FUM	PAP	VER
LC	25,33	14,20	18,66	11,20	1,36	0,91	0,24	0,22
ML	1,39	1,12	0,59	0,02	0,17	0,09	0,02	0,15
NL	1,11	0,51	0,26	0,04	0,27	0,43	0,23	0,23

La elevada demanda de nitrógeno de los cereales intensifica aún más el impacto competitivo de las malas hierbas. Los menores valores de interacción observados bajo ML y NL se explican por la menor perturbación del suelo, que limita la exposición de las semillas de malas hierbas a la luz y al oxígeno, y por la acumulación de residuos de cultivo en superficie que suprimen físicamente la emergencia de las malas hierbas. Además, la mejora de la salud del suelo y el aumento de la actividad microbiana en estos sistemas pueden incrementar indirectamente la competitividad del cultivo. En los cultivos leguminosos, las interacciones cultivo-maleza fueron consistentemente más bajas que en los cereales bajo todos los sistemas de laboreo. Este menor nivel de competencia se asocia principalmente a la capacidad de fijación biológica de nitrógeno de las leguminosas (Zahran, 1999). Aunque el orden de competitividad de las especies varió según el sistema de laboreo, en general las interacciones fueron de baja magnitud.

En conjunto, estos resultados indican que el laboreo convencional favorece las mayores interacciones cultivo-maleza debido a la perturbación del suelo, mientras que los sistemas de laboreo de conservación reducen eficazmente la competencia y contribuyen a la sostenibilidad a largo plazo. La marcada reducción de las interacciones observada en cereales bajo ML y NL respalda las recomendaciones globales de reducir el laboreo como estrategia sostenible de manejo de malas hierbas.

Las implicaciones para el manejo integrado de malas hierbas son relevantes. La priorización del control de especies altamente competitivas como *D. sophia* puede generar beneficios sustanciales en la recuperación del rendimiento. La integración de prácticas como cultivos de cobertura, diversificación de cultivos y manejo preciso de nutrientes puede reforzar estos efectos, reduciendo la dependencia de herbicidas y promoviendo la salud del suelo a largo plazo.

4. Conclusiones

El sistema de laboreo condiciona de forma decisiva la competencia cultivo-maleza en rotaciones cereal-leguminosa. El laboreo convencional intensificó la competencia, especialmente en cereales, favoreciendo a especies muy competitivas como *Descurainia sophia*, mientras que el laboreo mínimo y la siembra directa la redujeron notablemente, reforzando el papel de la agricultura de conservación.

Las leguminosas mostraron menor presión de malas hierbas en todos los sistemas. La competitividad identificada proporciona una base para el manejo específico por especie. En conjunto, los resultados

apoyan la integración de reducción del laboreo y diversificación de cultivos para avanzar hacia sistemas agrícolas más resilientes.

5. Agradecimientos

Agradecemos al equipo de Luis Navarrete la dedicada gestión del experimento y el acceso a los datos. El CSIC ha financiado este trabajo a través del Proyecto Intramural 202440E145. El IMIDRA ha contribuido con los proyectos CEREDIV y PLABISO.

Referencias

FERRERO R, LIMA M, DAVIS AS & GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL (2017) Weed diversity affects soybean and maize yield in a long term experiment in Michigan, USA. *Frontiers in Plant Science*, 8, 236.

FRECKLETON RP & WATKINSON AR (2001). Asymmetric competition between plant species. *Functional Ecology*, 15, 615-623.

GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL, AGUILERA MJ & VAN ACKER R (2023) Quantifying and disentangling the competition effect of a weed community in a long-term biennial cereal-legume rotation. *Agro-nomy*, 13, 1432.

HERNÁNDEZ-PLAZA E, NAVARRETE L & GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL (2015) Intensity of soil disturbance shapes functional diversity of weed communities: The long-term effect of different tillage system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 207, 101-108.

LEHNHOFF EA, SCHUTTE BJ, RASHID A & SANOGO S (2025) Chapter 12 - *Descurainia sophia* (flixweed): a weed with many uses and ecological roles. En: EBEL R, MENALLLED F. *Agroecology of edible weeds and noncrop plants*, Londres: Academic Press, pp 209-224.

LIEBMAN M & DYCK E (1993) Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications*, 3, 92-122.

LIMA M, NAVARRETE L & GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL (2012) Climate effects and feedback structure determining weed population dynamics in a long-term experiment. *PLoS ONE* 7, e30569.

ROYO-ESNAL A, TORRA J, CONESA JA & RECASENS J (2010) Characterisation of emergence of autumn and spring cohorts of *Galium* spp. in winter cereals. *Weed Research*, 50, 572-585.

ZAHRAN HH (1999) Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63, 968-989.

P7. Evaluación de estrategias agroecológicas para el manejo de flora espontánea en viñedo atlántico: resultados de un experimento a corto plazo

P7. Evaluation of agroecological strategies for weed management in Atlantic vineyards: results from a short-term experiment

VIEITES-ÁLVAREZ Y^{1,2,*}, LÓPEZ-GONZÁLEZ D^{1,2}, GONZÁLEZ-GARCÍA E^{1,2}, ÁLVAREZ-BERMÚDEZ A¹, SÁNCHEZ-MOREIRAS AM^{1,2}

¹Departamento de Biología Vexetal e Ciencias do Solo, Universidade de Vigo, Vigo, España; ²Instituto de Agroecoloxía e Alimentación (IAA), Universidade de Vigo, Ourense, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29270

*E-mail: yedra.vieites.alvarez@uvigo.gal

La viticultura en regiones atlánticas enfrenta importantes desafíos asociados al cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la elevada dependencia de herbicidas para el control de la flora espontánea. En este contexto, el proyecto AGROSUS tiene como objetivo evaluar estrategias de manejo agroecológico que permitan mejorar la sostenibilidad de los sistemas vitícolas. Este trabajo presenta los resultados de un experimento a corto plazo realizado en un viñedo localizado en Vilachán (Tomiño, Galicia), donde se compararon distintas estrategias de manejo de la vegetación en la línea de cultivo. El ensayo incluyó cinco tratamientos: siembra controlada de cubierta vegetal, aplicación de biofilm, acolchado con corteza de pino, bioherbicida y herbicida convencional como referencia. El diseño experimental consistió en cuatro repeticiones por tratamiento, con dos filas de diez plantas cada una (80 plantas por tratamiento). Se monitorizaron variables relacionadas con la flora espontánea, el estado vegetativo de las plantas y la producción. Los resultados mostraron diferencias en la cobertura y composición de la flora espontánea entre tratamientos. Las estrategias basadas en cubiertas presentaron coberturas en porcentajes diversos, mientras que el tratamiento con herbicida mostró menor cobertura (~40%) pero presencia de especies potencialmente resistentes como *Erigeron bonariensis* L. y *Chenopodium album* L. Asimismo, se observaron diferencias significativas respecto al herbicida en variables de vigor de la planta, como la altura de la corona y el número de ojos, así como en el calibre de las uvas. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas en la producción total. Estos resultados preliminares indican que diversas estrategias agroecológicas pueden sustituir el control químico de la vegetación sin comprometer el rendimiento del viñedo en las condiciones evaluadas.

Palabras clave: Viticultura ecológica, flora espontánea, agroecología, cubiertas vegetales, viñedo atlántico.

Atlantic viticulture faces significant challenges associated with climate change, biodiversity loss, and the high dependence on herbicides for weed control. In this context, the AGROSUS project aims to evaluate agroecological management strategies to improve the sustainability of vineyard systems. This study presents the results of a short-term experiment conducted in a commercial vineyard located in Vilachán (Tomiño, Galicia, Spain), where different under-vine vegetation management strategies were compared. The trial included five treatments: controlled cover crop sowing, biofilm application, pine bark mulching, bioherbicide, and conventional herbicide as a reference. The experimental design consisted of four replicates per

*treatment, each comprising two rows of ten vines (80 vines per treatment). Variables related to weed flora, vine vegetative growth, and yield were evaluated. The results showed differences in weed cover and species composition among treatments. Cover crop-based strategies exhibited varying levels of vegetation cover, whereas the herbicide treatment resulted in lower weed cover (~40%) but promoted the presence of potentially resistant species such as *Erigeron bonariensis* L. and *Chenopodium album* L. Significant differences compared with the herbicide treatment were also observed for vine vigor parameters, including canopy height and bud number, as well as grape berry size. However, no significant differences were found in total yield. These preliminary results suggest that different agroecological strategies may replace chemical weed control without adversely affecting vineyard productivity under the conditions evaluated.*

Keywords: organic viticulture, weed management, agroecology, cover crops, Atlantic viticulture.

1. Introducción

El manejo de la flora espontánea constituye uno de los principales desafíos en los sistemas agrícolas modernos, debido a su elevada capacidad competitiva por recursos esenciales como el agua, los nutrientes y la luz, lo que puede traducirse en pérdidas significativas de rendimiento (Chauhan, 2020). Tradicionalmente, el control químico mediante herbicidas ha sido la herramienta predominante para su gestión, permitiendo reducir la competencia y optimizar la producción. Sin embargo, el uso intensivo y continuado de estos compuestos ha derivado en importantes limitaciones, entre las que destacan la aparición de resistencias en especies arvenses y los impactos negativos sobre el medio ambiente, incluyendo la contaminación de suelos y aguas y la afectación a organismos no diana (Loddo *et al.*, 2021; Ustuner *et al.*, 2020). En este contexto, la creciente proliferación de biotipos resistentes a herbicidas a nivel global representa una amenaza significativa para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, dificultando el control eficaz de determinadas especies y reduciendo las opciones de manejo disponibles (Heap, 2025). Además, la flora arvense no solo compite directamente con los cultivos, sino que también puede actuar como reservorio de plagas y patógenos, incrementando su impacto agronómico y complicando aún más su gestión (Khamare & Marble, 2023). Estas problemáticas adquieren especial relevancia en cultivos leñosos perennes como el viñedo, particularmente en regiones atlánticas, donde las condiciones climáticas favorecen el desarrollo continuo de la vegetación espontánea (Muñoz *et al.*, 2022). En este tipo de sistemas, el control de la flora arvense es un aspecto crítico para garantizar tanto la productividad como la calidad de la uva, pero al mismo tiempo debe abordarse desde una perspectiva sostenible que minimice los impactos ambientales. En respuesta a estos desafíos, en los últimos años se ha impulsado el desarrollo de estrategias de manejo basadas en principios agroecológicos, orientadas a reducir la dependencia de insumos químicos y a promover procesos ecológicos que contribuyan al control de la vegetación adventicia. Entre estas estrategias destacan el uso de acolchados orgánicos o la implantación de cubiertas vegetales, técnicas que han demostrado no solo ser eficaces en la supresión de malas hierbas, sino también aportar beneficios adicionales como la mejora de la estructura del suelo, el incremento de la biodiversidad funcional y la regulación de la humedad edáfica (Koudahe *et al.*, 2022; Saha *et al.*, 2018). El presente trabajo, enmarcado dentro del proyecto AGROSUS, tiene como objetivo evaluar, a corto plazo, la eficacia de distintas estrategias agroecológicas en el control de la flora espontánea en un viñedo atlántico, comparándolas con el manejo convencional basado en herbicidas, así como analizar su impacto sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo.

2. Material y métodos

2.1 Área de estudio y diseño experimental

El ensayo se llevó a cabo en un viñedo comercial situado en Vilachán (Tomiño, Galicia), perteneciente a la bodega La Val, representativo de las condiciones edafoclimáticas de la región atlántica. Con el fin de evaluar la eficacia de distintas estrategias de manejo de la flora espontánea, se estableció un diseño

experimental en bloques completamente aleatorizados, delimitando cuatro bloques dentro del viñedo. En cada uno de ellos se dispusieron subparcelas correspondientes a los diferentes tratamientos, con cuatro repeticiones por tratamiento. Cada subparcela estuvo constituida por dos filas de diez plantas, sumando un total de veinte cepas por unidad experimental. Los tratamientos evaluados incluyeron el manejo convencional mediante herbicida (glifosato) como referencia, junto con tres estrategias agroecológicas: acolchado con corteza de pino, colocación de biofilm y siembra de cubierta vegetal. Todas las intervenciones se realizaron en la línea de cultivo, cubriendo aproximadamente 50 cm a cada lado de la cepa, tras un laboreo previo del suelo para asegurar condiciones homogéneas de partida. El acolchado orgánico se aplicó mediante una capa de corteza de pino de aproximadamente 5 cm de espesor, considerada suficiente para limitar la germinación de especies arvenses al reducir la disponibilidad de luz y actuar como barrera física (Saha *et al.*, 2018; Sidhu *et al.*, 2024). En el caso de la cubierta vegetal, se realizó una siembra controlada de una mezcla de especies herbáceas, incluyendo leguminosas y gramíneas (*Trifolium* spp., *Festuca* spp., *Agrostis* spp. y *Poa* spp.), seleccionadas por su capacidad de competir con la flora espontánea y mejorar las propiedades del suelo (Oliveira *et al.*, 2020). El ensayo se estableció en marzo de 2025, tras el desborre de las cepas. Los tratamientos se aplicaron inmediatamente después del laboreo del suelo y las evaluaciones de cobertura de flora espontánea se realizaron entre abril y junio de 2025. Las variables morfológicas, fisiológicas y productivas se registraron en junio de 2025.

Este diseño permitió comparar de manera directa el efecto de las distintas estrategias sobre la flora arvense y el desarrollo del cultivo en condiciones reales de viñedo atlántico.

2.2 Variables analizadas

Para evaluar el efecto de las distintas estrategias de manejo, se analizaron variables relacionadas con la flora espontánea y el desarrollo del viñedo. La cobertura y composición de la flora arvense se estimaron mediante observación visual utilizando la escala de Braun-Blanquet, lo que permitió identificar las especies dominantes en cada tratamiento.

El desarrollo vegetativo de las cepas se evaluó a través de parámetros morfológicos como la circunferencia del tronco, la altura de la pantalla vegetal, la distancia del suelo a la vegetación y la longitud de los sarmientos. Asimismo, se determinó el porcentaje de abrocho como indicador del vigor y estado fenológico.

Además, se midieron parámetros fisiológicos relacionados con el estado hídrico de la planta, concretamente la conductancia estomática y la transpiración, mediante el uso de un porómetro portátil. Finalmente, se registraron variables productivas, incluyendo la producción total y el calibre de las uvas, con el fin de evaluar el impacto de los tratamientos sobre el rendimiento del cultivo.

2.3 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de normalidad (Shapiro-Wilk o Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Levene). Según el caso, se aplicaron ANOVA o pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis), con un nivel de significación de $p < 0,05$.

3. Resultados y discusión

3.1 Cobertura y composición de flora espontánea

La corteza de pino presentó el menor porcentaje de cobertura de las estrategias agroecológicas, lo que coincide con estudios previos que destacan su eficacia como barrera física frente a la germinación (Cabrera-Pérez *et al.*, 2023). Este efecto se atribuye a la limitación de luz y a posibles efectos alelopáticos (Saha *et al.*, 2018). La siembra mostró la mayor cobertura (~98%), dominada por especies implantadas

como *Trifolium repens*, lo que reduce la presencia de especies problemáticas mediante competencia por recursos (Cordeau, 2022). El tratamiento con herbicida mostró menor cobertura (~20%), pero con presencia de especies como *Erigeron bonariensis* L. y *Chenopodium album* L., asociadas a resistencia y alta persistencia (Granados *et al.*, 2023; Bajwa *et al.*, 2019) (tabla 1).

Tabla 1. Cobertura de la flora arvense identificada en los distintos tratamientos empleados de acuerdo con la escala de Braun-Blanquet.

ESPECIES	HERBICIDA	CORTEZA	BIOFILM	SIEMBRA
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.		1	2	3
<i>Chenopodium album</i> L.	+	1	R	R
<i>Coleostephus myconis</i> (L.) Rchb.f.		R	R	
<i>Crepis setosa</i> Haller f.		2	1	+
<i>Erigeron bonariensis</i> L.	1	1	1	+
<i>Geranium spp.</i>		+	+	+
<i>Hypochaeris glabra</i> L.		+	R	
<i>Hypochaeris radicata</i> L.		+	R	
<i>Leontodon hispidus</i> L.			R	
<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.		R		
Monocotiledóneas*		1	3	3
<i>Ornithopus compressus</i> L.			R	+
<i>Plantago lanceolata</i> L.		3	3	2
<i>Silene galica</i> L.			R	+
<i>Solanum quenopodioides</i> Lam.		+	+	+
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	R	1	+	1
<i>Trifolium repens</i> L.	R	+	2	3
<i>Veronica arvensis</i> L.		+	1	2

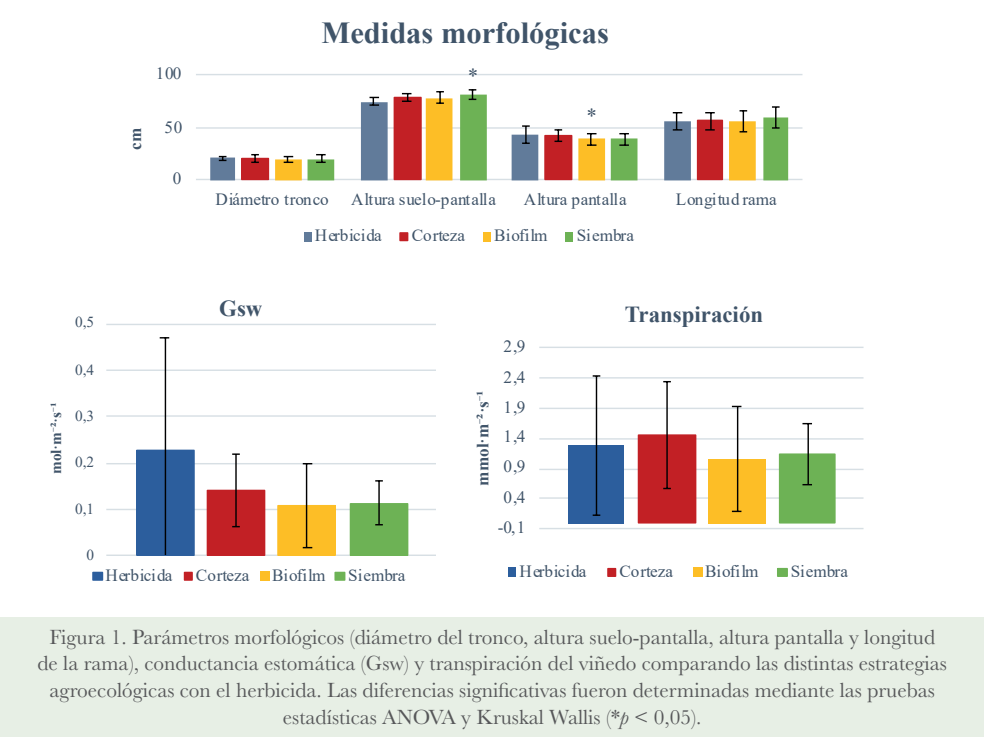
R < 5% (escasa aparición); + < 5% (maior aparición); 1 < 5% (aparición de numerosos individuos); 2 = 5-25% de cobertura; 3 = 25-50% de cobertura; 4 = 50-75% de cobertura y 5 = 75-100% de cobertura vegetal. *Monocotiledóneas no identificadas bajo desarrollo.

3.2 Desarrollo vegetativo, fisiología y producción

En general, las distintas estrategias de manejo no produjeron cambios relevantes en el desarrollo vegetativo de las cepas. No se observaron diferencias significativas en la mayoría de los parámetros morfológicos evaluados, como la circunferencia del tronco o la longitud de los sarmientos, lo que indica que las alternativas agroecológicas no afectan negativamente al crecimiento estructural de la vid. Únicamente se detectaron variaciones puntuales en la altura de la pantalla vegetal y en la distancia suelo-pantalla, principalmente asociadas al tratamiento con biofilm, posiblemente debido a limitaciones en su aplicación en condiciones de campo. De forma similar, los parámetros fisiológicos analizados, como la conductancia estomática y la transpiración, no mostraron diferencias significativas entre tratamientos,

lo que sugiere que las cepas no experimentaron situaciones de estrés hídrico diferenciadas (Benyahia *et al.*, 2023). Este resultado refuerza la idea de que las estrategias agroecológicas evaluadas no alteran de forma negativa el funcionamiento fisiológico de la planta.

En cuanto al rendimiento, no se detectaron diferencias significativas en la producción total entre tratamientos, aunque se observaron ligeras variaciones en el calibre de las uvas. Estos resultados son consistentes con estudios previos que indican que el uso de cubiertas vegetales o acolchados permite mantener la productividad del viñedo sin efectos adversos sobre el cultivo (Abad *et al.*, 2021; Mairata *et al.*, 2024). En conjunto, los resultados obtenidos durante el periodo evaluado indican que la sustitución del control químico por estrategias agroecológicas no compromete ni el desarrollo ni la producción del viñedo, al tiempo que reduce los riesgos asociados al uso continuado de herbicidas, como la aparición de resistencias en especies arvense.



4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio ponen de manifiesto que las estrategias agroecológicas evaluadas constituyen alternativas prometedoras al uso de herbicidas en el manejo de la flora espontánea en viñedo atlántico. En particular, el acolchado con corteza de pino y la siembra de cubiertas vegetales demostraron ser eficaces en la regulación de la cobertura vegetal, favoreciendo además comunidades menos problemáticas desde el punto de vista agronómico. A pesar de las diferencias observadas en la composición y cobertura de la flora arvense entre tratamientos, no se detectaron efectos negativos relevantes sobre el desarrollo vegetativo, el estado fisiológico ni la producción del cultivo. Este hecho sugiere que la sustitución del control químico por prácticas agroecológicas podría realizarse sin comprometer el rendimiento del viñedo a corto plazo. En conjunto, estos resultados refuerzan el potencial de las es-

trategias agroecológicas como herramientas clave para avanzar hacia sistemas vitícolas más sostenibles, reduciendo la dependencia de herbicidas y los riesgos asociados a su uso continuado, como la aparición de resistencias o los impactos ambientales.

Referencias

ABAD J, DE MENDOZA IH, MARÍN D, ORCARAY L & SANTESTEBAN LG (2021) Cover crops in viticulture. A systematic review (2): Implications on vineyard agronomic performance. *OENO One*, 55, 1-27.

BAJWA AA, ZULFIQAR U, SADIA S, BHOWMIK P & CHAUHAN BS (2019) A global perspective on the biology, impact and management of *Chenopodium album* and *Chenopodium murale*: two troublesome agricultural and environmental weeds. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 5357-5371.

BENYAHIA F, BASTOS CAMPOS F, BEN ABDELKADER A, BASILE B, TAGLIAVINI M, ANDREOTTI C & ZANOTELLI D (2023) Assessing grapevine water status by integrating vine transpiration, leaf gas exchanges, chlorophyll fluorescence and sap flow measurements. *Agronomy*, 13, 464.

CABRERA-PÉREZ C, LLORENS J, ESCOLA A, ROYO-ESNAL A & RECASENS J (2023) Organic mulches as an alternative for under-vine weed management in Mediterranean irrigated vineyards: Impact on agronomic performance. *European Journal of Agronomy*, 145, 126798.

CHAUHAN BS (2020) Grand challenges in weed management. *Frontiers in Agronomy*, 1, 3.

CORDEAU S (2022) Conservation agriculture and agroecological weed management. *Agronomy*, 12, 867.

GRANADOS E, ZELAYA I & PLAZA G (2023) Widespread occurrence of glyphosate-resistant hairy fleabane (*Erigeron bonariensis* L.) in Colombia and weed control alternatives. *Agronomy*, 13, 683.

HEAP I (2025) The International Herbicide-Resistant Weed Database. Disponible en: <https://www.weedscience.org> [Consultado el 7 junio 2025].

KHAMARE Y & MARBLE SC (2023) Mulching as a weed management tool in container plant production: A review. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1235196.

KOUDAHE K, ALLEN SC & DJAMAN K (2022) Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *International Soil and Water Conservation Research*, 10, 343-354.

LODDO D, MCELROY JS & GIANNINI V (2021) Problems and perspectives in weed management. *Italian Journal of Agronomy*, 16, 1854.

MAIRATA A, LABARGA D, PUELLES M, RIVACOBIA L, PORTU J & POU A (2024) Organic mulching versus soil conventional practices in vineyards: A comprehensive study on plant physiology, agronomic, and grape quality effects. *Agronomy*, 14, 2404.

MUÑOZ M, TORRES-PAGÁN N, JOUINI A, ARANITI F, SÁNCHEZ-MOREIRAS AM & VERDEGUER M (2022) Control of problematic weeds in Mediterranean vineyards with the bioherbicide pelargonic acid. *Agronomy*, 12, 2476.

OLIVEIRA MC, OSIPTAN OA, BEGCY K & WERLE R (2020) Cover crops, hormones and herbicides: Priming an integrated weed management strategy. *Plant Science*, 301, 110550.

SAHA D, MARBLE SC & PEARSON BJ (2018) Allelopathic effects of common landscape and nursery mulch materials on weed control. *Frontiers in Plant Science*, 9, 733.

SIDHU MK, CHAUDHARI S, LOPEZ RG, PATTERSON EL & SAHA D (2024) Preemergent li-verwort control by organic mulching in containerized ornamental production. *Horticulturae*, 10.

USTUNER T, SAKRAN A & ALMHEMED K (2020) Effect of herbicides on living organisms in the ecosystem and available alternative control methods. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 10, 633-641.

P8. Efecto de la temperatura sobre la germinación de *Gypsophila vaccaria*

P8. The effect of temperature on the germination of *Gypsophila vaccaria*

ALARCÓN-VÍLLORA MR¹, ROYO-SIMONELLA LA², NUÑEZ-GIMÉNEZ M², BATLLA D²

¹Área de Invest. Aplicada y Ext. Agraria, IMIDRA, Alcalá de Henares, España; ²Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Cultivos Industriales/IFEVA (CONICET), Buenos Aires, Argentina

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29271

Email (por orden de autoría): remedios.alarcon@madrid.org; lucasroyo@agro.uba.ar; marti-nunhez209@gmail.com; batlla@agro.uba.ar

Gypsophila vaccaria (L.) Sm. es una especie en declive, incluida en el grupo de arvenses raras. Menos estudiadas que las dominantes, podrían ser relevantes para conformar comunidades de arvenses neutras, sin efectos negativos sobre el rendimiento del cultivo y con efectos positivos sobre provisión de servicios ecosistémicos. Comprender los factores ambientales que regulan la germinación es necesario para favorecer su dinámica poblacional. Este trabajo presenta resultados preliminares sobre la germinación de *G. vaccaria* de dos experimentos realizados conjuntamente entre FAUBA e IMIDRA, en el marco del proyecto NeutraWeed. El objetivo es predecir la germinación de esta especie en función de la temperatura y el tiempo, con semillas recolectadas en julio de 2025 en Alcalá de Henares (Madrid, España). En agosto se incubaron en agua a seis temperaturas constantes (5, 10, 15, 20, 25 y 30 °C) y se registró la germinación a intervalos horarios. Con los registros a 10, 15 y 20°C se desarrolló un modelo de tiempo térmico, pues a 5, 25 y 30°C no hubo germinación. El tiempo necesario para el 50% de la germinación (T50) se utilizó para calcular la temperatura base (Tb), calculada en -1,97°C, que permitió establecer el tiempo térmico para el 50% de germinación (TT 50) en 1154°C h. La temperatura elevada se consideró un factor determinante de dormición, por lo que se planteó un segundo ensayo a 25°C con tres tratamientos (semillas perforadas, incubación en etileno y en fluoridona) y un control. Los datos registrados sugieren que la inhibición estaría asociada a dormición fisiológica regulada por la síntesis de novo de ABA. Estos resultados identifican el rango térmico favorable para la germinación en semillas de *G. vaccaria* y aportan indicios sobre la ecofisiología de sus semillas, relevantes para estrategias de restauración de comunidades arvenses.

Palabras clave: Arvenses raras, dormición fisiológica, velocidad de germinación.

Gypsophila vaccaria (L.) Sm. is a declining weed species classified as a rare weed. Although less studied than dominant weed species, it may play a significant role in forming neutral weed communities that have no negative impact on crop yield and provide positive ecosystem services. Understanding the environmental factors that regulate germination is necessary to support its population dynamics. This paper presents preliminary results on the germination of *G. vaccaria* from two experiments carried out jointly by FAUBA and IMIDRA, within the framework of the NeutraWeed project. The aim is to predict germination as a function of temperature and time for seeds of this species. In July 2025, seeds of *G. vaccaria* were collected in Alcalá de Henares (Madrid, Spain). In August, they were incubated in water at five constant temperatures

(5, 10, 15, 20, 25 and 30 °C). Germination was recorded at hourly intervals. A thermal time model was developed using the records at 10, 15 and 20 °C, as no germination occurred at 5, 25 and 30 °C. A thermal time model was developed using the data recorded at 10, 15 and 20°C, as no germination occurred at 5, 25 and 30°C. The time required for 50% germination (T_{50}) was used to calculate the base temperature (T_b), which was found to be -1.97 °C; this enabled the thermal time for 50 per cent germination (TT_{50}) to be established at 1154 °C h. High temperature was considered a determining factor in dormancy; therefore, a second experiment was conducted at 25 °C with three treatments (perforated seeds, ethylene incubation and fluoridone incubation) alongside a control. The recorded data suggest that inhibition is associated with physiological dormancy regulated by *de novo* synthesis of ABA. These results identify the favourable temperature range for germination in *G. vaccaria* seeds and provide insights into the ecophysiology of its seeds, which are relevant for strategies to restore weed communities.

Keywords: Rare arable plants, physiological dormancy, germination rate.

1. Introducción

La intensificación agraria ha supuesto una reducción de la diversidad de las comunidades arvenses y de la abundancia de algunas especies. Aquellas especies que han sufrido un mayor declive, debido a un mayor efecto de filtrado de las prácticas agrícolas, se han clasificado como raras. La ecofisiología asociada a las semillas que se explica por una reducida persistencia de los bancos de semillas, estrechas ventanas de germinación y producción de semillas limitadas, es un aspecto relevante para establecer estrategias de conservación. Por tanto, aumentar el conocimiento sobre la ecofisiología de la germinación de estas especies raras resulta de interés (Rühl *et al.*, 2015). El desarrollo de modelos de tiempo termal puede ser una herramienta que, en un marco cuantitativo, explique y permita predecir la germinación en función de la temperatura, considerada uno de los factores ambientales más determinantes para la germinación (Batlla & Benecht-Arnold 2015). La identificación de los valores que determinan el modelo permite relacionar las condiciones térmicas con los procesos fisiológicos internos de la semilla, separar el efecto de la temperatura sobre la dormición y analizar cómo cambios térmicos estacionales reducen progresivamente los requisitos para germinar. Desde una perspectiva ecofisiológica aplicada, dicha información puede resultar de utilidad en el diseño de estrategias de restauración ecológica y manejo de cultivos, considerando: el escalonamiento de la germinación, la posibilidad de sincronización con ventanas ambientales favorables y la formación de bancos de semillas. Con el objetivo de profundizar en el conocimiento de los procesos de germinación de especies arvenses raras, se planteó un ensayo conjunto entre IMIDRA y FAUBA, en el marco del proyecto NeutraWeed. En este trabajo se presentan los resultados preliminares de los ensayos de germinación realizados con *Gypsophila vaccaria* (L.) Sm., especie perteneciente a la familia Caryophyllaceae considerada rara (Torra *et al.*, 2020).

2. Material y métodos

2.1 Recolección de semillas de *Gypsophila vaccaria* y ensayos de germinación

En un campo de trigo, situado en la finca El Encín en Alcalá de Henares (Latitud: 40°31'24"N, Longitud: 3°17'33"O), se recolectaron, en julio de 2025, semillas de *G. vaccaria* en el momento de maduración. Estas semillas se conservaron a temperatura ambiente hasta agosto, que se utilizaron en dos ensayos en cámaras de germinación (**E1** y **E2**).

El objetivo de **E1** fue desarrollar un modelo de tiempo térmico de germinación para lo que se incubaron, en cuatro repeticiones, 30 semillas en oscuridad a seis temperaturas constantes (5, 10, 15, 20, 25 y 30 °C) en placas Petri sobre dos capas de papel de filtro humedecidos con 5 ml de agua destilada. Las

placas se sellaron con film para mantener la humedad y se colocaron en las cámaras de germinación. Al detectar que las semillas incubadas a 25°C no germinaban, se planificó una nueva prueba (**E2**) en cámara de germinación a 25°C.

El objetivo de **E2** fue identificar el origen del bloqueo de la germinación, considerando aspectos fisiológicos o físicos debidos a la presencia de la cubierta seminal. Se incluyeron tres tratamientos diferentes que se compararon con un control de semillas intactas incubadas en agua destilada: i) semillas incubadas con etileno (1mM); ii) semillas en las que se perforó la cubierta seminal con un bisturí incubadas en agua destilada y iii) semillas con la cubierta perforada y tratadas con una solución de fluoridona (100 µM), un inhibidor de la síntesis de Ácido Abscísico (ABA). Se prepararon cuatro placas Petri con 30 semillas para cada tratamiento. En los dos ensayos, se realizaron conteos de germinación bajo luz natural a diferentes intervalos horarios, desde la siembra hasta completar 10 días en **E1** y 13 días en **E2**. Estos conteos se realizaron a intervalos de entre 4 y 12 horas, con la excepción del tratamiento con fluoridona en el que solo se registró el porcentaje final de semillas germinadas en cada placa. Se consideró que las semillas estaban germinadas cuando la radícula alcanzó una longitud ≥ 2 mm, registrando el número y eliminándolas de la placa. En el momento del conteo, si se consideró necesario, se añadió agua destilada.

2.2 Análisis estadístico E1

Análisis del tiempo de germinación: Los datos de germinación registrados en **E1** se utilizaron para el ajuste de un modelo no lineal, con el objeto de detectar si se produce curvatura térmica en el rango de temperaturas evaluado. El modelo logístico se ajustó con la función drmt del paquete drcte (Onofri *et al.*, 2022) de R Project (R Core Team, 2025), que contempla el límite inferior cero. Este modelo incluye las semillas no germinadas (censuradas), realiza el ajuste considerando los intervalos entre los muestreos y considera la temperatura como un tratamiento. La función de distribución utilizada fue una log-logística (LL.3) con tres parámetros: el tiempo necesario para alcanzar el 50 % de la germinación final (T_{50}), la pendiente de la curva (p) y el porcentaje de la germinación máxima (%). La temperatura base (T_b) se estimó ajustando una regresión lineal entre la tasa de germinación, calculada como el inverso del tiempo necesario para alcanzar el 50 % de germinación ($1/T_{50}$) y las tres temperaturas de incubación. Se calculó el error cuadrático medio (RMSE) a partir de los valores observados y predichos obtenidos del modelo ajustado.

Modelo de tiempo térmico: La influencia de la temperatura sobre la germinación se analizó mediante un modelo de tiempo térmico que permite integrar la temperatura como una variable fisiológica con efecto sobre la germinación en relación al tiempo térmico e integrar la temperatura en un único modelo (García-Huidobro *et al.*, 1982). Asumimos que la velocidad de germinación aumenta linealmente con la temperatura por encima de una temperatura umbral mínima y comprobamos que las temperaturas de nuestros modelos se encuentran en el intervalo subóptimo de germinación. El tiempo térmico acumulado (TT) para cada observación se calculó como: $TT = (T - T_b) \cdot t$ para $T > T_b$ asignando valores nulos cuando $T \leq T_b$. La relación entre la proporción acumulada de germinación y el tiempo térmico se describió mediante un modelo log-logístico de tres parámetros, con límite inferior fijado en cero, a partir del cual se estimó el tiempo térmico necesario para alcanzar el 50 % de germinación (TT_{50}). Este enfoque permitió integrar el efecto de la temperatura en un marco fisiológicamente interpretable y comparable entre condiciones térmicas. El modelo se ajustó con la función drm del paquete drc (Ritz *et al.*, 2015) en R project. RMSE se calculó a partir de los valores observados y predichos obtenidos del modelo ajustado.

2.2 Análisis estadístico E2

Los datos de los distintos tratamientos de **E2** se analizaron mediante un modelo lineal generalizado con distribución binomial y función de enlace logit, con la función glm en R Project (R Core Team, 2025). El porcentaje de germinación fue la variable respuesta, el tratamiento fue el efecto fijo y la placa el efec-

to aleatorio que permitió controlar la variabilidad experimental. La significancia de los efectos se evaluó mediante un análisis de varianza (ANOVA) basado en pruebas de Chi-cuadrado.

3. Resultados y discusión

En **E1** no se obtuvo ningún registro de germinación, para el período de estudio, bajo condiciones de 5, 25 y 30°C, por lo que los análisis se han realizado considerando 10, 15 y 20°C (figura 1A). Se determinó un tiempo de germinación (T_{50}) de 110,6 h a 10°C, 74,2 a 15°C y 59,7 h a 20°C, con efecto significativo de la temperatura sobre la dinámica de la germinación: una disminución marcada de T_{50} cuando la temperatura aumenta y un aumento de la sincronía de la germinación. El porcentaje de germinación en cada temperatura se mantuvo constante, alcanzando en todos los casos valores cercanos al 100 %. El modelo log-logístico tuvo un buen ajuste (RMSE = 0,26) y nos permitió el cálculo de la temperatura base ($T_b = -1.97^\circ\text{C}$). Este dato se utilizó para ajustar el modelo de tiempo térmico (figura 1B) en el que se asumió una respuesta germinativa común a través de las distintas temperaturas dentro del rango subóptimo con un buen ajuste (RMSE = 0,07). Se observó una germinación máxima del 93 % y el valor obtenido de TT_{50} fue 1154°C h (error estándar 7,39). Este valor sirve como una mejor aproximación a la predicción de la germinación de la especie.

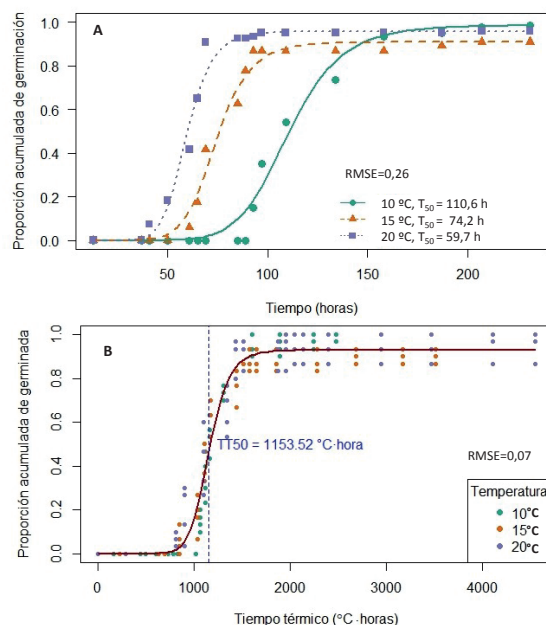


Figura 1. Proporción acumulada de semillas germinadas a 10°C, 15°C y 20°C en función del: A) tiempo (horas); B) tiempo térmico (°C horas y TT_{50}). Los puntos representan los valores observados y las líneas representan el ajuste de un modelo log-logístico de tres parámetros.

Los resultados de **E2** señalan mayor proporción de germinación en todos los tratamientos estudiados (semillas perforadas, incubadas en etileno, incubadas en fluoridona y embriones) frente al control (figura 2). Sin embargo, entre el control y las semillas perforadas e incubadas en etileno no se encontraron diferencias significativas, que son diferentes de los embriones y las semillas incubadas en fluoridona. Estos resultados sugieren que la dormición detectada es de naturaleza fisiológica y que la síntesis de *ABA* de

ABA estaría implicada en dicha regulación (Nambara *et al.*, 2010; Le Page-Degivry *et al.*, 1992). Si se tratara de dormición física se tendría un aumento significativo de los niveles de la germinación con el perforado de las cubiertas, que no se ha producido.

Nuestros resultados señalan que, en el momento de la dispersión, las semillas expresan dormición a altas temperaturas (25°C) para evitar la geminación durante la estación estival seca, tal y como también señala el trabajo de Martínez-Duro *et al.* (2007). Sin embargo, el alto porcentaje de germinación observado a temperaturas más bajas que 25°C supone una baja dormición general de las semillas y, por tanto, la dificultad de formar un banco de semillas persistentes en el suelo. Este factor que se corresponde con lo encontrado en diferentes especies consideradas raras debería integrarse en las estrategias de manejo de arvenses centradas en la conservación de la diversidad de las comunidades, tal y como remarcan Rühl *et al.* (2015). Es relevante, a su vez, continuar la evaluación de la germinación en diferentes poblaciones, ya que se ha demostrado que existen diferencias entre poblaciones, las cuales podrían asociarse a estrategias de adaptación a condiciones ambientales específicas (Duddu & Shirtliffe, 2014). Finalmente, es necesario continuar las investigaciones para dilucidar los mecanismos fisiológicos que estarían detrás de la expresión de la dormición a altas temperaturas en semillas de esta especie.

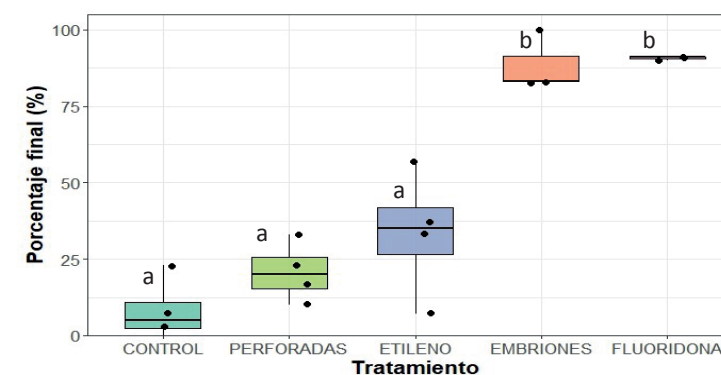


Figura 2. Distribución del porcentaje final de germinación en función de los tratamientos realizados en E2: Control, semillas perforadas, incubación en etileno, embriones incubados en agua destilada y semillas perforadas incubadas en fluoridona. Los puntos representan los valores observados. Diferentes letras indican diferencias significativas a nivel $p = 0,05$.

4. Conclusiones

Los datos sugieren que la inhibición de la germinación a altas temperaturas en semillas de *G. vaccaria* estaría asociada a la presencia de dormición fisiológica y que la síntesis de *ABA* estaría involucrada en dicha regulación actuando sobre el balance con las giberelinas (Finch-Savage & Leubner-Metzger 2006). Estos resultados nos permitieron determinar el rango térmico favorable para la germinación de *G. vaccaria* y aportar indicios sobre aspectos de la ecofisiología de sus semillas, relevantes para las estrategias de restauración de comunidades arvenses.

5. Agradecimientos

Trabajo financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte Europa Europea bajo las acciones MSCA, acuerdo de subvención n.º 101182891 — NEUTRAWEEED.

Referencias

- BATLLA D & BENECH-ARNOLD RL (2015) A framework for the interpretation of temperature effects on dormancy and germination in seed populations showing dormancy. *Seed Science Research*, 25, 147-158.
- DUDDU HSN & SHIRTLIFFE SJ (2014) Variation of Seed Dormancy and Germination Ecology of Cowcockle (*Vaccaria hispanica*). *Weed Science*, 62, 483-492.
- FINCH-SAVAGE WE & LEUBNER-METZGER G (2006) Seed dormancy and the control of germination. *New phytologist*, 171, 501-523.
- GARCÍA-HUIDOBRO J, MONTEITH JL & SQUIRE GR (1982) Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). *Journal of Experimental Botany*, 33, 297-302.
- LE PAGE-DEGIVRY MT & GARELLO G (1992) In situ abscisic acid synthesis: a requirement for induction of embryo dormancy in *Helianthus annuus*. *Plant physiology*, 98, 1386-1390.
- MARTÍNEZDURO E, COPETE MA, FERRANDIS P & HERRANZ JM (2007) Estudio de la ecología de la germinación de la especie arvense anual de invierno *Vaccaria hispanica* (Caryophyllaceae). En: Congreso SEMh 2007 (7-9 noviembre, Albacete, España). 103-106.
- NAMBARA E, OKAMOTO M, TATEMATSU K, YANO R, SEO M & KAMIYA Y (2010) Absciscic acid and the control of seed dormancy and germination. *Seed Science Research*, 20, 55-67.
- ONOFRI A, MESGARAN MB & RITZ C (2022) A unified framework for the analysis of germination, emergence, and other time-to-event data in weed science. *Weed Science*, 70, 259-271.
- R Core Team (2025) R: A language and environment for statistical computing (V 4.4.3) [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- RITZ C, BATY F, STREIBIG JC & GERHARD D (2015) Dose-response analysis using R. *Plos One*, 10, e0146021.
- RÜHL AT, ECKSTEIN RL, OTTE A & DONATH TW (2015) Future challenge for endangered arable weed species facing global warming: Low temperature optima and narrow moisture requirements. *Biological Conservation*, 182, 262-269.
- TORRA J, FORCELLA F, RECASENS J & ROYO-ESNAL A (2020) Emergence patterns of rare arable plants and conservation implications. *Plants*, 9, 309.

P9. La maleza perenne *Lepidium draba* L.: competencia con el trigo sin efectos de legado en cultivos de secano

P9. The perennial weed *Lepidium draba* L.: Competition with wheat without soil legacy effects in rainfed cropping systems

MEDINA-VILLAR S¹, HERNÁNDEZ PLAZA E¹, ROYO-SIMONELLA LA², BOSAZ L³, ALARCÓN-VÍLLORA MR⁴

¹Departamento de Protección Vegetal, INIA-CSIC, Madrid, España; ²Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Cultivos Industriales/IFEVA (CONICET), Buenos Aires, Argentina; ³Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (Aapresid), Rosario, Argentina; ⁴Departamento de Investigación Agroambiental, IMIDRA, Alcalá de Henares, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29272

Email (por orden de autoría): silvia.medina@inia.csic.es; eva.hernandez@inia.csic.es; lucas-royo@agro.uba.ar; bosaz@aapresid.org.ar; remedios.alarcon@madrid.org

Lepidium draba L. (Brassicaceae) es una especie arvense perenne rizomatosa cuya reproducción vegetativa le proporciona ventajas para su propagación y persistencia en cultivos de secano. Sin embargo, sus posibles efectos legados en el suelo o competitivos directos en los cultivos y las especies arvenses son poco conocidos. Los objetivos de este estudio fueron: (1) cuantificar el efecto competitivo de *L. draba* sobre la biomasa de trigo, (2) caracterizar las comunidades de arvenses en presencia y ausencia de *L. draba*, y (3) evaluar los efectos legados en el suelo por *L. draba* sobre la emergencia de arvenses y de garbanzo, diferenciando entre efectos mediados por alelopatía o por la microbiota del suelo. En parcelas con y sin *L. draba* se evaluó la biomasa de trigo, se realizaron muestreos de vegetación y de suelo en cultivos de garbanzo y trigo. En cámara de cultivo, en los suelos recolectados se registró la emergencia de especies del banco de semillas: 1) con y sin adición de carbón activado para testar posibles efectos alelopáticos y 2) con y sin esterilización para evaluar la influencia microbiana. *L. draba* redujo la biomasa de trigo en un 47%, sin efecto significativo por parte de otras arvenses, demostrando fuertes efectos de competencia directa. Su presencia en campo se asoció con mayor diversidad de arvenses. Sin embargo, no se detectaron efectos legados en el suelo por *L. draba* ni mediados por alelopatía ni por la microbiota del suelo.

Palabras clave: Alelopatía, banco de semillas del suelo, comunidad de malezas, interacciones planta-suelo, microorganismos del suelo.

Lepidium draba L. (Brassicaceae) is a rhizomatous perennial weed species whose vegetative reproduction provides advantages for its spread and persistence in rainfed crops. However, its potential soil legacy effects and direct competitive effects on crops and weed species remain poorly understood. The objectives of this study were to: (1) quantify the competitive effect of *L. draba* on wheat biomass, (2) characterize weed communities in the presence and absence of *L. draba*, and (3) evaluate soil legacy effects caused by *L. draba* on the emergence of weeds and chickpea, distinguishing between effects mediated by allelopathy and by the soil microbiota. In plots with and without *L. draba*, wheat biomass was assessed and vegetation and soil samples were collected in chickpea and wheat fields. Under growth chamber conditions, seed bank emergence from collected soils was recorded: (1) with and without activated carbon addition to test for potential allelopathic effects, and (2) with and without soil sterilization to evaluate microbial influence. *L. draba* reduced wheat biomass by 47%, whereas no

significant effect of co-occurring weed species was detected, demonstrating strong direct competitive effects. Its presence in the field was associated with higher weed diversity. However, no soil legacy effects mediated either by allelopathy or by the soil microbial community were detected.

Keywords: Allelopathy, plant-soil interactions, soil microorganisms, soil seed bank, weed community.

1. Introducción

Los efectos que las especies vegetales dominantes ejercen sobre las comunidades vegetales pueden persistir tras su eliminación debido a mecanismos de legado del suelo y retroalimentaciones planta-suelo asociadas (Jing *et al.*, 2022). A través de sus exudados de raíz, estas especies pueden modificar de forma persistente la química, el ciclo de nutrientes y las comunidades microbianas del suelo, afectando al crecimiento de otras plantas y, en consecuencia, a la estructura de la comunidad (Hannula *et al.*, 2021). Como resultado, una especie dominante puede generar condiciones desfavorables para algunas especies vecinas y favorables para otras o para sí misma. En agroecosistemas, las arvenses dominantes son aquellas que alcanzan mayor abundancia y biomasa dentro del cultivo (Cordeau *et al.*, 2020). Estas especies requieren un control prioritario debido a su fuerte competencia con el cultivo y a las pérdidas de rendimiento de la cosecha y económicas asociadas (Cordeau *et al.*, 2020). Además, las retroalimentaciones planta-suelo generadas por especies dominantes pueden favorecer comunidades arvenses más o menos perjudiciales para los cultivos, por lo que conocer tanto sus efectos directos como su influencia sobre la comunidad vegetal resulta relevante para diseñar estrategias de manejo más eficaces. *Lepidium draba* L. (Brassicaceae) es una especie arvense perenne rizomatosa que, en prospecciones previas realizadas, se ha detectado que puede alcanzar altas abundancias en cultivos de secano en algunos puntos del centro de España. Su elevada capacidad de reproducción vegetativa favorece su propagación y persistencia (Larson *et al.*, 2000; Santín-Montanyá *et al.*, 2018). Estudios previos han mostrado su elevada capacidad competitiva frente a otras especies (Puliafico *et al.*, 2011) y el potencial alelopático de sus tejidos aéreos y de raíz (Qasem 2004). Debido a la elevada biomasa subterránea que acumula, esta especie podría modificar la química y microbiota del suelo (Hannula *et al.*, 2021). Sin embargo, los efectos de legado del suelo y los efectos competitivos directos de *L. draba* sobre los cultivos siguen siendo poco conocidos.

Por ello, los objetivos de este estudio fueron: (1) cuantificar el efecto de *L. draba* sobre la biomasa de trigo (*Triticum aestivum* L.), (2) caracterizar las comunidades arvenses en presencia y ausencia de *L. draba*, (3) evaluar los efectos de legado del suelo sobre la emergencia de arvenses del banco de semillas y sobre la emergencia de las arvenses *Amaranthus blitoides* S.Watson, *Anacyclus clavatus* (Desf.) Pers. y el garbanzo (*Cicer arietinum* L.), y (4) diferenciar posibles efectos mediados por alelopatía o por la microbiota del suelo.

2. Material y métodos

2.1 Efecto de *L. draba* en la biomasa de trigo

En abril de 2025, en un campo de trigo de invierno (sembrado en noviembre de 2024) perteneciente al Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA), situado en La Canaleja (Alcalá de Henares, Madrid, España; N 40° 31' 15,7", W 3° 18' 19,1", se recolectó la biomasa de trigo, *L. draba* y otras especies arvenses en parcelas infestadas y no infestadas por *L. draba* (n = 10) mediante marcos de 50 × 50 cm. Las muestras se secaron en estufa (60 °C, >48 h) y se pesaron.

2.2 Experimentos de legado del suelo

Se realizaron dos muestreos independientes de suelo en El Encín (Alcalá de Henares, España; N 40° 31' 21,1", W 3° 17' 51,9"): (1) en enero de 2025, en un campo de trigo sembrado en noviembre de 2024, y (2) en febrero de 2025, en otro campo agrícola labrado aproximadamente un mes antes. En cada muestreo se seleccionaron 20 cuadrantes (25 × 25 cm) infestados por *L. draba* y 20 no infestados, registrándose la abundancia de *L. draba* y del resto de especies arvenses, así como la riqueza, abundancia y diversidad vegetal mediante índice de Shannon (H')

$$(1) \quad H' = \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

donde "S" es el número total de especies y "p_i" es la proporción de individuos pertenecientes a la especie. En cada cuadrante se recolectaron los primeros 11 cm de suelo, que se transportó al laboratorio, se secó al aire durante 24 h, se tamizó (2 mm) y se dividió en dos submuestras. En el muestreo de enero, una mitad recibió carbón activado (CA; 20 mL L⁻¹ de sustrato; Inderjit y Callaway 2003) para evaluar posibles efectos alelopáticos, mientras que, en el muestreo de febrero, la mitad de las submuestras se esterilizó en autoclave (121 °C, 15 psi, dos ciclos de 60 min) para evaluar el papel de la comunidad microbiana del suelo sobre *A. clavatus*, *A. blitoides* y *C. arietinum*. Cada submuestra (450 mL) se colocó en macetas de plástico (12 cm de diámetro × 5,5 cm de profundidad), que se mantuvieron en una cámara de crecimiento (20 ± 1 °C / 25 ± 2 °C, fotoperiodo de 16 h luz/8 h oscuridad y 300 µE m⁻² s⁻¹) y se regaron según fue necesario para favorecer la emergencia del banco de semillas. La emergencia de plántulas se registró durante aproximadamente tres meses, hasta el cese de nuevas emergencias, calculándose la riqueza, abundancia y diversidad (H'). Además, en los suelos de febrero, se sembraron cinco semillas de *A. clavatus* en 10 muestras seleccionadas al azar y cinco semillas de *A. blitoides* en las 10 restantes para cada combinación de tratamientos (presencia de *L. draba* × esterilización). En todas las muestras (n = 20) se sembraron también cuatro semillas de *C. arietinum*; sin embargo, únicamente emergieron plántulas en los suelos esterilizados debido a la pudrición fúngica de las semillas en los suelos no esterilizados. La emergencia de plántulas se registró diariamente y, para las especies sembradas, se calcularon el porcentaje de emergencia (E) y el índice de velocidad de emergencia (VE) según la fórmula de Einhellig *et al.* (1982):

$$(2) \quad VE = \left[N_1 + \frac{(N_2 - N_1)}{2} + \frac{(N_3 - N_2)}{3} + \dots + \frac{(N_n - N_{n-1})}{n} \right] \times 100$$

donde N₁, N₂, N₃ y N_n representan la proporción de semillas que dieron lugar a plántulas emergidas en los días 1, 2, 3... n tras el inicio del experimento. El VE varía desde 0, si ninguna semilla emerge al final del experimento, hasta 100, si todas las semillas emergen el primer día.

2.3 Análisis estadísticos

La biomasa de trigo se analizó mediante un modelo lineal que incluyó como predictores la presencia de *L. draba*, la biomasa de arvenses coexistentes y su interacción. La biomasa de trigo se transformó logarítmicamente y la biomasa de arvenses se estandarizó para facilitar la interpretación de la interacción. Además, se realizó un análisis de mediación basado en modelos lineales e intervalos de confianza bootstrap (5.000 iteraciones) para evaluar posibles efectos indirectos de *L. draba* sobre la biomasa de trigo mediados por las arvenses coexistentes. El efecto de *L. draba* sobre la biomasa de trigo, la biomasa de arvenses coexistentes y los atributos de la comunidad arvense registrados en campo y en cámara de cultivo (especies emergidas del banco de semillas) se evaluó mediante ANOVAs de una vía. Los efectos de *L. draba*, el carbón activado (CA), la esterilización del suelo y sus interacciones sobre la abundancia, riqueza, diversidad, emergencia (E) y velocidad de emergencia (VE) de especies arvenses se analizaron mediante ANOVAs de dos vías, excepto para *C. arietinum* en suelos esterilizados, que se analizó mediante

ANOVA de una vía. Las variables dependientes se transformaron cuando fue necesario para cumplir los supuestos de normalidad y homocedasticidad. La significación estadística se estableció en $p \leq 0,05$ y todos los análisis se realizaron en R (R Core Team, 2025).

3. Resultados y discusión

La biomasa de trigo fue significativamente menor en parcelas infestadas por *L. draba* mientras que la biomasa de las arvenses coexistentes no difirió entre parcelas con y sin esta especie (tabla 1). La presencia de *L. draba* se asoció con una reducción aproximada del 47% en la biomasa de trigo (IC 95 %: 21-64 %; figura 1), mientras que la biomasa de las arvenses coexistentes no tuvo un efecto significativo sobre el cultivo (figura 1). La interacción entre *L. draba* y la biomasa de arvenses sobre la biomasa de trigo fue marginalmente significativa (figura 1A), sugiriendo una tendencia a un mayor efecto negativo de las arvenses sobre el trigo en presencia de *L. draba*. Sin embargo, el análisis de mediación no mostró evidencias de efectos indirectos mediados por las arvenses coexistentes, indicando que la reducción de biomasa del trigo se debió principalmente al efecto directo de *L. draba* (figura 1B).

Tabla 1. Media y error estándar de la biomasa (g) de trigo y de arvenses coexistentes (sin contar *L. draba*) en plots infestados y no infestados por *L. draba*. Se muestran también los resultados del ANOVA para cada variable respuesta.

VARIABLE RESPUESTA		MEDIA ± EE
Biomasa de trigo ($F = 49,3$; $P < 0,0001$)	Plots infestados	29,3 ± 2,4
	Plots no infestados	74,1 ± 8,1
Biomasa de arvenses coexistentes ($F = 0,28$; $P = 0,602$)	Plots infestados	0,60 ± 0,13
	Plots no infestados	0,55 ± 0,25

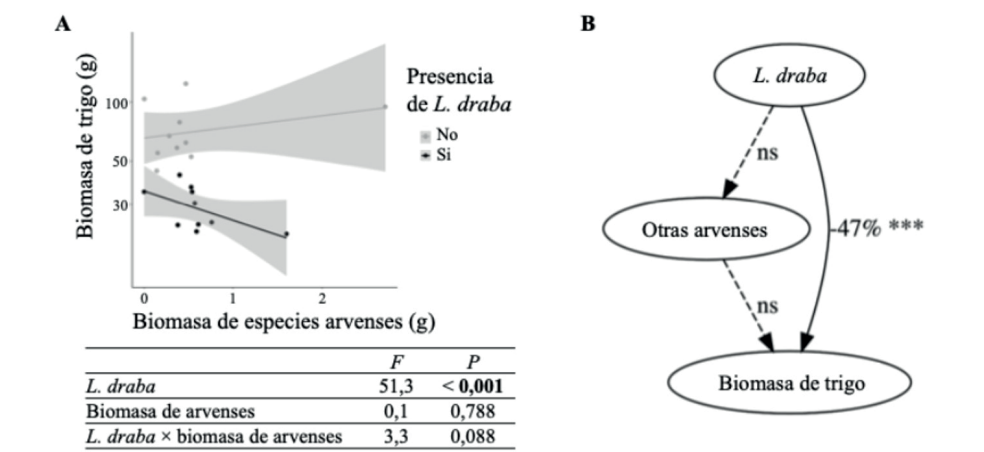


Figura 1. (A) Relación entre la biomasa de trigo y la biomasa de arvenses en parcelas con y sin *L. draba* (puntos negros y grises, respectivamente). Las líneas representan modelos lineales ajustados ± IC 95 %. En la tabla se muestra también el resultado del ANOVA de dos vías para el efecto de la presencia de *L. draba*, la biomasa de arvenses y la interacción entre ellas sobre la biomasa de trigo. (B) Diagrama conceptual de los efectos directos e indirectos de *L. draba* sobre la biomasa de trigo. Las flechas continuas y discontinuas indican relaciones significativas y no significativas (ns), respectivamente.

Estos resultados confirman la elevada capacidad competitiva directa de esta especie, de acuerdo con estudios previos (Puliafico *et al.*, 2011), y sugieren que un control dirigido específicamente a *L. draba* podría mejorar el rendimiento del trigo manteniendo cierta diversidad de arvenses menos perjudiciales (Cordeau *et al.*, 2020). En febrero, las parcelas infestadas por *L. draba* presentaron en promedio 11,8 ± 0,7 plantas de *L. draba* y mostraron mayor abundancia, riqueza y diversidad de especies arvenses que las parcelas no infestadas (tabla 2), resultados similares a los observados en enero (datos no mostrados). En los suelos recolectados en enero, la abundancia, riqueza y diversidad de las especies emergidas del banco de semillas no difirieron entre suelos infestados y no infestados, y la adición de CA tampoco tuvo efectos significativos, lo que sugiere que la alelopatía no constituye un mecanismo relevante de legado del suelo en *L. draba*. Sin embargo, podría ser que los posibles compuestos alelopáticos se degraden rápidamente en el suelo (Kobayashi 2004), ya que estudios previos muestran el potencial alelopático de esta especie (Qasem 2004). Por otro lado, en febrero se observó una mayor abundancia, riqueza y diversidad de plantas emergidas en los suelos infestados por esta especie (tabla 2), indicando una posible asociación de *L. draba* con condiciones favorables para otras arvenses y potenciales mecanismos de retroalimentación positiva (Jing *et al.*, 2022). No obstante, el diseño del estudio no permite determinar si estas condiciones fueron generadas directamente por *L. draba*. Futuros estudios realizados en condiciones más controladas podrían esclarecer si *L. draba* establece interacciones planta-suelo que favorecen el crecimiento de otras especies arvenses. La emergencia de *A. blitoides*, *A. clavatus* y *C. arietinum* no varió en función de la presencia previa de *L. draba* en el suelo (datos no mostrados), pero la emergencia de las dos especies arvenses se vio favorecida por la presencia de microorganismos en el suelo (datos no mostrados). En conjunto, estos resultados sugieren escasos efectos de legado del suelo por *L. draba*, tanto sobre la comunidad arvense como sobre el garbanzo en este estadio temprano de desarrollo, y ponen de manifiesto la importancia de la microbiota del suelo para el establecimiento y crecimiento de las plantas.

Tabla 2. Media (± EE, n = 20) de la abundancia (nº de plantas emergidas), riqueza (nº de especies emergidas) y diversidad (Shannon) de especies arvenses en parcelas con y sin *L. draba* (febrero) y en el banco de semillas de sus respectivos suelos. Los asteriscos indican diferencias significativas entre parcelas con y sin *L. draba* (ANOVA, $P < 0,05$).

	PRESENCIA DE <i>L. DRABA</i>	ABUNDANCIA	RIQUEZA	SHANNON
Datos de campo (muestreo de febrero)	Si	3,25 ± 0,64*	1,90 ± 0,26*	0,50 ± 0,11*
	No	0,95 ± 0,31	0,60 ± 0,20	0,12 ± 0,07
Datos del banco de semillas en cámara de cultivo	Si	2,7 ± 1,0*	0,20 ± 0,08*	1,2 ± 0,2*
	No	0,2 ± 0,1	0,03 ± 0,03	0,2 ± 0,1

4. Conclusiones

Los resultados muestran un fuerte efecto competitivo directo de *L. draba* sobre el trigo, pero no aportan evidencias de efectos de legado del suelo mediados por alelopatía o por la microbiota del suelo. Los suelos agrícolas infestados por *L. draba* no parecen afectar negativamente la emergencia del garbanzo. No obstante, la presencia de *L. draba* podría favorecer mecanismos de retroalimentación positiva con otras especies arvenses.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por IMIDRA (proyecto FP24_CEREDIV)

Referencias

- CORDEAU S, ADEUX G & DEYTIEUX V (2020) Diversity is the key for successful agroecological weed management. *Indian Journal of Weed Science*, 52, 204-210.
- EINHELLIG FA, SCHON MK & RASMUSSEN JA (1982) Synergistic effects of four cinnamic acid compounds on grain sorghum. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1, 251-258.
- HANNULA SE, HEINEN R, HUBERTY M, *et al.* (2021) Persistence of plant-mediated microbial soil legacy effects in soil and inside roots. *Nature Communications*, 12, 5686.
- INDERJIT & CALLAWAY RM (2003) Experimental designs for the study of allelopathy. *Plant and Soil*, 256, 1-11.
- JING J, CONG W & BEZEMER TM (2022) Legacies at work: plant-soil-microbiome interactions underpinning agricultural sustainability. *Trends in Plant Science*, 27, 781-792.
- KOBAYASHI, K. (2004). Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed Biology and Management*, 4, 1-7.
- LARSON LL, DURHAM SL & SHELEY RL (2000) Hoary cress reproduction in a sagebrush ecosystem. *Western North American Naturalist*, 60, 374-381.
- PULIAFICO KP, SCHWARZLÄNDER M, PRICE WJ, HARMON BL & HINZ HL (2011) Native and exotic grass competition with invasive hoary cress (*Cardaria draba*). *Invasive Plant Science and Management*, 4, 38-49.
- QASEM JR (2004) Allelopathic plants: 11. *Cardaria draba* (L.) Desv. *Allelopathy Journal*, 13, 165-172.
- R CORE TEAM (2025) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- SANTÍN-MONTANYÁ MI, CASANOVA C, ZAMBRANA E, SÁNCHEZ-JIMÉNEZ FJ & TENORIO JL (2018) Arable weed species associated with soil tillage systems under Mediterranean conditions. *Land Degradation & Development*, 29, 865-874.

P10. Estrategias agroecológicas para el control de malas hierbas en calabacín en el área biogeográfica mediterránea

P10. Agroecological strategies for weed control in zucchini in the Mediterranean biogeographical area

PAZOOKI H¹, TORRES-PAGÁN N¹, MARCO-GALIANO C¹, POBES-BAILO V¹, RODRÍGUEZ-GARCÍA D¹, FORMICA V², DE LOS RÍOS N¹, MARTINEZ-BERNAL V¹, BASTIDA-ALBADALEJO P¹, DI MERCURIO M³, VERDEGUER M¹

¹Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universitat Politècnica de València, Valencia, España; ²Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente, Università degli Studi di Catania, Italia; ³Dipartimento di Scienze Biologiche di Base, Cliniche Intensivologiche e Perioperatorie, Università Cattolica del Sacro Cuore, 00168 Rome, Italia

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29273

Email (por orden de autoría): hpazook@upv.es; natorpa@upv.es; cmargal@upv.es; vpob-bai@upv.es; drodrig3@upv.es; valentina.formica@phd.unict.it; ndelosrios@college.harvard.edu; vmarber@posgrado.upv.es; pbasalb@etsiamn.upv.es; mattia.dimercurio@unicatt.it; merversa@eaf.upv.es

El calabacín (*Cucurbita pepo* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes en la región mediterránea, donde las condiciones climáticas permiten una producción intensiva, tanto en campo abierto como en sistemas protegidos. Sin embargo, la interferencia de las malas hierbas limita la productividad del cultivo, reduciendo el rendimiento y aumentando los costes de producción. Además, el control químico está cada vez más restringido debido al reducido número de herbicidas autorizados y al riesgo de fitotoxicidad. En este contexto, durante la campaña de 2025 se realizó un experimento de campo en un cultivo de calabacín situado en Meliana (Valencia, España), en el marco del proyecto europeo AGROSUS, que estudia estrategias agroecológicas para el manejo de malas hierbas en cultivos clave europeos. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes estrategias agroecológicas de manejo de malas hierbas sobre la flora arvense y el cultivo de calabacín. Se compararon tres estrategias agroecológicas: (i) rotación de cultivos combinada con biofilm y control mecánico; (ii) rotación de cultivos combinada con acolchado de paja de arroz y control mecánico; y (iii) rotación de cultivos combinada con acolchado de paja de maíz y control mecánico. Estas estrategias se evaluaron frente a un sistema convencional, basado en acolchado de plástico negro. La flora arvense se evaluó a lo largo del ciclo del cultivo, determinando las especies, su cobertura y estado fenológico. Las variables agronómicas estudiadas incluyeron el índice SPAD, la floración y fructificación, el número de frutos por planta y los parámetros de calidad del fruto.

Palabras clave: Agroecología, gestión integrada de arvenses, acolchado, calabacín, paja de arroz, paja de maíz.

Zucchini (*Cucurbita pepo* L.) is one of the most important horticultural crops in the Mediterranean region, where climatic conditions allow intensive production in both open-field and protected systems. However, weed interference limits crop productivity by reducing yield and increasing production costs. In addition, chemical weed control is becoming increasingly restricted due to the limited number of authorised herbicides and the risk of crop phytotoxicity. In this context, a field experiment was conducted during the 2025 growing season in a zucchini crop located in Meliana (Valencia, Spain), within

the framework of the European project AGROSUS, which studies agroecological strategies for weed management in key European crops. The aim of this study was to evaluate the effect of different agroecological weed management strategies on weed flora and zucchini crop performance. Three agroecological strategies were compared: (i) crop rotation combined with biofilm and mechanical control; (ii) crop rotation combined with rice straw mulch and mechanical control; and (iii) crop rotation combined with maize straw mulch and mechanical control. These strategies were evaluated against a conventional system based on black plastic mulch. Weed flora was assessed throughout the crop cycle by determining species composition, coverage, and phenological stage. Agronomic variables included SPAD index, flowering and fruiting phenology, number of fruits per plant, and fruit quality parameters.

Keywords: Agroecology, integrated weed management, mulching, zucchini, rice straw, maize straw.

1. Introducción

El calabacín (*Cucurbita pepo* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes en Europa, especialmente en la región mediterránea, donde predominan los sistemas de producción intensivos. La competencia ejercida por las malas hierbas es una limitación agronómica importante, ya que reduce el rendimiento del cultivo al competir por luz, agua y nutrientes. Además, afecta al crecimiento, disminuye la calidad comercial de los frutos, dificulta la recolección y aumenta los costes de producción asociados a su control. (Oerke, 2006). El grado de interferencia de las malas hierbas depende tanto del cultivo como de las especies arvenses presentes, así como de su densidad, distribución espacial y la duración de la interferencia (Recasens y Conesa, 2021). Estudios recientes han demostrado que estrategias alternativas de manejo pueden reducir eficazmente la biomasa y densidad de las malas hierbas manteniendo la productividad del cultivo, aunque dichas prácticas pueden modificar la composición de las comunidades arvenses (Chirilli *et al.*, 2025).

Como respuesta a estos desafíos, el manejo integrado y agroecológico de malas hierbas (Agroecological Weed Management, AWM) se ha convertido en una prioridad estratégica en el contexto europeo. En este sentido, el AWM ha emergido como un enfoque sostenible basado en la integración de procesos ecológicos y prácticas diversificadas, tales como acolchados, rotaciones de cultivo y control mecánico, con el objetivo de regular las comunidades de malas hierbas (Boinot *et al.*, 2024). Estas estrategias se encuentran alineadas con las políticas europeas actuales, incluyendo el Pacto Verde Europeo (*Green Deal*) y la estrategia *Farm to Fork*, que persiguen reducir en un 50 % el uso de pesticidas para 2030 y promover sistemas agrícolas más sostenibles. Por ello, este estudio se enmarca en el proyecto europeo AGROSUS (*Agroecological Strategies for Sustainable Weed Management*), financiado en el marco del programa Horizon Europe, cuyo objetivo es identificar herramientas y estrategias agroecológicas para la prevención y el control de malas hierbas en los cultivos clave europeos, en las 11 regiones biogeográficas europeas, incluida la región mediterránea (Sánchez-Moreiras *et al.*, 2024).

2. Material y métodos

El ensayo fue realizado en una parcela comercial de la empresa Verdures Gorrito S.L, situada en el término municipal de Meliana (Valencia, España) entre el 08/05/2025 y el 07/07/2025. Se probaron 3 estrategias agroecológicas (combinaciones de al menos 3 medidas agroecológicas) en un campo de calabacín convencional, donde se aplican tratamientos herbicidas desde hace más de 10 años. Las estrategias agroecológicas que se ensayaron fueron: 1) Rotación de cultivos combinada con control mecánico y plástico negro (manejo convencional del cultivo); 2) Rotación de cultivos combinada con control mecánico y biofilm; 3) Rotación de cultivos combinada con control mecánico y acolchado de paja de arroz

y 4) Rotación de cultivos combinada con control mecánico y acolchado de paja de maíz. Se realizó un diseño de bloques al azar para cada estrategia, con 4 repeticiones. Cada repetición tenía 3 filas de cultivo, con 5 plantas en cada una (15 plantas en total). La distancia entre líneas de cultivo fue de 1,2 m y la separación entre plantas en la misma línea de 0,8 m. Se utilizó un sistema de fertirrigación localizada y se garantizó un correcto manejo de la sanidad del cultivo durante la realización del experimento.

Para evaluar el número de frutos producidos por cada tratamiento, se recolectaron frutos de 4 plantas seleccionadas de las 15 de cada repetición, y se cosecharon cada 3 días entre el 03/06/2025 y el 04/07/2025. Una vez recolectados, los frutos se clasificaron en función de su calidad comercial en frutos en estado comercial, grandes, deformes y pequeños.

3. Resultados y discusión

Las diferentes estrategias agroecológicas ensayadas generaron variaciones tanto en el número de frutos para cada categoría de fruto evaluada (comerciales, grandes, pequeños e irregulares), como en el peso medio de los frutos de calabacín (figura 1). La incorporación de materiales orgánicos como acolchados tuvo un efecto favorable en el cultivo, ya que el tratamiento de paja de arroz produjo un mayor número de frutos comerciales y la cobertura de malas hierbas no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al control (plástico negro convencional) (figura 1). Estos resultados coinciden con los hallazgos de Bucki *et al.* (2021), quienes observaron que los acolchados orgánicos y el laboreo reducido favorecen el rendimiento del calabacín y reducen la interferencia de malas hierbas mediante la mejora de las condiciones microclimáticas y edáficas. Asimismo, Visconti *et al.* (2024) señalaron que los acolchados con paja de arroz en condiciones mediterráneas contribuyen a aumentar la humedad y moderar la temperatura del suelo, favoreciendo un entorno más adecuado para el desarrollo del cultivo.

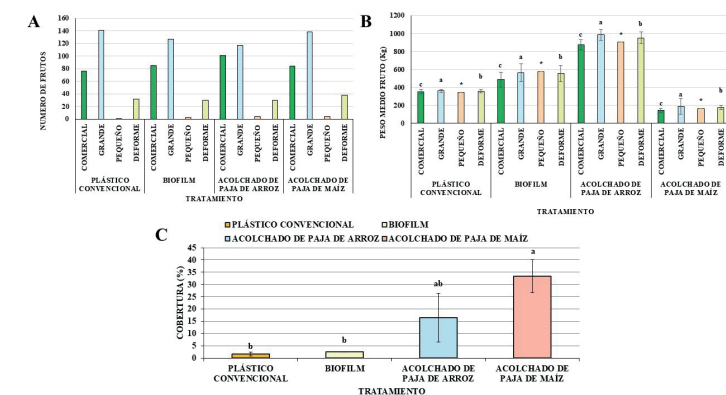


Figura 1. Efecto de los diferentes tratamientos de acolchado sobre la producción de frutos y la cobertura de malas hierbas. (A) Número de frutos clasificados según su categoría comercial: comercial, grande, pequeño y deforme. (B) Peso medio de los frutos (kg) para cada categoría. (C) Cobertura de malas hierbas (%) registrada en los tratamientos. En la figura 1A, los valores representan el sumatorio de frutos para cada categoría por tratamiento. En las figuras 1B y 1C, los valores representan la media $\pm$ error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0,05$). Los valores con * indican los casos en los que no se realizó el análisis estadístico debido a un número insuficiente de observaciones.

El tipo de acolchado no modificó significativamente el peso medio de los frutos dentro de una misma categoría (datos no presentados). Sin embargo, en cada tratamiento se observaron diferencias significativas entre las categorías de fruto, tal como se muestra en la figura 1B.

La cobertura total de malas hierbas fue significativamente mayor en el acolchado de paja de maíz que en el plástico negro, el biofilm y la paja de arroz. Las especies se presentan en orden decreciente de abundancia relativa: bajo plástico negro predominaron *Cyperus rotundus* L., *Amaranthus blitoides* S. Watson y *Sonchus tenerrimus* L.; en el biofilm, *C. rotundus* y *A. blitoides* mostraron una abundancia similar. En la paja de arroz predominaron *A. blitoides*, *Coriandrum sativum* L. (cultivo precedente) y *Setaria verticillata* (L.) P. Beauv. En la paja de maíz predominaron *C. sativum*, *S. verticillata* y *A. blitoides*, seguidas por *Portulaca oleracea* L. y *Sonchus oleraceus* L., estas dos últimas no detectadas en los demás tratamientos.

4. Conclusiones

Entre las medidas agroecológicas evaluadas, el acolchado con paja de arroz mostró el comportamiento agronómico más favorable, al presentar el mayor número de frutos comerciales y una cobertura de malas hierbas significativamente inferior a la registrada con paja de maíz. La flora asociada a este tratamiento estuvo dominada por *A. blitoides*, seguida de *C. sativum* y *S. verticillata*. El acolchado con paja de maíz presentó la mayor cobertura de malas hierbas, con predominio de *C. sativum*, *S. verticillata* y *A. blitoides*, además de *P. oleracea* y *S. oleraceus*. No obstante, esta mayor infestación no se asoció con una reducción del número total de frutos ni con cambios significativos en su peso medio, lo que indica que, bajo las condiciones del ensayo, la competencia ejercida por la comunidad arvense no disminuyó la producción del cultivo. Los acolchados de paja constituyen, por tanto, alternativas potencialmente más sostenibles para el control de malas hierbas en el cultivo de calabacín en la región mediterránea, al reducir el uso de materiales plásticos. Se deberían ensayar en otros cultivos, ciclos y condiciones edafoclimáticas para poder evaluar su comportamiento y aplicabilidad en diferentes sistemas productivos.

5. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Programa Marco Horizonte Europa de la Unión Europea (HORIZON-CL6-2022-FARM2FORK-02-01), proyecto AGROSUS (Project ID: 101084084; AGROecological strategies for SUStainable weed management in key European crops).

Referencias

- BOINOT S, ALIGNIER A & STORKEY J (2024) Landscape perspectives for agroecological weed management: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 44, 7.
- BUCKI P, REGDOS K, SIWEK P, DOMAGAŁA-ŚWIĄTKIEWICZ I & KASZYCKI P (2021) Impact of soil management practices on yield quality, weed infestation and soil microbiota abundance in organic zucchini production. *Scientia Horticulturae*, 281, 109989.
- CHIRILLI C, BIAFORA A, GIACCARDI A, BENEDETTELLI S & MIGLIORINI P (2025) Impact of different agroecological practices for weed management on weeds and crops development. *Agronomy*, 15, 2335.
- OERKE EC (2006) Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144, 31-43.
- RECASENS J & CONESA JA (2021) Weeds at the seedling stage: Identification guide. Lleida: Universitat de Lleida & Bayer CropScience.
- SÁNCHEZ-MOREIRAS AM, VIEITES-ÁLVAREZ Y, FERNÁNDEZ CALVIÑO D, CAMPILLO C, GONZÁLEZ-DE-SANTOS P, RODRÍGUEZ SILVA T, FEDONIUK T, SYNOWIEC A, ALMEIDA PINHEIRO DE CARVALHO MM, VITYI A, ARANITI F, NACHER J, BOLAT Í, ZORNOZA R, VERDEGUER M, SHANSKIY M, REINHARDT-WEIK H, JÓHANNESSEN H & PIRON L

(2024) Agroecological strategies for sustainable weed management in economically important European crops (AGROSUS). *Revista de Ciências Agrárias*, 47, 1-10.

VISCONTI F, PEIRÓ E, PESCE S, BALUGANI E, BAIXAULI C & DE PAZ JM (2024) Straw mulching increases soil health in the inter-row of citrus orchards from Mediterranean flat lands. *European Journal of Agronomy*, 154, 127115.

P11. arvenSYS: una infraestructura funcional y ecológica para el análisis de la flora arvense ibérica

P11. arvenSYS: A functional and ecological infrastructure for the analysis of the Iberian weed flora

GARCÍA-GUERRA J¹

¹*Tech4AGRO. Instituto de Ciencias Agrarias (ICA). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid, España*

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29274

Email: jose.g.guerra@csic.es

La aplicación de enfoques basados en rasgos funcionales al estudio de la flora arvense sigue limitada por la escasez de sistemas integrados de información ecológica y funcional a escala regional. En este contexto, se presenta arvenSYS, una infraestructura funcional, ecológica y agronómica para el análisis de la flora arvense ibérica. El sistema integra información de 3.397 especies herbáceas y subarborescentes de la Península Ibérica y Baleares, incluyendo tanto especies asociadas a agroecosistemas como especies sin presencia documentada en cultivos. arvenSYS combina información taxonómica armonizada, rasgos funcionales vegetativos, foliares y fenológicos, formas de vida, coordenadas CSR, hábitats, gradientes de afinidad arvense y una variable de alta relevancia agronómica derivada de análisis bibliométricos. La cobertura de los cuatro rasgos funcionales principales —altura vegetativa de la planta, área foliar, área foliar específica y contenido de materia seca foliar— alcanzó el 63,0 % de las combinaciones potenciales especie × rasgo, permitiendo identificar tanto la información disponible como los principales vacíos funcionales. El sistema permite analizar la flora arvense a lo largo de un gradiente de afinidad con los agroecosistemas y seleccionar, a partir de los datos de hábitat, grupos de especies con contextos ecológicos comparables. Además, pone de manifiesto vacíos funcionales incluso en especies de alta relevancia agronómica. En conjunto, arvenSYS proporciona una infraestructura única para estudiar síndromes funcionales asociados a la flora arvense y priorizar futuras campañas de medición de rasgos.

Palabras clave: Rasgos funcionales, estrategias CSR, agroecosistemas.

The application of functional trait-based approaches to the study of weed flora remains limited by the scarcity of integrated systems providing ecological and functional information at the regional scale. In this context, we present arvenSYS, a functional, ecological and agronomic infrastructure for the analysis of Iberian weed flora. The system integrates information for 3,397 herbaceous and subshrub species from the Iberian Peninsula and the Balearic Islands, including both species associated with agroecosystems and species with no documented occurrence in crops. arvenSYS combines harmonised taxonomic information, vegetative, leaf and phenological functional traits, life forms, CSR coordinates, habitats, gradients of weed affinity and a high agronomic relevance variable derived from bibliometric analyses. Coverage of the four main functional traits—plant vegetative height, leaf area, specific leaf area and leaf dry matter content—reached 63.0% of all potential species × trait combinations, allowing both the available information and the main functional data gaps to be identified. The system enables weed flora to be analysed along a gradient of affinity with agroecosystems and, based on habitat data, allows groups of species with comparable ecological contexts to be selected. It also reveals functional data gaps even among species of high agronomic relevance. Overall, arvenSYS provides a unique infrastructure for studying functional syndromes associated with weed flora and prioritising future trait measurement campaigns.

Keywords: *Functional traits, CSR strategies, agroecosystems.*

1. Introducción

Los enfoques basados en rasgos funcionales han adquirido una importancia creciente en el estudio de la flora arvense, al permitir relacionar la composición de las comunidades con estrategias ecológicas asociadas a la persistencia en agroecosistemas y a la respuesta frente al manejo agrícola (Guerra *et al.*, 2022). Desde esta perspectiva, los agroecosistemas pueden interpretarse como filtros ecológicos que favorecen determinadas combinaciones de rasgos, mientras que la estructura funcional de las comunidades arvenses puede contribuir tanto a la provisión de servicios ecosistémicos como a la generación de diservicios agronómicos (Garnier & Navas, 2012). Sin embargo, la aplicación de estos enfoques sigue limitada por la disponibilidad de información suficientemente amplia, comparable e integrada a escala regional. Aunque las bases de datos globales han ampliado notablemente el acceso a rasgos funcionales de plantas (Kattge *et al.*, 2020), la cobertura continúa siendo desigual entre especies, rasgos y regiones biogeográficas, y muchas especies relevantes para los agroecosistemas mediterráneos permanecen pobremente representadas. Además, gran parte de las aproximaciones disponibles tratan la flora arvense como una categoría dicotómica de presencia/ausencia en cultivos (Bourgeois *et al.*, 2019), lo que dificulta el análisis de gradientes de afinidad arvense y el diseño de comparaciones ecológicamente consistentes. Para responder a esta necesidad, se desarrolló arvenSYS, un sistema de información funcional, ecológico y agronómico orientado al estudio de la flora arvense ibérica. El sistema integra información taxonómica armonizada, rasgos funcionales, fenología, formas de vida, hábitat, afinidad arvense y relevancia agronómica. Además de especies asociadas a agroecosistemas, arvenSYS incorpora especies sin presencia documentada en cultivos, lo que, junto con la información de hábitat, permite seleccionar grupos de comparación con contextos ecológicos comparables. En esta comunicación se presenta el proceso de construcción de arvenSYS, se evalúa la cobertura de información alcanzada para los principales rasgos funcionales y variables ecológicas, y se muestra su utilidad para identificar vacíos de información y apoyar futuros análisis comparativos sobre síndromes funcionales asociados a la flora arvense.

2. Material y métodos

2.1 Integración de información funcional, agronómica y ecológica

Se recopilaron rasgos funcionales vegetativos, foliares, fenológicos y de historia de vida. Para la altura vegetativa de la planta (PHV), el área foliar (LA), el área foliar específica (SLA) y el contenido de materia seca foliar (LDMC), la extracción inicial se realizó a partir de TRY Database (Kattge *et al.*, 2020), incorporando todas las especies herbáceas y subarborescentes con datos disponibles en esta base y presencia documentada en la Península Ibérica o Baleares. Los registros funcionales fueron depurados para evitar duplicidades y referencias circulares, priorizando los datos primarios frente a valores procedentes de compilaciones secundarias. Este proceso permitió reunir 35.894 registros procedentes de TRY Database. A ellos se añadieron 216 registros propios medidos en campo para 54 especies, alcanzando un total inicial de 36.110 registros primarios. Para ampliar la cobertura funcional, se realizó una búsqueda bibliográfica complementaria en Scopus dirigida a identificar datos no incluidos en bases globales. Los trabajos seleccionados mediante cribado semiautomático fueron revisados manualmente. Este proceso permitió incorporar 2.222 registros adicionales y alcanzar un total de 38.332 registros primarios. El inicio y la duración del periodo de floración (OFL y DFP, respectivamente) y la forma de vida de Raunkiaer se extrajeron de Flora Ibérica y otras floras regionales (Blanca *et al.*, 2009; Castroviejo, 1986-2022). Para las especies con información simultánea de LA, SLA y LDMC, se calcularon las coordenadas CSR —C, competitividad; S, tolerancia al estrés; y R, ruderalidad— siguiendo a Pierce *et al.* (2013).

Para caracterizar la relación de las especies con los agroecosistemas, se incorporaron todas las especies tratadas en *Flora Arvense Española* (Carretero, 2004). A partir de esta fuente se construyó una variable ordinal denominada grado de afinidad arvense: 0, especies sin presencia documentada en cultivos; 1, presencia marginal; 2, presencia ocasional; y 3, presencia frecuente o relativamente frecuente. Como medida complementaria de relevancia agronómica, se realizó un análisis bibliométrico de 10.906 artículos publicados en *Weed Science*, *Weed Research* y *Weed Technology*. Mediante procedimientos de minería de textos implementados en Python se detectaron nombres científicos en los títulos, resúmenes y palabras clave. Cada especie se contabilizó una sola vez por artículo. Tras excluir cultivos, especies de cubierta y otros taxones no objetivo, las especies situadas en el 10 % superior del ranking fueron codificadas como especies de alta relevancia agronómica.

La información de hábitat se obtuvo de las descripciones ecológicas incluidas en las fuentes florísticas y se procesó mediante un procedimiento semiautomático basado en un diccionario ecológico y reglas de contexto. Este procedimiento permitió asignar a cada especie un hábitat primario y un espectro ecológico dentro de 16 clases, incluyendo ambientes arvenses, vegetación ruderal y viaria, pastizales secos, mesófilos e higrófilos, matorrales, bosques, sistemas litorales y vegetación acuática, palustre o riparia. Finalmente, los nombres científicos procedentes de todas las fuentes fueron revisados y armonizados bajo un marco taxonómico común, vinculando los sinónimos con sus nombres aceptados actuales. Durante este proceso se excluyeron taxones dudosos, no confirmados, mal aplicados, cultivados o no representativos de comunidades espontáneas.

3. Resultados

arvenSYS integra información taxonómica, funcional, agronómica y ecológica para 3.397 especies herbáceas y subarborescentes de la Península Ibérica y Baleares. Todas las especies fueron vinculadas a un grado de afinidad arvense, lo que permite analizar la relación de la flora ibérica con los agroecosistemas como un gradiente y no únicamente como una categoría binaria de presencia/ausencia en cultivos. En total, 2.169 especies presentaron afinidad arvense documentada y 96 fueron identificadas como de alta relevancia agronómica a partir del análisis bibliométrico.

La cobertura de los cuatro rasgos funcionales principales (PHV, LA, SLA y LDMC) alcanzó el 63,0 % de las combinaciones potenciales especie $\times$ rasgo. Esta cobertura varió entre rasgos y grados de afinidad arvense (figura 1), en parte como consecuencia de la lógica de construcción de arvenSYS. Las especies con afinidad arvense 0 se incorporaron por disponer de información funcional en TRY Database, en la búsqueda bibliográfica complementaria o en ambas fuentes, por lo que todas ellas contaban con datos para al menos uno de los rasgos considerados. En cambio, todas las especies recogidas en Flora Arvense Española —y, por tanto, con afinidad arvense entre 1 y 3— se incorporaron con independencia de que dispusieran de información funcional. Por ello, las diferencias de cobertura entre categorías no reflejan únicamente la disponibilidad de datos, sino también los criterios de inclusión aplicados durante la construcción del sistema.

La detección de vacíos funcionales resultó especialmente relevante en especies prioritarias. En las 96 especies de alta relevancia agronómica faltaron 82 de las 384 combinaciones potenciales para PHV, LA, SLA y LDMC (21,4 %). Por ejemplo, *Amaranthus palmeri* S.Watson, la primera especie del ranking bibliométrico, carece de datos disponibles para LA y LDMC. Este resultado muestra que incluso especies ampliamente estudiadas en la literatura internacional de malherbología pueden presentar información incompleta para rasgos funcionales básicos. La información fenológica, de forma de vida y de hábitat mostró una cobertura muy elevada. La forma de vida de Raunkiaer estuvo disponible para todas las especies del sistema, mientras que OFL y DFP estuvieron disponibles para 3.360 especies. La clasificación de hábitats permitió asignar un hábitat primario a 3.381 especies dentro de un esquema de 16 clases ecológicas. Esta capa ecológica permite seleccionar grupos de referencia no arvenses procedentes de hábitats comparables, evitando contrastes con especies de ambientes ecológicamente alejados.

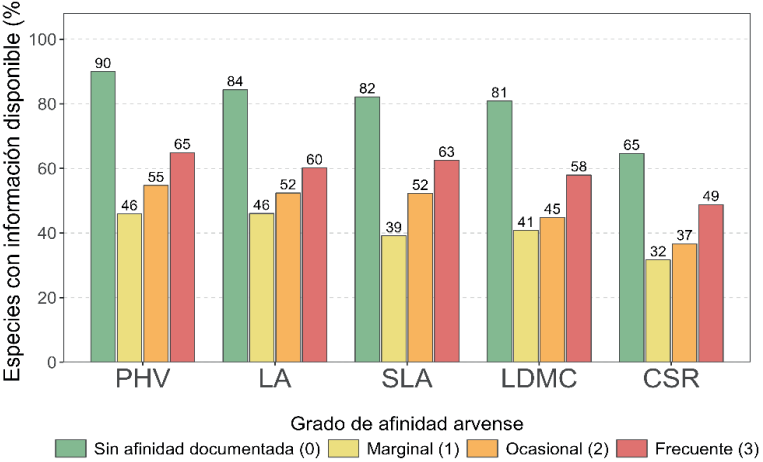


Figura 1. Cobertura de rasgos funcionales y coordenadas CSR según el grado de afinidad arvense. Las barras muestran el porcentaje de especies con información disponible para cada rasgo dentro de cada categoría de afinidad arvense. PHV: altura vegetativa de la planta; LA: área foliar; SLA: área foliar específica; LDMC: contenido de materia seca foliar.

Las familias más representadas en arvenSYS fueron Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Brassicaceae y Caryophyllaceae (figura 2). La proporción de especies con afinidad arvense documentada varió entre familias, con mayor peso relativo de especies ocasionales o frecuentes en Amaranthaceae, Euphorbiaceae, Brassicaceae, Plantaginaceae y Poaceae. Estos patrones sugieren que la afinidad arvense no se distribuye homogéneamente entre grupos taxonómicos.

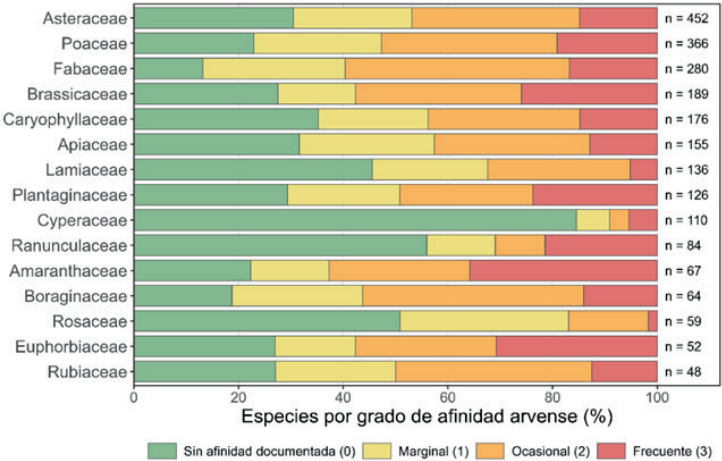


Figura 2. Distribución porcentual del grado de afinidad arvense en las 15 familias botánicas con mayor representación en arvenSYS. Cada barra corresponde al total de especies de una familia y muestra la proporción incluida en cada categoría de afinidad arvense; n indica el número total de especies por familia.

4. Conclusiones

La integración de información para 3.397 especies herbáceas y subarborescentes muestra que existe una base funcional amplia para abordar análisis comparativos de la flora arvense ibérica, aunque la disponibilidad de datos sigue siendo desigual entre rasgos y especies. La cobertura conjunta de los cuatro rasgos funcionales principales alcanzó el 63,0 %, pero se detectaron vacíos incluso en especies de alta relevancia agronómica, lo que permite orientar futuras campañas de medición. Asimismo, la combinación de información de hábitat y afinidad arvense permite ordenar las especies según su asociación con los agroecosistemas y seleccionar grupos con contextos ecológicos comparables. En conjunto, arvenSYS permite evaluar la cobertura de los datos funcionales, identificar sus principales vacíos y sustentar el estudio de los síndromes funcionales de la flora arvense ibérica. Actualmente, se encuentra en fase de consolidación y se prevé su publicación como recurso abierto, acompañada de la documentación necesaria para facilitar su consulta y reutilización.

5. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por los proyectos PID2023-150108OB-C31 y PID2023-150108OB-C32 del MCIU/AEI (<https://doi.org/10.13039/501100011033>) y el FSE+.

Referencias

BLANCA G, CABEZUDO B, CUETO M, FERNÁNDEZ LÓPEZ C & MORALES TORRES C (Eds.) (2009) Flora Vascular de Andalucía Oriental. Vols. 1-4. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

BOURGEOIS B, MUNOZ F, FRIED G, *et al.* (2019) What makes a weed a weed? A large-scale evaluation of arable weeds through a functional lens. *American Journal of Botany*, 106, 90-100.

CARRETERO JL (2004) Flora arvense española. Las malas hierbas de los cultivos españoles. Ediciones Phytoma, Valencia.

CASTROVIEJO S (coord. gen.) (1986-2022) Flora iberica. Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC.

GARNIER E & NAVAS M-L (2012) A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 32, 365-399.

GUERRA JG, CABELLO F, FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C, PEÑA JM & DORADO J (2022) How weed management influence plant community composition, taxonomic diversity and crop yield: A long-term study in a Mediterranean vineyard. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 326, 107816.

KATTGE J, BÖNISCH G, DÍAZ S, *et al.* (2020) TRY plant trait database – enhanced coverage and open access. *Global Change Biology*, 26, 119-188.

PIERCE S, BRUSA G, VAGGE I & CERABOLINI BEL (2013) Allocating CSR plant functional types: the use of leaf economics and size traits to classify woody and herbaceous vascular plants. *Functional Ecology*, 27, 1002-1010.



SESIÓN 2

*Agricultura de precisión
y digitalización en malherbología*

O1. Manejo localizado de malas hierbas: ¿Cambio de paradigma agronómico u optimización tecnológica del modelo convencional?

O1. Site-specific weed management: agronomic paradigm shift or technological optimization of the conventional model?

DORADO J¹

¹ Grupo Tech4Agro, Instituto de Ciencias Agrarias, ICA-CSIC, Madrid, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29275

E-mail: jose.dorado@csic.es

La agricultura de precisión (AP) introduce avances en el manejo de malas hierbas mediante sensores, visión artificial, inteligencia artificial, robótica y sistemas de aplicación localizada y selectiva. Estas tecnologías permiten operar con alta resolución espacial y temporal, optimizando la localización de los tratamientos, la dosis y el momento de aplicación. Sin embargo, surge una cuestión clave: ¿supone esta evolución un cambio de paradigma agronómico o únicamente una mejora tecnológica del modelo convencional basado en agroquímicos? Este trabajo presenta un análisis conceptual, apoyado en estudios recientes y avances tecnológicos, sobre el papel de la AP en el manejo de malas hierbas. Se comparan dos modelos de innovación: 1) la optimización del control químico mediante la aplicación localizada de herbicidas; y 2) la implementación conjunta de la AP con bioinsumos en estrategias de manejo integrado. La evidencia científica indica que la AP puede reducir el uso de herbicidas, mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental. No obstante, cuando la AP se limita a optimizar el uso de herbicidas, la lógica del control químico permanece intacta. En cambio, la combinación de AP con bioherbicidas reduce la dependencia de agroquímicos. En este contexto, la detección temprana, la dosificación variable y las intervenciones localizadas mejoran la viabilidad técnica y económica de los bioherbicidas, tradicionalmente limitada por su escasa persistencia, reducida selectividad o elevados costes. Se concluye que la AP no es transformadora por sí misma, sino que su impacto depende del modelo agronómico en el que se integre. Combinada con bioinsumos, puede facilitar la transición hacia sistemas resilientes y sostenibles.

Palabras clave: Agricultura de precisión, digitalización, bioinsumos, manejo integrado.

Precision Agriculture (PA) introduces advances in weed management through the use of sensors, computer vision, artificial intelligence, robotics, and site-specific and selective application systems. These technologies enable high spatial and temporal resolution operations, optimizing treatment placement, application rates, and timing. However, a key question arises: does this evolution represent a shift in the agronomic paradigm or merely a technological improvement of the conventional model based on agrochemicals? This study presents a conceptual analysis, supported by recent research and technological advances, of the role of PA in weed management. Two innovation models are compared: 1) the optimization of chemical weed control through site-specific herbicide application; and 2) the combined implementation of PA and bioinputs within integrated management strategies. Scientific evidence indicates that PA can reduce herbicide use, improve operational efficiency, and reduce environmental impact. Nevertheless, when PA is limited to optimizing herbicide use, the underlying logic of chemical control remains unchanged. In contrast, the combination of PA and bioherbicides reduces dependence on agrochemicals. In

this context, early detection, variable-rate application, and site-specific interventions improve the technical and economic viability of bioherbicides, traditionally constrained by limitations related to persistence, selectivity, and cost. It is concluded that PA is not inherently transformative; rather, its impact depends on the agronomic model in which it is integrated. When combined with bioinputs, PA may facilitate the transition toward resilient and sustainable agricultural systems.

Keywords: Precision agriculture, digitalization, bioinputs, integrated management.

1. Introducción

La gestión de malas hierbas constituye uno de los principales retos de la producción agraria por su impacto sobre el rendimiento, los costes y la sostenibilidad ambiental. La agricultura de precisión (AP) ha incorporado nuevas capacidades de detección, análisis y actuación mediante sensores, visión artificial, inteligencia artificial y sistemas de aplicación selectiva, permitiendo intervenir con elevada resolución espacial y temporal (Bohra *et al.*, 2025; Cardoso-Monteiro & Christensen, 2025).

Estas innovaciones plantean una cuestión clave: si representan una transformación del paradigma agro-nómico o una optimización tecnológica del modelo convencional basado en herbicidas de síntesis. En este sentido, pueden distinguirse dos modelos de innovación: 1) el primero se centra en el manejo localizado de malas hierbas, aprovechando la distribución heterogénea de las infestaciones para reducir superficie tratada, dosis y costes sin comprometer la eficacia (Leise *et al.*, 2025), manteniendo al herbicida como eje funcional del sistema; 2) el segundo sitúa la AP como tecnología habilitadora de estrategias de manejo integrado orientadas a reducir la dependencia química mediante la incorporación de alternativas biológicas. En este contexto, los bioinsumos, entre los que se encuentran los bioherbicidas, constituyen herramientas de menor impacto ambiental en comparación con los herbicidas de síntesis. No obstante, su eficacia depende en gran medida de un manejo adecuado, especialmente de su aplicación localizada y del ajuste al momento óptimo de intervención (Bharti & Ibrahim, 2020; Akanand *et al.*, 2024).

A partir de esta dualidad, el presente trabajo compara ambos modelos de innovación y analiza sus implicaciones técnicas y ambientales. El objetivo es valorar si la AP debe entenderse como una herramienta de intensificación eficiente o como una palanca para rediseñar los sistemas de manejo de malas hierbas hacia esquemas más resilientes y sostenibles.

1.1 Modelo químico y agricultura de precisión

La AP ha redefinido el control químico de malas hierbas al incorporar la variabilidad espacial y temporal de la parcela como criterio de decisión. Frente a los tratamientos en cobertura total, el uso localizado de herbicidas permite ajustar la intervención a la distribución real de las infestaciones, reduciendo el uso de insumos sin comprometer la eficacia agronómica.

Este enfoque se sustenta en un ecosistema tecnológico que integra la localización y monitorización del cultivo, el análisis de datos para la toma de decisiones agronómicas y la aplicación selectiva a dosis variable (figura 1). La presencia y distribución de malas hierbas se determinan mediante técnicas de teledetección y visión artificial; los datos generados alimentan sistemas de apoyo a la decisión para elaborar mapas de prescripción; finalmente, la intervención se realiza mediante sistemas de dosificación variable o pulverización selectiva sobre las zonas infestadas (Gerhards *et al.*, 2022; Shamshiri *et al.*, 2024).

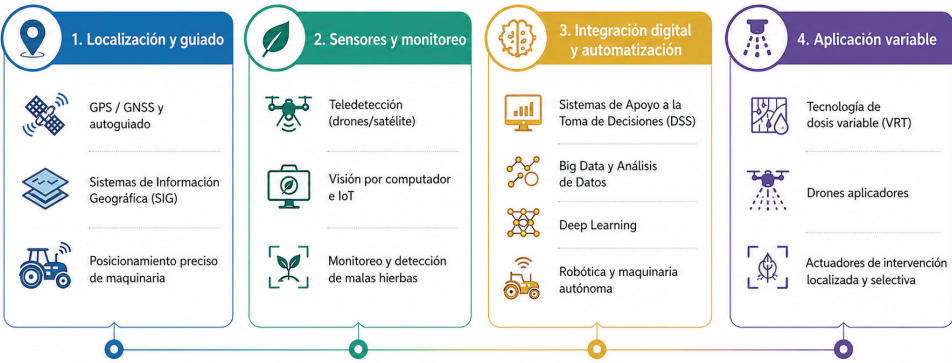


Figura 1. Ecosistema de tecnologías de precisión aplicadas al control de malas hierbas.

La evidencia científica confirma beneficios técnicos, económicos y ambientales asociados a esta optimización. Se han documentado reducciones de costes que pueden alcanzar hasta el 66% respecto al manejo convencional (Pitsyk *et al.*, 2025), así como disminuciones del volumen aplicado superiores al 50% en sistemas de pulverización localizada (Gerhards *et al.*, 2022). En situaciones de elevada agregación de las infestaciones, los ahorros pueden alcanzar hasta el 95% (Peña *et al.*, 2024). Asimismo, diversos estudios en cultivos extensivos han demostrado que estos sistemas pueden mantener niveles de control comparables al manejo convencional sin comprometer el rendimiento (Gerhards *et al.*, 2022).

En consecuencia, la AP permite una intensificación más eficiente del modelo químico, al optimizar la aplicación de los tratamientos y reducir los impactos ambientales, aunque mantiene al herbicida como elemento central del sistema.

1.2 Bioinsumos y agricultura de precisión

Los bioinsumos representan un elemento clave en modelos de manejo sostenible orientados a reducir la dependencia de agroquímicos (Silva *et al.*, 2025). En el control de malas hierbas, los bioherbicidas (basados en microorganismos, metabolitos naturales o extractos vegetales) representan una alternativa con menor impacto ambiental y nuevos modos de acción (Duke *et al.*, 2022). No obstante, su adopción ha estado limitada por la elevada variabilidad de respuesta en campo, condicionada por factores ambientales, edáficos y por el momento de aplicación, lo que ha restringido su eficacia y viabilidad operativa frente a los herbicidas de síntesis. Aunque la evidencia cuantitativa disponible es aún limitada en comparación con los sistemas convencionales, los resultados existentes sugieren un potencial significativo, especialmente cuando las aplicaciones se ajustan a condiciones específicas de campo (Bharti & Ibrahim, 2020; Akanand *et al.*, 2024).

La integración con tecnologías de AP permitiría abordar parte de estas limitaciones. La utilización de sensores, teledetección y sistemas de apoyo a la decisión facilitaría ajustar la localización, el momento y la dosis de aplicación en función de las condiciones específicas de la parcela, mejorando la eficiencia biológica y económica de la intervención (Shamshiri *et al.*, 2024). En este contexto, la aplicación localizada sobre focos de infestación permitiría concentrar el tratamiento donde es necesario, reduciendo el uso total de producto y mejorando la eficiencia de la intervención. En conjunto, la combinación de bioherbicidas y AP podría configurar una alternativa prometedora dentro de estrategias de manejo integrado, introduciendo además un cambio funcional en el sistema al basarse en mecanismos biológicos y no exclusivamente en el control químico directo.

1.3 Integración funcional: sinergias entre bioherbicidas y agricultura de precisión

En los sistemas agrarios actuales, el principal avance reside en la integración de tecnologías e insumos dentro de estrategias de manejo del cultivo, más que en su adopción aislada. Los bioherbicidas aportarían mecanismos biológicos específicos para la supresión de malas hierbas, mientras que la AP permitiría definir con mayor exactitud cuándo, dónde y en qué condiciones aplicarlos.

La combinación de ambos enfoques generaría una respuesta sinérgica en la que el valor aportado no se limitaría a la suma de sus componentes. La información obtenida mediante tecnologías de adquisición y análisis de datos permitiría adaptar las intervenciones a la variabilidad del sistema, mejorando la eficacia de los bioherbicidas en condiciones favorables y reduciendo la incertidumbre asociada a su aplicación.

Este enfoque aportaría ventajas en cuatro dimensiones principales (figura 2):

- i) manejo, mediante intervenciones más oportunas y ajustadas a la dinámica de infestación;
- ii) eficiencia en el uso de insumos, al optimizar dosis y evitar aplicaciones innecesarias;
- iii) impacto ambiental, por la reducción del uso de herbicidas de síntesis; y
- iv) resiliencia del sistema, al diversificar las estrategias y mecanismos de control de malas hierbas.

En términos generales, la combinación de bioherbicidas y AP no solo mejoraría la eficiencia de las intervenciones, sino que contribuiría a redefinir el manejo de malas hierbas hacia estrategias más adaptativas, específicas y basadas en procesos biológicos.

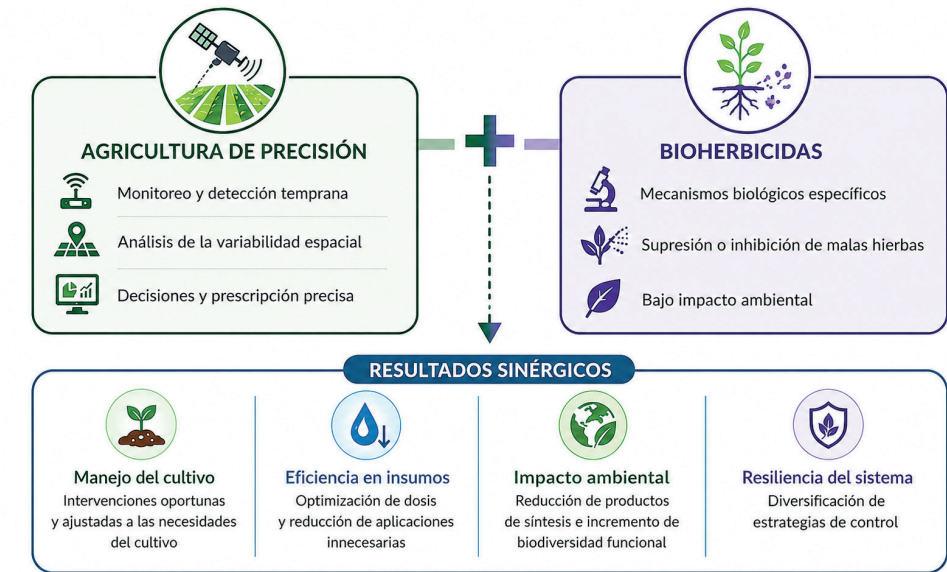


Figura 2. Integración de bioinsumos y tecnologías de precisión.

2. Barreras y oportunidades en la adopción

La integración de bioinsumos y tecnologías de AP presenta un elevado potencial para el manejo de malas hierbas, aunque su adopción sigue condicionada por limitaciones de carácter técnico, económico y operativo. Desde el punto de vista técnico, persisten retos asociados a la variabilidad de las infestaciones, la detección temprana y la discriminación cultivo-mala hierba en tiempo real, así como a la disponibilidad aún limitada de bioherbicidas con eficacia estable en campo. En el ámbito económico y operativo, destacan los costes iniciales de inversión, la necesidad de capacitación técnica y las dificultades para su implementación en explotaciones de menor tamaño o con alta diversidad productiva. A ello se suma la incertidumbre regulatoria, que puede frenar su adopción.

A pesar de estas limitaciones, la convergencia entre bioinsumos y AP abre oportunidades para avanzar hacia sistemas más sostenibles, al permitir intervenciones más ajustadas al nivel real de infestación, mejorar la eficiencia en el uso de insumos y generar información útil para la toma de decisiones. El principal desafío no reside tanto en la viabilidad técnica de estas herramientas como en su implementación efectiva en condiciones reales, lo que requiere formación, validación en campo y marcos regulatorios que faciliten su adopción.

3. Conclusiones: de la optimización a la transformación del sistema

La capacidad transformadora de la AP está condicionada por el modelo agronómico en el que se integra. Aplicada al uso de herbicidas de síntesis, permite intensificar el control químico de forma más eficiente. Sin embargo, su combinación con bioinsumos en el marco del manejo integrado introduce cambios funcionales al incorporar mecanismos biológicos y diversificar las formas de intervención. La convergencia entre biología y datos permite avanzar hacia un manejo de malas hierbas más adaptativo y específico, basado en la variabilidad del sistema. En este contexto, la AP adquiere valor no solo como herramienta de optimización, sino también por su capacidad para orientar el sistema productivo hacia modelos más integrados y menos dependientes de agroquímicos, sin comprometer la productividad.

4. Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto BIOweeding (PID2023-150108OB-C31) con fondos de MCIU/AEI/10.13039/501100011033 y FSE+.

Referencias

AKANAND, KRISHNAMOORTHY A, PATEL PK, KUMAR S, KHAMBHU CV, SAPNA, KUMAR V & SELVAM H (2024) The future of farming with advances in biological control techniques for crop health. *Microbiology Research Journal International*, 34, 93-112.

BHARTI V & IBRAHIM S (2020) Biopesticides: production, formulation and application systems. *International Journal of Current Microbiology & Applied Sciences*, 9, 3931-3946.

BOHRA LS, RADHAMANI S, FANISH SA, RAVICHANDRAN V & MARAGATHAM S (2025) Advances in site-specific weed management techniques for sustainable crop production. *Plant Science Today*, 12, sp3.

CARDOSO-MONTEIRO A & CHRISTENSEN S (2025) Developments in precision weed management systems for precision agriculture. En: STAFFORD J (Ed.). *Precision agriculture for sustainability*. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 1-22.

DUKE SO, PAN Z, BAJSA-HIRSCHL J & BOYETTE CD (2022) The potential future roles of natural compounds and microbial bioherbicides in weed management in crops. *Advances in Weed Science*, 40 (Spec1), e020210054.

GERHARDS R, ANDÚJAR D, HAMOUZ P, PETEINATOS GG, CHRISTENSEN S & FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C (2022) Advances in site-specific weed management in agriculture—A review. *Weed Research*, 62, 123-133.

LEISE A, SINGH M, LA MENZA NC, KNEZEVIC S & JHALA AJ (2025) Evaluating precision sprayers for targeted weed management in corn and soybean. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 8, e70055.

PEÑA JM, BORRA-SERRANO I, FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C, DE CASTRO AI, MESÍAS-RUIZ GA, GUERRA JG & DORADO J (2024) Impacto del manejo localizado en el control de *Sorghum halepense* y el rendimiento del maíz. *Revista de Ciências Agrárias*, 47, 190-194.

PITSYK V, PFROMBECK J & GANDORFER M (2025) Economics of site-specific weed management: a review. En: STAFFORD J (Ed.). *Precision agriculture '25*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, pp. 1047-1052.

SHAMSHIRI RR, STURM B, WELTZIEN C, FULTON J, KHOSLA R, SCHIRRMANN M, RAUT S, BASAVEGOWDA DH, YAMIN M & HAMEED IA (2024) Digitalization of agriculture for sustainable crop production: a use-case review. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1375193.

SILVA JM, DALBON VA, ALVES AC, ATAÍDE CB, DOS SANTOS TMC, COSTA MEL & MONTALDO YC (2025) Bioinputs in sustainable agriculture: benefits, challenges, and pathways for resilient farming systems. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 10, 85-97.

O2. Comparación de imágenes satelitales de muy alta resolución para discriminar rodales de *Sorghum halepense* en maíz

O2. Comparison of very high-resolution satellite imagery for discriminating *Sorghum halepense* patches in maize

LÓPEZ FJ¹, DORADO J¹, BORRA-SERRANO I¹, MESÍAS-RUIZ GA¹, PEÑA JM¹

¹Grupo Tech4Agro, Instituto de Ciencias Agrarias (ICA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid, España, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29276

Email (por orden de autoría): javierlc@ica.csic.es; jose.dorado@csic.es; irene.borra@ica.csic.es; gmesias@ica.csic.es; jmpena@ica.csic.es

El manejo localizado de malas hierbas optimiza el uso de herbicidas mediante estrategias de agricultura de precisión, siendo la teledetección una herramienta fundamental para generar mapas de infestación. Actualmente, las constelaciones satelitales de muy alta resolución (VHR) amplían las posibilidades de monitorización agrícola. En este contexto, se evaluó la capacidad de imágenes VHR para discriminar rodales de *Sorghum halepense* (L.) Pers. (cañota) en maíz. En junio de 2024 se adquirieron imágenes multispectrales de los satélites WorldView-2 (WV-2), con una resolución espacial de 2 m/píxel (m/p) y de su versión pan-sharpening (PSH) de 0,5 m/p, así como imágenes de PlanetScope (PS) de 3 m/p, de una parcela situada en La Poveda (Madrid). El maíz se encontraba en un estado fenológico de entre 4 y 6 hojas desplegadas (BBCH 14-16) y los rodales de *S. halepense* en un desarrollo equivalente. Un ortomosaico obtenido mediante un vehículo aéreo no tripulado se utilizó para vectorizar los rodales y generar un mapa de infestación clasificado en cuatro niveles: nula, baja (0-1 m²), media (1-5 m²) y alta (>5 m²). Este mapa se superpuso a las imágenes VHR para extraer los valores espectrales por cada categoría. Los resultados mostraron la existencia de un umbral crítico de resolución espacial. La resolución submétrica de WV-2 PSH permitió identificar rodales incipientes (<1 m²) y medianos (1-5 m²), mientras que PS (3 m/p) solo permitió diferenciar zonas con máximo nivel de infestación y no infestadas, sin discriminar el tamaño de los rodales.

Palabras clave: Manejo localizado, agricultura de precisión, teledetección, VHR, cañota.

*Site-specific weed management optimizes herbicide use through precision agriculture techniques, with remote sensing playing a key role in generating weed infestation maps. Currently, very-high resolution (VHR) satellite constellations are expanding agricultural monitoring capabilities. In this context, the capacity of VHR imagery to discriminate patches of *Sorghum halepense* (L.) Pers. (Johnsongrass) in maize was evaluated. In June 2024, multispectral imagery was acquired from the WorldView-2 satellite (WV-2), with a spatial resolution of 2.0 m/pixel (m/p), and from its pan-sharpened (PSH) version at 0.5 m/p, as well as PlanetScope (PS) imagery at 3.0 m/p, over a field located in La Poveda (Madrid, Spain). At the time of image acquisition, maize plants were at the four- to six-leaf stage (BBCH 14-16), while *S. halepense* patches showed a similar development stage. As ground reference data, an ultra-high-resolution ortho-mosaic (0.002 m/p) generated from imagery collected by an unmanned aerial vehicle was used to locate weed patches and produce a vector map classified into four infestation levels: none, low (0-1 m²), medium (1-5 m²), and high (>5 m²). This map was overlaid onto the VHR imagery to extract spectral values for each infestation category. The results revealed the existence of a critical*

spatial resolution threshold. The sub-meter resolution of WV-2 PSH enabled the identification of both low ($<1\text{ m}^2$) and medium-sized ($1\text{--}5\text{ m}^2$) *S. halepense* patches, whereas PS imagery (3.0 m/p) only allowed discrimination between areas with the highest level of infestation and non-infested areas, without differentiating patch sizes.

Keywords: SSWM, precision agriculture, remote sensing, VHR, Johnsongrass.

1. Introducción

Las malas hierbas pueden provocar pérdidas de rendimiento de hasta el 80% en cultivos agrícolas y generar sobrecostos de explotación de hasta un 30% (Oerke, 2006). Ante este impacto agronómico y económico y en consonancia con los objetivos del Pacto Verde Europeo, las estrategias de agricultura de precisión permiten optimizar el manejo de malas hierbas y favorecer un uso más eficiente de los herbicidas. En este sentido, la teledetección permite la generación de mapas de infestación y facilitar la toma de decisiones previa a la aplicación de tratamientos. Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) han adquirido un papel predominante en este ámbito gracias a su resolución espacial ultra-alta ($<0,01\text{ m/p}$) especialmente adecuada para la detección de malas hierbas en fases tempranas del cultivo (Peña *et al.*, 2013). Además, los recientes avances en constelaciones satelitales de muy alta resolución (VHR), con resoluciones espaciales submétricas, han ampliado las posibilidades de monitorización de malas hierbas al superar algunas de las limitaciones de los satélites tradicionales y mejorar la precisión de los análisis (Shendryk *et al.*, 2020). En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar la capacidad de las imágenes satelitales VHR de WorldView-2 (WV-2) y PlanetScope (PS) para discriminar rodales de *Sorghum halepense* (L.) Pers. (cañota) en cultivo de maíz, empleando imágenes UAV como referencia.

2. Material y métodos

Este trabajo se desarrolló en la finca experimental del CSIC La Poveda (Arganda del Rey, Madrid), sobre una superficie de tres hectáreas de maíz infestada de forma natural por *S. halepense*. El cultivo se encontraba en el estadio BBCH 14-16 (cuatro a seis hojas verdaderas), coincidiendo fenológicamente con los rodales de *S. halepense*. En junio de 2024 se generó un ortomosaico de ultra-alta resolución ($0,002\text{ m/p}$) mediante un vuelo realizado con un UAV DJI Matrice 300 RTK equipado con una cámara Zenmuse P1 (figura 1A). Sobre esta imagen se vectorizaron manualmente los rodales de *S. halepense*, los cuales se clasificaron según su superficie en tres categorías: baja ($0\text{--}1\text{ m}^2$), media ($1\text{--}5\text{ m}^2$) y alta ($>5\text{ m}^2$). Además, se clasificaron como zonas sin infestación (nula) aquellas zonas de cultivo y suelo desnudo sin presencia de *S. halepense* ni de otras malas hierbas. Seguidamente, el archivo vectorial resultante se utilizó como referencia espacial para el análisis de las imágenes de satélite.

Las imágenes satelitales se obtuvieron a través de un proyecto colaborativo en el marco del programa *Third Party Missions* (Agencia Espacial Europea), que da acceso a un volumen limitado de imágenes con objetivos científicos. Se empleó un producto WV-2 en formato *bundle*, compuesto por una imagen pancromática a $0,5\text{ m/p}$ y una imagen multispectral de ocho bandas a 2 m/p (figura 1B y 1C), distribuidas por *European Space Imaging*, y una imagen multispectral a 3 m/p del sensor PS (figura 1D), distribuida por *Planet Labs*.

Para garantizar la comparabilidad espectral y geométrica, los niveles digitales de WV-2 se convirtieron a reflectancia en el techo de la atmósfera (*Top of Atmosphere, TOA*) mediante la aplicación de factores multiplicativos específicos para cada banda, calculados a partir de los coeficientes de calibración radiométrica (Updike & Comp, 2010). Estos factores estaban disponibles para las imágenes PS, por lo que se aplicaron directamente. En el caso de la imagen WV-2 nativa, se observó un error de paralaje, que se corrigió mediante una traslación geométrica basada en puntos de control relativos al ortomosaico UAV.

Por su parte, la imagen PS se adquirió con corrección geométrica nativa y armonizada radiométricamente con el satélite Sentinel-2. Posteriormente, los datos de ambos sensores se transformaron a reflectancia de superficie (*Bottom of Atmosphere, BOA*) mediante el modelo de corrección atmosférica *Dark Object Subtraction* (Moran *et al.*, 1992). Finalmente, la resolución espacial multispectral de WV-2 se incrementó a $0,5\text{ m/p}$ (*pan-sharpening, PSH*) mediante el método de fusión pancromática Gram-Schmidt (Laben y Brower, 2000), que destaca por preservar fielmente las características espectrales de la vegetación (figura 1B). En cada categoría de infestación se realizaron dos análisis: 1) un análisis de buffer interno para cuantificar el número medio de píxeles puros y de borde presentes, y 2) un análisis de la separabilidad espectral mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba HSD de Tukey aplicadas a cada banda y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

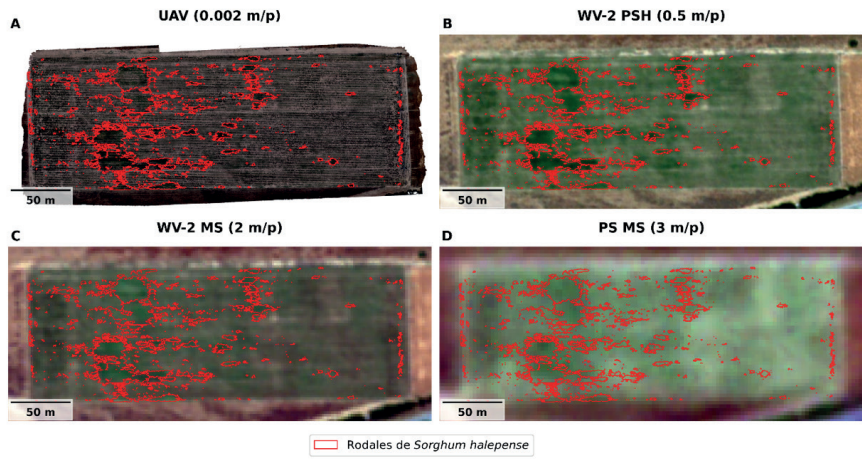


Figura 1. Imágenes de la parcela de maíz y los rodales de *S. halepense* (en rojo): A) Ortomosaico UAV ($0,002\text{ m/p}$), B) Imagen WorldView-2 (WV-2) pansharpening ($0,5\text{ m/p}$), C) Imagen WV-2 multispectral (2 m/p), D) Imagen PlanetScope multispectral (3 m/p).

El procesamiento y análisis de las imágenes se realizaron mediante scripts de Python, desarrollados con asistencia del modelo de lenguaje de gran tamaño (LLM) Gemini y el sistema de información geográfica QGIS (figura 2). El código está disponible en <https://github.com/fjavierlopezc/vhr-satellite-weed-mapping>.

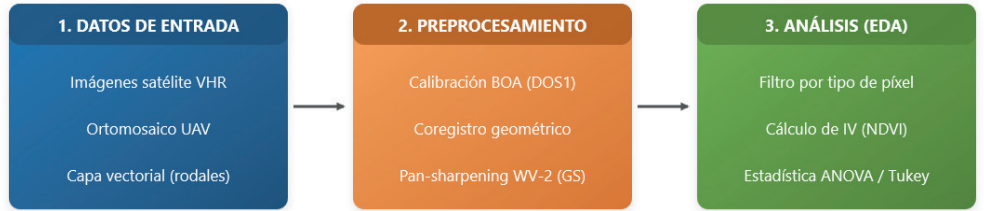


Figura 2. Esquema del proceso completo de adquisición de imágenes y datos, preprocesamiento y análisis espectral.

3. Resultados y discusión

La resolución espacial influyó en la proporción de píxeles puros asociados a los rodales de *S. halepense* (figura 3). La disponibilidad de píxeles puros es fundamental para capturar firmas espectrales representativas y minimizar los errores de clasificación derivados de la mezcla con el cultivo o el suelo. En infestaciones altas, la proporción de píxeles puros aumentó del 43-53 % al 77,5 % al pasar de resoluciones de 2-3 m/p a 0,5 m/p, respectivamente. En contraste, los rodales incipientes presentaron una mezcla espectral cercana al 100 % a 2-3 m/p, conservando solo un 21,1 % de píxeles puros a 0,5 m/p. Esta limitada capacidad de extraer píxeles puros a 2-3 m/p plantea el dilema metodológico entre incluir los píxeles de borde, introduciendo ruido espectral, o excluirllos, lo que podría provocar errores de omisión significativos e impedir la detección del rodal. En consecuencia, las resoluciones submétricas (0,5 m/p) ofrecen un mejor equilibrio entre la capacidad de detección espacial y la pureza espectral.

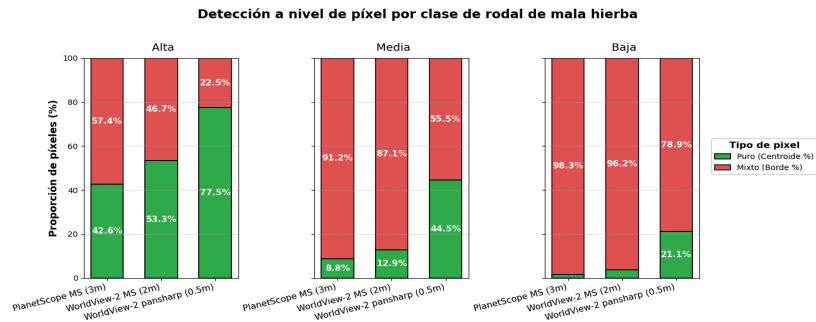


Figura 3. Influencia de la resolución espacial en la proporción de píxeles puros y de borde correspondiente a las distintas categorías de rodales de *S. halepense*.

Por su parte, el ANOVA y la prueba de Tukey ($p < 0,001$) mostraron que la capacidad de discriminación espectral aumentó al mejorar la resolución espacial, aunque dependió del sensor y de la banda o índice de vegetación analizados. Concretamente, WV-2 permitió discriminar entre rodales de distinto tamaño, excepto entre las categorías baja y media, a 0,5 m/p en la mayoría de las bandas y a 2 m/p en las bandas roja e infrarroja (tabla 1). En cambio, PS no logró discriminar entre rodales de distinto tamaño, ya que solo registró diferencias en pocas bandas (roja e infrarroja), y estas no siguieron el mismo patrón de diferenciación (tabla 2). Aunque la separación entre rodales incipientes y moderados fue más limitada, las mayores diferencias se registraron en las bandas asociadas a la actividad fotosintética, tales como las bandas del borde-rojo y del infrarrojo cercano (NIR), y en el índice NDVI.

Tabla 1. Separabilidad espectral de las imágenes WorldView-2.

WV-2 PAN-SHARPENING (0,5 M/P)*									
Infestación	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	NDVI
Nula	1,96 a	3,69 a	6,70 a	9,36 a	13,67 a	19,27 c	32,86 c	38,61 c	0,41 c
Baja	1,80 b	3,35 b	6,36 a	8,62 b	12,23 b	19,88 b	34,72 b	40,84 b	0,48 b
Media	1,76 b	3,29 b	6,30 b	8,46 b	11,97 b	19,97 b	34,98 b	41,30 b	0,49 b
Alta	1,64 c	3,08 c	6,10 b	8,00 c	11,11 c	20,47 a	36,96 a	43,60 a	0,54 a

WV-2 MULTIESPECTRAL (2 M/P)*

Infestación	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	NDVI
Nula	2,10 a	3,94 a	7,04 a	9,81 a	14,30 a	19,90 c	33,74 c	39,64 c	0,40 b
Baja	2,07 a	3,84 a	7,01 a	9,52 a	13,58 a	20,93 b	36,04 b	42,35 b	0,45 a
Media	2,07 a	3,83 a	7,02 a	9,48 a	13,51 a	21,09 b	36,33 b	42,84 b	0,46 a
Alta	2,09 a	3,89 a	7,14 a	9,54 a	13,46 a	21,89 a	38,31 a	43,45 a	0,48 a

* Media espectral relativa de cada categoría de infestación, siendo B1=400-450 nm, B2=450-510 nm, B3=510-580 nm, B4=585-625 nm, B5=630-690 nm, B6=705-745 nm, B7=770-895 nm, B8=860-1040 nm, NDVI=(B7-B5)/(B7+B5). Letras diferentes en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba post-hoc HSD de Tukey ($p < 0,001$).

Tabla 2. Separabilidad espectral de la imagen PlanetScope.

PS MULTIESPECTRAL (3 M/P)*

Infestación	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	NDVI
Nula	0,76 a	0,87 a	1,32 a	1,65 a	2,24 a	2,52 a	3,45 a	10,22 b	0,60 b
Baja	0,74 a	0,84 a	1,29 a	1,62 a	2,18 a	2,40 a	3,46 a	10,67 a	0,63 a
Media	0,74 a	0,84 a	1,28 a	1,62 a	2,17 a	2,40 a	3,45 a	10,56 a	0,63 a
Alta	0,72 a	0,82 a	1,27 a	1,60 a	2,14 a	2,35 b	3,43 a	10,74 a	0,64 a

* Media espectral relativa de cada categoría de infestación, siendo B1=431-452 nm, B2=465-515 nm, B3=513-549 nm, B4=547-583 nm, B5=600-620 nm, B6=650-680nm, B7=697-713 nm, B8=782-849nm, NDVI=(B7-B5)/(B7+B5). Letras diferentes en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba post-hoc HSD de Tukey ($p < 0,001$).

Aunque se observaron diferencias significativas entre algunas categorías de infestación, las diferencias absolutas de reflectancia fueron muy pequeñas, generalmente del orden del tercer decimal. Este resultado sugiere que la significación estadística observada estuvo influida por el elevado número de píxeles analizados, que incrementó la potencia estadística del análisis y permitió detectar como significativas diferencias espectrales de escasa magnitud.

4. Conclusiones

La resolución submétrica de la imagen WV-2 (0,5 m/p) y el empleo de bandas sensibles a la actividad fotosintética (borde-rojo, NIR) mejoraron la separabilidad espectral y el potencial de detección de *S. halepense* al reducir los efectos de la mezcla espectral. Sin embargo, aunque la separabilidad estadística fue significativa entre categorías de infestación, las diferencias absolutas de reflectancia fueron reducidas, lo que indicó que el análisis espectral basado exclusivamente en píxeles presenta limitaciones para una discriminación robusta de los rodales. Por tanto, futuras investigaciones deberían incorporar el análisis basado en objetos (OBIA), métricas de textura (GLCM) y análisis multitemporales que permitan aprovechar las diferencias fenológicas, morfológicas y texturales entre el cultivo y las malas hierbas.

5. Agradecimientos

Investigación financiada por MCIU/AEI/10.13039/501100011033 y el FSE+ a través del proyecto BIOweeding (ref. PID2023-150108OB-C31). El autor FJL es beneficiario de un contrato predoctoral FPI (ref. PREP2023-001821). El contrato de IBS está financiado por el proyecto ECOdigital (ref. MMT24-ICA-01), a través del programa MOMENTUM CSIC del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (NextGenerationEU). Las imágenes de satélite se obtuvieron a través de un proyecto colaborativo del programa *Third Party Missions* de la Agencia Espacial Europea (ref. PP0106977).

Referencias

- OERKE E-C (2006) Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144, 31-43.
- PEÑA JM, TORRES-SÁNCHEZ J, DE CASTRO AI, KELLY M & LÓPEZ-GRANADOS F (2013) Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. *PLoS One*, 8, e77151.
- SHENDRYK Y, ROSSITER-RACHOR NA, SETTERFIELD SA & LEVICK SR (2020) Leveraging high-resolution satellite imagery and gradient boosting for invasive weed mapping. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens*, 13, 4443-4450.
- UPDIKE T & COMP C (2010) Radiometric Use of WorldView-2 Imagery. Technical Note, Digital-Globe, Colorado (EE.UU.).
- MORAN MS, JACKSON RD, SLATER PN & TEILLET PM (1992) Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment*, 41, 169-184.
- LABEN CA, BROWER BV (2000) Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening. U.S. Patent No 6,011,875.

O3. Detección de diversidad floral arvense mediante imágenes UAV e inteligencia artificial

O3. Detection of arable floral diversity using UAV imagery and artificial intelligence

MENA JD¹, MESÍAS-RUIZ GA¹, GARCÍA-GUERRA J¹, CASTILLO-MALLA D², PEÑA JM¹, DORADO J¹, BORRA-SERRANO I¹

¹Grupo Téch4Agro, Instituto de Ciencias Agrarias, ICA-CSIC, Madrid, España; ²Dpto Química y Ciencias Exactas, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29277

Email (por orden de autoría): jdmene@ica.csic.es, gmesias@ica.csic.es, jose.g.guerra@ica.csic.es, dpcastillo@utpl.edu.ec; jmpena@ica.csic.es, jose.dorado@csic.es, irene.borra@ica.csic.es

La pérdida de biodiversidad en los agrosistemas derivada de la intensificación agrícola, el uso continuado de agroquímicos y la fragmentación del paisaje compromete servicios ecosistémicos clave, entre ellos el mantenimiento de comunidades estables de polinizadores. En este contexto, la monitorización de la flora arvense en márgenes agrícolas puede contribuir al diseño de estrategias de manejo orientadas a favorecer la diversidad funcional y taxonómica de los agroecosistemas. En la finca experimental “La Poveda” (ICA-CSIC, Madrid) se desarrolló durante 2023 y 2024 un experimento para monitorizar márgenes florales mediante imágenes adquiridas con vehículos aéreos no tripulados (UAV) a 15 m de altura. Se realizaron seis vuelos por campaña entre abril y julio sobre 11 especies arvenses pertenecientes a las familias Brassicaceae, Asteraceae y Fabaceae, seleccionadas por su potencial nectarífero y polinífero. A partir de las imágenes UAV se desarrolló un sistema de detección automática de diversidad floral basado en el modelo de aprendizaje profundo YOLO26m, entrenado en dos etapas. El modelo alcanzó un mAP@50 global de 0,300 en la primera fase ($P = 0,297$; $R = 0,534$) y mejoró la precisión hasta $P = 0,495$ tras el refinamiento. Las detecciones obtenidas se integraron posteriormente con el modelo de segmentación SAM (ViT-H), permitiendo delimitar con precisión las estructuras florales y estimar su área. El sistema desarrollado facilita la cuantificación objetiva y automatizada de los recursos florales disponibles en márgenes agrícolas y constituye una herramienta útil para apoyar estrategias de gestión agroecológica y conservación de biodiversidad.

Palabras clave: Márgenes florales, imágenes dron, biodiversidad, YOLO26m, SAM.

Biodiversity loss in agroecosystems, driven by agricultural intensification, the continuous use of agrochemical, and landscape fragmentation, threatens key ecosystem services, including the maintenance of stable pollinator communities. In this context, monitoring weed flora in field margins may contribute to the design of management strategies aimed at enhancing the functional and taxonomic diversity of agroecosystems. At the experimental farm “La Poveda” (ICA-CSIC, Madrid), an experiment was conducted during 2023 and 2024 to monitor floral margins using images acquired by unmanned aerial vehicles (UAVs) flying at an altitude of 15 m. Six UAV surveys were conducted per campaign between April and July over 11 weed species belonging to the Brassicaceae, Asteraceae, and Fabaceae families, selected for their nectar and pollen resource potential. based on the UAV imagery, an automatic floral diversity detection system was developed using the YOLO26m

deep-learning model, trained in two stages. The model achieved an overall mAP@50 of 0.300 in the first stage ($P = 0.297$; $R = 0.534$) and improved precision to $P = 0.495$ after refinement. The resulting detections were subsequently integrated with the SAM (ViT-H) segmentation model, enabling accurate delineation of floral structures and estimation of their area. The developed system facilitates the objective and automated quantification of floral resources available in agricultural margins and represents a useful tool to support agroecological management strategies and biodiversity conservation.

Keywords: Floral margins, drone imagery, biodiversity, YOLO26m, SAM.

1. Introducción

La intensificación agrícola y la simplificación del paisaje han provocado un acusado descenso de la biodiversidad en los agrosistemas, afectando especialmente a las comunidades de polinizadores y a los servicios ecosistémicos asociados (Flohre *et al.*, 2011). En respuesta, la Política Agrícola Común 2023-2027 promueve prácticas agroambientales orientadas a la conservación de biodiversidad, entre ellas la implantación de márgenes florales e islas de vegetación. Diversos estudios han documentado los efectos positivos de estas infraestructuras ecológicas sobre la abundancia y diversidad de polinizadores (Ricou *et al.*, 2014). Sin embargo, persisten incertidumbres sobre la composición óptima de especies y la estabilidad temporal de los servicios ecosistémicos que proporcionan (Jachowicz y Sigsgaard, 2025). Además, los métodos tradicionales de monitoreo presentan elevados costes de tiempo y personal especializado. En este contexto, la integración de teledetección e inteligencia artificial constituye una herramienta prometedora para la detección y cuantificación de recursos florales, especialmente en escenarios de alta diversidad floral (González *et al.*, 2022). Asimismo, la generación de mapas de diversidad floral puede facilitar la monitorización y caracterización de la biodiversidad en los sistemas agrícolas (Chieffallo *et al.*, 2025). Por tanto, el presente estudio propone un método automatizado para detectar y cuantificar la diversidad floral en márgenes agrícolas con distintas composiciones, usando técnicas de aprendizaje profundo aplicadas a imágenes RGB adquiridas mediante UAV y utilizando el modelo YOLOv26m para la detección automática de flores.

2. Material y métodos

2.1 Área de estudio y diseño experimental

El estudio se llevó a cabo en la finca experimental del ICA-CSIC “La Poveda” (Arganda del Rey, Madrid), durante las campañas de primavera-verano de 2023 y 2024. El ensayo incluyó 11 especies arvenses pertenecientes a las familias Brassicaceae (*Diplotaxis eruroides* L., *Diplotaxis tenuifolia* L., *Eruca vesicaria* (L.) Cav., *Moricandia arvensis* L.), Asteraceae (*Achillea millefolium* L., *Calendula arvensis* L., *Centaurea cyanus* L., *Glebionis segetum* L.) y Fabaceae (*Lotus corniculatus* L., *Melilotus albus* Medik., *Onobrychis viciifolia* Scop.).

2.2 Adquisición de imágenes y datasets

Las imágenes se adquirieron con una cámara RGB DJI Zenmuse P1 acoplada a un UAV DJI Matrice 300 RTK, operando a 15 m de altura y con un solape frontal y lateral del 80% y 70%, respectivamente. Se realizaron seis vuelos por campaña entre abril y julio, cubriendo la fenología de floración de las once especies objetivo. A partir de las imágenes se generaron ortomosaicos mediante procesamiento fotogramétrico con Agisoft PhotoScan, incluyendo alineamiento de imágenes, reconstrucción de la nube de puntos y ortorrectificación. Posteriormente, los ortomosaicos se partitionaron automáticamente en teselas de 640 × 640 px empleando la librería Rasterio de Python, con el fin de preservar la información contextual y optimizar el entrenamiento del modelo. La anotación manual se realizó en formato YOLO utilizando el software de código abierto labelImg (Tzutalin, 2015), codificando la clase taxonómica de

cada etiqueta floral. Se generaron un total de 19.000 anotaciones entre las once especies. El esquema de anotación incluyó unidades florales (UF) y grupos florales (GF) con el fin de representar las condiciones naturales de campo (Mena *et al.*, 2026).

2. 3 Modelo de detección YOLO26m

Se utilizó una arquitectura de detección nativa de extremo a extremo basada en YOLO26 (Ultralytics, 2025) capaz de eliminar la supresión no máxima (NMS) mediante predicciones directas sin redundancia y derivada de la familia YOLOv8-v10. El entrenamiento se estructuró en dos etapas. A partir de pesos preentrenados en COCO, la primera fase empleó el optimizador MuSGD (Jordan, 2025) para estabilizar la representación de características morfológicas florales, mientras que la segunda fase de refinamiento utilizó AdamW (Loshchilov & Hutter, 2019).

2. 4 Conjuntos de inferencia y segmentación con SAM

El rendimiento del modelo se evaluó mediante las métricas de precisión (P), recall (R), F1 y mAP@50. Para la evaluación se utilizaron dos conjuntos de test independientes y complementarios. El primero incluyó 35 imágenes UAV originales del muestreo de campo (4.009 instancias anotadas), representativas de la variabilidad fenológica y lumínica de las campañas. El segundo estuvo formado por 9 imágenes compuestas (4.022 instancias anotadas), generadas por la unión de teselas para reforzar la representación de las 11 especies y de distintos grupos morfo-cromáticos (compuestas, crucíferas, leguminosas; amarillo, blanco, morado), permitiendo evaluar el sistema en escenarios de alta densidad floral y diversidad funcional. Sobre cada caja predicha por el modelo se ejecutó SAM (Segment Anything Model) en su variante ViT-H (Kirillov, 2023), obteniendo una máscara binaria por instancia. El área proyectada de cada flor se calculó mediante el conteo de píxeles activos transformados a m² utilizando la distancia de muestreo del terreno (GSD) (ec. 1).

$$A_{\text{flor}} = \sum_{i,j} M(i,j) \cdot GSD^2$$

3. Resultados y discusión

3. 1 Desempeño del modelo en el entrenamiento

Durante el entrenamiento, el modelo alcanzó métricas globales de mAP@50 = 0,30 y mAP@50-95 = 0,12 ($P = 0,53$; $R = 0,58$; $F1 = 0,554$), priorizando una alta exhaustividad o (*recall*) y un desempeño específico para cada clase (figura 1). La diferencia entre mAP@50 y mAP@50-95 (~0,17) resultó consistente con lo descrito en la literatura para escenarios con objetos pequeños en imágenes cenitales UAV, donde las flores presentan formas irregulares y bordes difusos (Gallmann *et al.*, 2022).

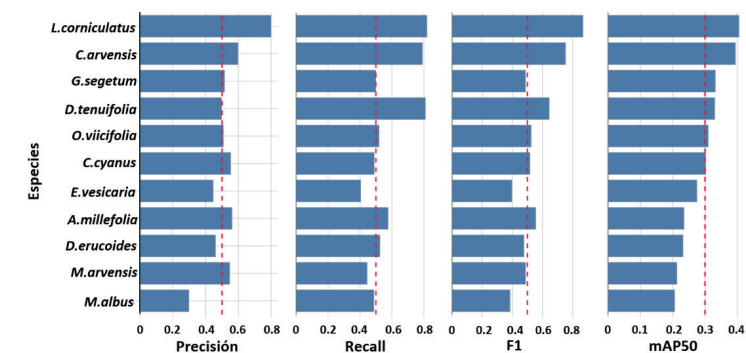


Figura 1. Métricas de rendimiento del modelo YOLO26m para el entrenamiento. Clases ordenadas según su mAP@50. Las líneas rojas indican los umbrales de referencia 0,5 y 0,3.

3. 2 Inferencias de test para 35 imágenes y 9 imágenes compuestas

Sobre las 35 imágenes UAV originales, el flujo YOLO26m + SAM alcanzó un $mAP@50 = 0,442$ ($P = 0,432$; $R = 0,542$; $F1 = 0,481$) sobre 4.009 instancias, mejorando las métricas respecto a la evaluación inicial del modelo gracias al ajuste de umbrales de inferencia y al filtrado por confianza específico por clase. Destacaron *L. corniculatus* ($mAP@50 = 0,749$), *G. segetum* (0,663) y *O. viciifolia* (0,533), mientras que *M. arvensis* (0,240), *E. vesicaria* (0,297) y *D. erucoides* (0,305) registraron los valores más bajos, probablemente debido a su similitud morfológica y a su reducido contraste cromático respecto al fondo. Para el test de las 9 imágenes compuestas, caracterizadas por una mayor densidad y solapamiento floral, el sistema alcanzó un $mAP@50 = 0,224$ ($P = 0,336$; $R = 0,389$; $F1 = 0,360$), mostrando una reducción del rendimiento acorde con lo descrito por Gallmann *et al.* (2022), probablemente asociada a la presencia de instancias parcialmente ocultas y a la coexistencia de hasta 11 especies en la misma escena.

La capacidad de generalización dependió no solo del tamaño muestral, sino también de rasgos visuales clave como el color floral, la morfología y el tamaño aparente. Las especies con mayor contraste cromático y morfologías más estables presentaron mejores resultados, mientras que flores pequeñas, blancas o altamente solapadas mostraron una mayor degradación, especialmente en escenarios con alta densidad floral (figura 2).

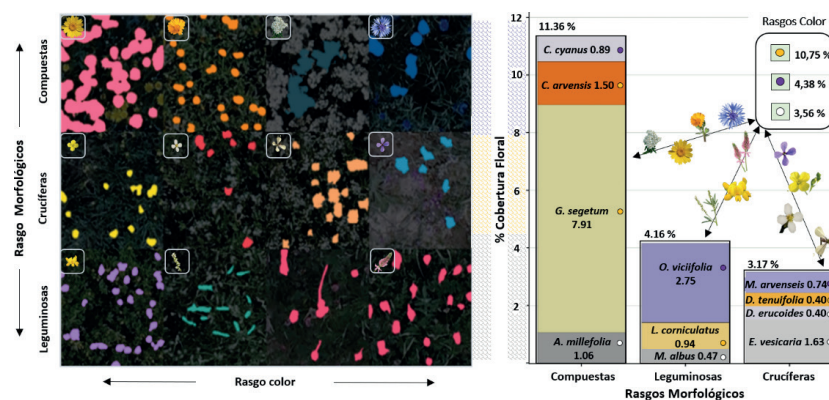


Figura 2. Resultado de la Segmentación con SAM sobre una imagen con las 11 especies objetivo. El sistema genera mapas de diversidad floral en términos de cobertura (%) o superficie (m²) y discrimina clases según rasgos funcionales de color y morfología.

El uso de SAM permitió delimitar con precisión los contornos florales a partir de las cajas predichas por YOLO26m y obtener métricas con significado biológico directo, como la cobertura y la superficie floral. Estas variables proporcionan una base cuantitativa para modelizar las interacciones entre los recursos florales y sus polinizadores, en consonancia con lo descrito en investigaciones previas (Ricou *et al.*, 2014; González *et al.*, 2022). La segmentación mediante máscaras permitió delimitar con precisión la superficie floral, adaptándose a la heterogeneidad morfológica y cromática de las especies evaluadas. No obstante, la exactitud de las estimaciones de área estuvo condicionada por la calidad geométrica y la resolución espacial de los ortomosaicos, lo que pone de manifiesto la importancia de la fase de procesamiento fotogramétrico para la obtención de métricas fiables.

4. Conclusiones

El sistema integrado basado en YOLO26m y SAM demostró capacidad para la detección, clasificación y estimación de cobertura de 11 especies arvenses presentes en márgenes florales agrícolas mediante imágenes UAV de alta resolución. No obstante, persisten limitaciones en especies con flores pequeñas, tonalidades claras o elevado solapamiento en escenarios de alta densidad vegetal. La ampliación y equilibrado del dataset, junto con funciones de pérdida adaptadas por clase, podrían mejorar la sensibilidad hacia especies minoritarias y reducir los efectos del desbalance muestral. Asimismo, estrategias de entrenamiento diferenciadas según grupos fenológicos y especies coexistentes permitirían reducir la complejidad multiclasa y mejorar el rendimiento global del sistema.

5. Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto PID2020-113229RB-C41/AEI/10.13039/501100011033 (MCIN/AEI). JDM es beneficiario de la ayuda predoctoral PRE2021-101068. El contrato de IBS está financiado por el proyecto ECDigital (ref. MMT24-ICA-01) a través del programa MOMENTUM CSIC y el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (NextGenerationEU).

Referencias

- CHIEFFALLO L, TORRESANI M, ZANNINI P, DE VRIES JPR, BLAHA M, MONACCHIA A, KLEIJN D & ROCCHINI D (2025) Machine learning for biodiversity: UAV-based flower detection as an indirect proxy for bee abundance. *Ecological Informatics*, 91, artículo 103346.
- FLOHRE A, FISCHER C, AAVIK T, BENGTTSSON J, BERENDSE F, BOMMARCO R & CERYNGIER P (2011) Agricultural intensification and biodiversity partitioning in European landscapes comparing plants, carabids, and birds. *Ecological Applications*, 21, 1772-1781.
- GALLMANN J, SCHUEPBACH B, JACOT K, ALBRECHT M, WINIZKI J, KIRCHGESSNER N & AASEN H (2022) Flower mapping in grasslands with drones and deep learning. *Frontiers in Plant Science*, 12, 774965.
- GONZÁLES D, HEMPEL DE IBARRA N & ANDERSON K (2022) Remote Sensing of Floral Resources for Pollinators – New Horizons from Satellites to Drones. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 869751.
- JACHOWICZ N & SIGSGAARD L (2025) Highly diverse flower strips promote natural enemies more in annual field crops: A review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 381, 109412.
- JORDAN MI (2025) Muon Optimizer and MuSGD: Advances in LLM-Inspired Optimization for Vision Models. *arXiv preprint*. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2502.16982> [Consultado el 28 abril 2026].
- KIRILLOV A (2023) Segment Anything. En: 2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (2-6 October, Francia), pp. 3992-4003.
- LOSHCHILOV I & HUTTER F (2019) Decoupled Weight Decay Regularization. En: 7th International Conference on Learning Representations (6-9 Mayo, New Orleans). 1-18.
- MENA JD, MESÍAS-RUIZ GA, GARCÍA-GUERRA J, CASTILLO-MALLA D, PEÑA JM, DORADO J, BORRA-SERRANO I (2026) Detección de la riqueza floral en agrosistemas mediante imágenes UAV e inteligencia artificial. En: XXI Congreso de la Asociación Española de Teledetección (8-11 junio, Cáceres, España), 2, 3101-7177.

RICOU C, SCHNELLER C, AMIAUD B, PLANTUREUX S & BOCKSTALLER C (2014) A vegetation-based indicator to assess the pollination value of field margin flora. *Ecological Indicators*, 45, 320-331.

TZUTALIN (2015) LabelImg [Python]. Disponible en: <https://github.com/tzutalin/labelImg> [Consultado el 14 mayo 2026].

ULTRALYTICS (2025) YOLO26 Documentación. Disponible en: <https://docs.ultralytics.com/models/yolo26/> [Consultado el 28 abril 2026].

O4. Let's play MixWeeding: un videojuego de aperos inteligentes

O4. Let's play MixWeeding: un videojuego de aperos inteligentes

MORENO H¹, RIVERA G¹, ANDÚJAR D^{1,*}

¹Centro de Automática y Robótica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Arganda del Rey, Madrid, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29278

*E-mail: d.andujar@csic.es

MixWeeding es un videojuego educativo desarrollado en Unity que tiene como objetivo mostrar de forma interactiva y lúdica las ventajas de integrar sistemas de inteligencia artificial (IA) en el manejo localizado y específico de malas hierbas. Diseñado como un *serious game*, combina simulación, toma de decisiones y gestión agronómica en escenarios hortícolas, ofreciendo al usuario una experiencia inmersiva y formativa. El videojuego reproduce la estructura de un sistema ISOBUS moderno mediante tres componentes principales: tractor, terminal de control y apero de control híbrido de malas hierbas. Esta configuración permite comprender cómo se establece la comunicación entre máquinas agrícolas y la relevancia de la interoperabilidad en la agricultura de precisión. El terminal actúa como interfaz principal, desde donde el jugador puede supervisar y activar los sistemas de control variable del apero, ya sea manualmente o mediante la simulación de algoritmos de IA encargados de clasificar especies de mala hierba. El apero virtual inteligente integra dos estrategias de manejo diferenciadas. Por una parte, incorpora un sistema de tratamiento mecánico selectivo dirigido a *Amaranthus palmeri* S. Watson. Por otra, dispone de un módulo de pulverización localizada orientado al control de *Setaria verticillata* L., *Solanum nigrum* L. y *Cyperus rotundus* L. Esta combinación permite ilustrar la eficacia del manejo mixto y el papel de la IA en la mejora de la toma de decisiones en tiempo real. En conjunto, el videojuego constituye una herramienta divulgativa accesible que promueve la adopción de tecnologías avanzadas y sostenibles en la agricultura.

Palabras clave: *Serious game*, Unity, inteligencia artificial, manejo localizado y específico de malas hierbas.

*MixWeeding is an educational video game developed in Unity that aims to interactively demonstrate the advantages of integrating artificial intelligence systems into the localized and targeted management of weeds. Designed as a serious game, it combines simulation, decision-making, and agronomic management in horticultural scenarios, offering the user an immersive and educational experience. The video game replicates the structure of a modern ISOBUS system using three main components: a tractor, a control terminal, and a hybrid weed control implement. This configuration allows users to understand how communication is established between agricultural machines and the importance of interoperability in precision agriculture. The terminal acts as the main interface, from which the player can monitor and activate the implement's variable control systems, either manually or through the simulation of AI algorithms responsible for classifying species. The intelligent virtual implement integrates two distinct management strategies. On the one hand, it incorporates a selective mechanical weeding system targeting *Amaranthus palmeri* S. Watson. On the other hand, it features a localized spraying module designed to control *Setaria verticillata* L., *Solanum nigrum* L., and *Cyperus rotundus* L. This combination illustrates the effectiveness of mixed management and the role of AI in improving real-time decision-making. Overall, the video game is an accessible educational tool that promotes the adoption of advanced and sustainable technologies in agriculture.*

Keywords: *Serious game, Unity, video game, artificial intelligence, site and specific weed management.*

1. Introducción

Los *serious games* se definen como juegos cuyo propósito principal trasciende el entretenimiento, orientándose a la educación, la formación o la transmisión de conocimiento (Den Haan & der Voort, 2018). En los últimos años, este tipo de herramientas se ha consolidado como una alternativa complementaria a los métodos tradicionales de enseñanza y aprendizaje, debido a su capacidad para integrar contenidos formativos en entornos interactivos e inmersivos (Daoudi, 2022). En consecuencia, los *serious games* presentan un notable potencial en ámbitos como la divulgación científica, la capacitación técnica y la transferencia de conocimiento, ya que favorecen la comprensión de sistemas complejos, estimulan la participación activa del usuario y facilitan la toma de decisiones en contextos aplicados. Asimismo, diversos estudios han señalado que estos recursos pueden contribuir positivamente a la motivación, el grado de implicación y los resultados de aprendizaje de los usuarios (Eyupoglu & Nietfeld, 2019; Carrión-Toro *et al.*, 2025), aspectos especialmente relevantes en procesos de adopción tecnológica y superación de resistencias al cambio.

En el ámbito agrario y, en particular, en el contexto de la agricultura de precisión, los *serious games* constituyen una vía prometedora para aproximar al usuario al funcionamiento y aplicación de tecnologías emergentes, tales como la visión por computador, la automatización y la inteligencia artificial (IA). En este contexto se desarrolla MixWeeding, un videojuego implementado en el motor Unity y dirigido a agricultores, estudiantes e investigadores del ámbito agronómico, especialmente a aquellos interesados en el manejo localizado y específico de malas hierbas. MixWeeding se plantea como una herramienta de comunicación científica y divulgativa aplicada que permite visualizar, de manera accesible y atractiva, cómo la IA integrada en aperos puede contribuir al desarrollo de estrategias mixtas de control, combinando tratamiento mecánico y pulverización localizada en función de la especie detectada.

2. Material y métodos

La implementación técnica de MixWeeding se llevó a cabo utilizando el motor de desarrollo integral Unity (versión 2022.3.46f1) desarrollado por Unity Technologies, seleccionado por su capacidad para gestionar simulaciones físicas y lógicas en tiempo real de manera eficiente. Unity se define formalmente como un motor de desarrollo multiplataforma y un entorno de desarrollo integrado (IDE) basado en una arquitectura orientada a componentes. Su núcleo tecnológico permite la creación de sistemas interactivos en 2D, 3D, realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) mediante el uso del lenguaje C# (figura 1). El diseño sonoro y la composición musical se fundamentaron en el muestreo digital (*sampling*) de señales generadas mediante la emulación del hardware Sinclair ZX Spectrum 128. Los segmentos de audio resultantes fueron sometidos a una fase de post-procesamiento en la estación de trabajo de audio digital (DAW) GarageBand (Apple Inc.), plataforma especializada en la secuenciación y edición de audio multicanal.

Para la creación del ecosistema visual y la representación botánica de las especies, se empleó el software Aseprite, el cual permitió el diseño detallado de *sprites* y hojas de animación cuadro a cuadro. En este proceso, se determinó de manera deliberada que las especies arvenses mostraran un estado fenológico avanzado, el cual se sitúa cronológicamente fuera de la ventana temporal óptima para los tratamientos agronómicos convencionales. Dicha decisión metodológica responde a la necesidad de optimizar la discriminación taxonómica por parte del usuario, ya que el desarrollo de estructuras morfológicas maduras y distintivas permite que, bajo la estética retro de pixel art empleada, se logre una identificación visual clara y unívoca entre las diferentes especies, superando las limitaciones de resolución inherentes al estilo artístico (figura 2).

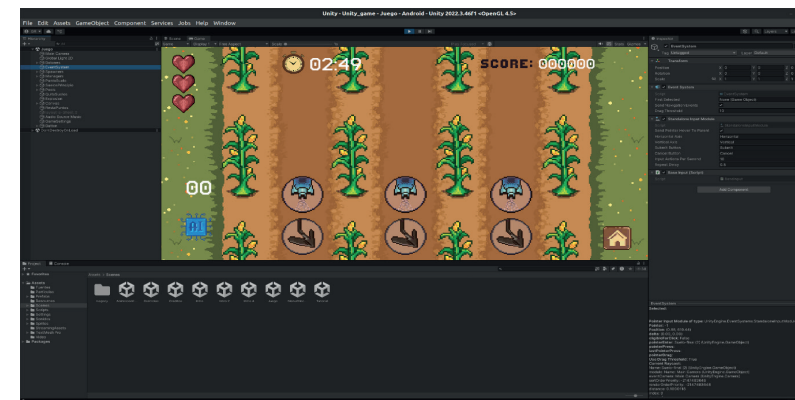


Figura 1. Entorno de trabajo de Unity Engine, ilustrando la escena actual, la jerarquía de objetos, el inspector de propiedades y la estructura de directorios del proyecto.

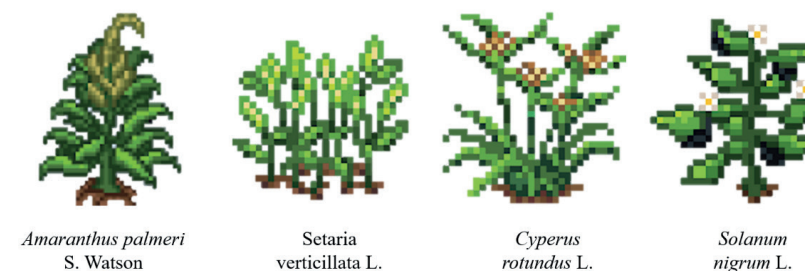


Figura 2. Representación visual (*sprites*) de las especies arvenses integradas en la aplicación, diseñadas mediante la técnica de síntesis gráfica *pixel art*.

De forma complementaria, para la composición, animación y postproducción del resto del entorno gráfico, así como para la estructuración de la interfaz gráfica de usuario (GUI), se emplearon de manera conjunta Adobe Illustrator, Adobe After Effects y Adobe Premiere. A nivel de interacción y mecánicas de control, el diseño base del videojuego requiere que el usuario opere de forma manual mediante entrada por teclado. Para dotar al simulador de variabilidad y realismo agronómico, el entorno virtual recrea parcelas e hileras de cultivos comerciales de tomate, maíz o berenjena, sobre las cuales se generan y distribuyen las diferentes especies de malas hierbas de forma aleatoria a medida que avanza la cámara (*vertical scrolling*). En esta modalidad manual, el jugador asume la carga cognitiva de identificar visualmente cada especie arvense emergente en tiempo real y seleccionar rápidamente el tratamiento agronómico correspondiente (mecánico o químico) durante el desplazamiento del apero inteligente. Con el objetivo de evidenciar el contraste tecnológico, se ha implementado un sistema de potenciadores (*power-ups*) basados en módulos de IA. Una vez que el usuario activa esta función, el apero inteligente asume el control y opera de forma completamente autónoma durante un intervalo de tiempo limitado. Es durante esta fase automatizada cuando entra en acción el núcleo algorítmico del simulador, programado en lenguaje C#, el cual integra un sistema de detección que emula la visión artificial presentando los cuadros delimitadores (*bounding boxes*) con la probabilidad de detección. Esta arquitectura lógica

permite la discriminación taxonómica inmediata en el escenario virtual, vinculando y ejecutando cada especie detectada con su respuesta mecánica o química específica de forma automática. En este sentido, el software integra una base de datos de comportamiento agronómico donde se prioriza el tratamiento mecánico de la especie *Amaranthus palmeri* S. Watson, dada su resistencia a diversas materias activas y su alta capacidad competitiva (Kouame *et al.*, 2022). En contraste, el sistema parametriza la aplicación localizada de herbicidas para las especies *Setaria verticillata* L., *Solanum nigrum* L. y *Cyperus rotundus* L., simulando así un modelo de intervención diferencial ajustado a las necesidades biológicas de cada especie.

3. Resultados y discusión

La implementación de MixWeeding en Unity generó un entorno interactivo para la divulgación y formación en manejo de malas hierbas. Este prototipo funcional integra componentes lógicos y agronómicos, permitiendo al usuario operar un apero inteligente y tomar decisiones de control específicas según la especie detectada en un escenario agrícola en tiempo real. El diseño integró factores clave de los *serious games*, tales como la credibilidad visual, la usabilidad y una progresión adaptada a la destreza del usuario (Daoudi, 2022). Mediante mecánicas de gamificación orientadas a maximizar el *engagement*, se implementó un modo manual que exige una alta demanda cognitiva. En esta modalidad, el usuario debe identificar las especies y decidir en tiempo real entre el tratamiento mecánico o químico, reproduciendo fielmente la complejidad en la toma de decisiones del manejo localizado de malas hierbas. Por otro lado, la activación del sistema de IA introdujo una fase de automatización donde el apero asume el control, visualizando cuadros de reconocimiento y probabilidades de detección. Por ejemplo, en la interfaz se identifica un espécimen con el acrónimo “AMAPA” (nomenclatura EPPO para *A. palmeri*) y un indicador de “0.95”, que emula un nivel de confianza del 95 % asignado por el algoritmo de visión artificial en tiempo real. Según estas premisas, el videojuego fue publicado en abierto en una plataforma online durante un periodo de un mes con el objetivo de evaluar su funcionalidad y analizar la interacción de los usuarios en un entorno real de uso. Este despliegue permitió comprobar la estabilidad del sistema, así como obtener una primera aproximación cualitativa al comportamiento de los jugadores y su grado de implicación con la mecánica propuesta. De forma complementaria, el desarrollo del prototipo incluyó distintas fases de depuración (*debugging*), orientadas a optimizar su rendimiento e implementación final para su ejecución en entorno PC, garantizando así su accesibilidad y correcta operatividad en diferentes configuraciones de hardware.

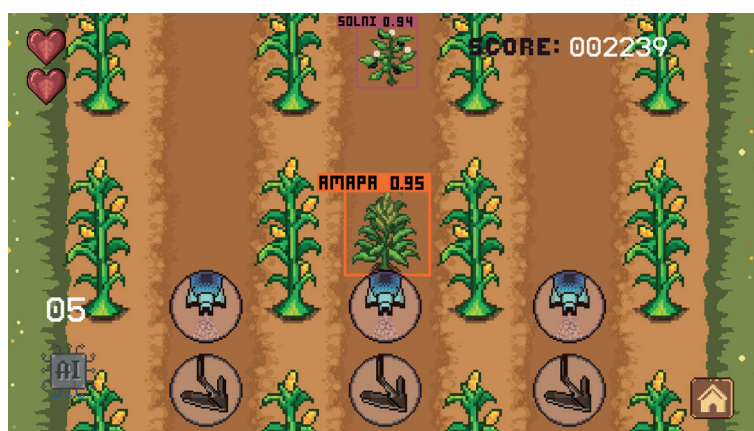


Figura 3. Visualización de la detección y clasificación de las especies arvenses en modo automático basado en IA.

4. Conclusiones

MixWeeding representó una herramienta de divulgación científica orientada a favorecer la comprensión y aceptación de tecnologías avanzadas en agricultura de precisión. A través de una experiencia lúdica e interactiva, el videojuego tradujo a un lenguaje accesible los fundamentos del manejo localizado y específico de malas hierbas, permitiendo visualizar el funcionamiento de sistemas basados en IA, visión por computador y automatización. En este sentido, su valor no residió únicamente en su dimensión didáctica, sino también en su capacidad para contribuir a superar las barreras de resistencia que con frecuencia dificultaban la adopción de innovaciones tecnológicas en el sector agrario. Por otra parte, en el marco de la transferencia y divulgación de los resultados obtenidos, el videojuego se presentará en acceso abierto coincidiendo con la celebración de la XX SEHM 2026. Esta acción permitirá ampliar su visibilidad y evaluar su alcance entre la comunidad científica, el sector técnico y el público general interesado en el manejo sostenible de malas hierbas.

5. Agradecimientos

Esta publicación forma parte del proyecto PID2023-150108OB-C33 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y FSE+. Los autores extienden su gratitud a los estudiantes de grado y máster en prácticas curriculares de la UDIT y de la UCM por su colaboración en el desarrollo del videojuego, así como a Antonio Moreno por su asesoría y contribución profesional en la banda sonora y el apartado de efectos de sonido.

Referencias

- CARRIÓN-TORO M, MORALES-MARTÍNEZ D, SANTÓRUM M, BERNAL L, GALINDO J, AGUILAR J & ACOSTA-VARGAS P (2025) Rethinking usability in serious games: designing an instrument that evaluates what really matters in learning contexts. *Applied Sciences*, 15, 10084.
- DAOUDI I (2022) Learning analytics for enhancing the usability of serious games in formal education: a systematic literature review and research agenda. *Education and Information Technologies*, 27, 11237-11266.
- DEN HAAN RJ & VAN DER VOORT MC (2018) On evaluating social learning outcomes of serious games to collaboratively address sustainability problems: a literature review. *Sustainability*, 10, 4529.
- EYUPOGLU TF & NIETFELD JL (2019) Intrinsic motivation in game-based learning environments. In: IFENTHALER D & KIM YJ (eds) *Game-Based Assessment Revisited*. *Advances in Game-Based Learning*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15569-8_5
- KOUMAME KBJ, BERTUCCI MB, SAVIN MC, BARARPOUR T, STECKEL LE, BUTTS TR, WILLETT CD, MACHADO FG & ROMA-BURGOS N (2022) Resistance of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) to S-metolachlor in the midsouthern United States. *Weed Science*, 70, 380-389.

O5. Evaluación técnico-económica del manejo localizado de malas hierbas mediante la herramienta *Drone4Weeding*

O5. Technical and economic assessment of site-specific weed management using the Drone4Weeding tool

PEÑA, JM¹, DORADO, J¹, ANDÚJAR, D², MONTULL, JM³, DE CASTRO, A⁴

¹Grupo Tech4Agro, Instituto de Ciencias Agrarias, ICA-CSIC, Madrid, España; ²Centro de Automática y Robótica, CAR-CSIC, Arganda del Rey, Madrid, España; ³Agrotecnio, Universitat de Lleida, Lleida, España; ⁴Grupo de Agricultura Sostenible y Ecología de Suelos, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, INIA-CSIC, Madrid, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29279

Email (por orden de autoría): jmpena@ica.csic.es; jose.dorado@csic.es; d.andujar@csic.es; josemaria.montull@udl.cat; ana.decastro@csic.es

El manejo localizado de malas hierbas (mh) en base a un mapa de tratamiento generado mediante teledetección con drones permite ajustar espacialmente la aplicación de herbicidas en función de la distribución de la infestación. Sin embargo, existe cierta incertidumbre sobre el beneficio económico del uso de esta tecnología en comparación con realizar un tratamiento uniforme convencional de toda la parcela. Por tanto, este trabajo evaluó económicamente ambas estrategias de control de mh utilizando la herramienta digital *Drone4Weeding*, que integra variables productivas del maíz y pérdidas de rendimiento por competencia de mh, precio, eficacia y daño residual del herbicida, y coste del servicio de teledetección, para estimar el balance coste-beneficio de cada tratamiento. Se consideraron cuatro parcelas comerciales de maíz, con superficies de 1,9 ha (Moncalver), 2,2 ha (Huerto), 5,0 ha (Cobertura) y 34,6 ha (Pívor), e infestaciones principalmente de ricio de cebada y sorgo que cubrieron el 68,4%, 40,9%, 78,0% y 56,4% de la superficie de parcela, respectivamente. El manejo localizado resultó económicamente ventajoso en tres parcelas, generando ahorros de 42,5 €/ha en la parcela de mayor tamaño (Pívor) y de 9,5 y 2,5 €/ha en Huerto y Cobertura, respectivamente. Por el contrario, en Moncalver, de menor tamaño y con una elevada infestación, el manejo localizado no compensó el coste del servicio de teledetección. El análisis de sensibilidad identificó los umbrales de rentabilidad del control localizado frente al tratamiento convencional: 1) infestación mh < 80%, 2) coste del tratamiento herbicida > 44 €/ha, y 3) coste del servicio de cartografía < 62 €/ha. Estos resultados indican que la viabilidad económica del manejo localizado depende de la interacción entre el tamaño de la parcela, el nivel de infestación, el precio del herbicida y el coste del servicio de teledetección.

Palabras clave: Teledetección, dron, mapa de tratamiento, sistema de soporte a la decisión, análisis coste-beneficio.

Site-specific weed management (SSWM) based on prescription maps generated from drones enables the spatial adjustment of herbicide applications according to the distribution of weeds in the field. However, uncertainty remains regarding the economic benefits of this technology compared with conventional uniform applications across the entire field. Therefore, this study evaluated the economic performance of both weed control strategies using the digital tool Drone4Weeding, which integrates maize production parameters, yield losses due to weed competition, herbicide cost, efficacy and residual damage,

and drone-based mapping costs to estimate the cost–benefit balance of each treatment. Four commercial maize fields were analysed, with areas of 1.9 ha (Moncalver), 2.2 ha (Huerto), 5.0 ha (Cobertura), and 34.6 ha (Pivot), and infestations mainly composed of volunteer barley and johnsongrass covering 68.4%, 40.9%, 78.0%, and 56.4% of the field area, respectively. SSWM was economically advantageous in three of the four fields, generating savings of 42.5 €/ha in the largest field (Pivot) and 9.5 and 2.5 €/ha in Huerto and Cobertura, respectively. In contrast, in Moncalver, the smallest field with a high infestation level, SSWM did not offset the cost of drone-based mapping. Sensitivity analysis identified the thresholds of SSWM relative to conventional treatment as: (1) weed infestation <80%, (2) herbicide treatment cost >44 €/ha, and (3) drone-based mapping service cost <62 €/ha. These results indicated that the economic viability of SSWM depends on the interaction between field size, infestation level, herbicide cost, and drone-based mapping costs.

Keywords: Remote sensing, drone, treatment map, decision support system, cost-benefit analysis.

1. Introducción

La agricultura de precisión propone optimizar el manejo de los cultivos considerando la variabilidad espacial y temporal observada en las parcelas, siendo el control localizado de malas hierbas una de las aplicaciones más extendidas, ya que permite reducir el uso de herbicidas mediante aplicaciones dirigidas y selectivas. La teledetección basada, principalmente, en el uso de imágenes aéreas tomadas con drones ha demostrado una elevada precisión en la detección de rodales, facilitando la generación de los mapas de prescripción necesarios para llevar a cabo los tratamientos (Peña *et al.*, 2022). No obstante, la adopción generalizada de esta tecnología por parte de agricultores, empresas de servicios y asesores técnicos requiere disponer de herramientas que permitan evaluar objetivamente su rentabilidad. Con este propósito se desarrolló la herramienta digital *Drone4Weeding* (Peña *et al.*, 2025), diseñada para evaluar el balance coste-beneficio de tres estrategias de control de malas hierbas: 1) aplicación localizada de herbicidas basada en cartografía de malas hierbas obtenida mediante drones, 2) manejo convencional basado en un tratamiento uniforme y completo de la parcela, y 3) ausencia de tratamiento. *Drone4Weeding* estima el coste total asociado a cada estrategia integrando variables agronómicas, operativas y económicas relacionadas con el cultivo, las malas hierbas, el tratamiento herbicida y el servicio de teledetección. Por tanto, los objetivos de este trabajo fueron: 1) analizar la viabilidad económica de cada estrategia aplicando la herramienta *Drone4Weeding* en diversos escenarios reales del cultivo de maíz, y 2) identificar las principales variables y umbrales que condicionan la adopción del tratamiento localizado en comparación con el manejo convencional.

2. Material y métodos

Se analizaron cuatro parcelas comerciales de maíz localizadas en las provincias de Lleida y Huesca, con superficies que oscilaron entre 1,9 y 34,6 ha, y niveles de infestación de malas hierbas que variaron entre el 40,9% y el 78,0% de la parcela. Las especies más abundantes fueron ricio de cebada en Moncalver y sorgo (*Sorghum halepense*) en el resto de parcelas, aunque también se observaron *Amaranthus spp.*, *Echinochloa crus-galli* y *Chenopodium album* (tabla 1). Esta diversidad de escenarios permitió analizar el efecto combinado del tamaño de parcela y del nivel de infestación sobre el coste de cada tipo de tratamiento.

Tabla 1. Descripción de las parcelas evaluadas.

ESCENARIO	PROVINCIA	SUPERFICIE TOTAL (HA)	SUPERFICIE INFESTADA (HA)	% INFESTACIÓN	MALA HIERBA MAYORITARIA
Moncalver	Huesca	1,9	1,3	68,4	Ricio de cebada
Huerto	Huesca	2,2	0,9	40,9	Sorgo
Cobertura	Lleida	5,0	3,9	78,0	Sorgo
Pivot	Lleida	34,6	19,5	56,4	Sorgo
Total	-	43,7	25,6	58,6	-
Media	-	10,9	6,4	60,9	-

Para controlar las malas hierbas de cada parcela se utilizó la prescripción de herbicida propuesta por el sistema de apoyo a la decisión DSS IPMwise (Montull, 2026). Para el control del ricio de cebada se aplicaron 2,5 L/ha de foramsulfuron 2,25 % p/v, OD (Cubix®), 300 g/ha de tembotriona 20 % p/p (Laudis® WG) y 0,5 L/ha de un coadyuvante a base de alquilétersulfato sódico 27,65 % p/v (Biopower®), empleando un volumen de caldo de 250 L/ha. Para el control del sorgo se aplicaron 1 L/ha de nicosulfuron 4 % p/v, OD, 400 g/ha de tembotriona 20 % p/p (Laudis® WG) y 250 mL/ha de dicamba.

Se compararon dos estrategias de manejo: 1) Tratamiento convencional, consistente en la aplicación de herbicida sobre la totalidad de la superficie de la parcela, y 2) Manejo localizado, en el que el herbicida se aplicó únicamente sobre las zonas con presencia de malas hierbas basado en un mapa de tratamiento generado previamente por teledetección con drones. Las especificaciones de los vuelos y la toma de imágenes, así como el procedimiento para generar los mapas se describen con detalle en Peña *et al.* (2024b).

Para la evaluación económica con *Drone4Weeding* se consideró en todas las parcelas un rendimiento potencial del cultivo de 12.000 kg/ha (maíz en regadío) y un precio de venta de 240 €/t, lo que generó un ingreso bruto potencial de 2.880 €/ha. Asimismo, se estimó una pérdida potencial de rendimiento de 44% y 56% atribuible a la competencia del ricio de cebada y del sorgo con el cultivo, respectivamente (Wilson *et al.*, 2010; Peña *et al.*, 2024a). El coste estimado de los tratamientos herbicidas fue de 65 €/ha para el control de ricio de cebada y de 80 €/ha para el control de sorgo, con eficacias esperadas del 97% y 90%, respectivamente, y un daño residual potencial sobre el cultivo del 3% para ambos tratamientos (Peña *et al.*, 2024a). Finalmente, el coste del servicio de cartografía mediante drones se estimó en un coste variable de 30 €/ha, con un coste mínimo de 150 € por parcela. A partir de estos parámetros, *Drone4Weeding* calculó el balance económico de cada estrategia, incluyendo costes del tratamiento, pérdidas productivas derivadas de infestaciones no controladas, posibles daños residuales del herbicida y costes asociados al servicio de teledetección. Finalmente, se determinó el ahorro económico del manejo localizado respecto al tratamiento convencional para cada escenario analizado.

3. Resultados y discusión

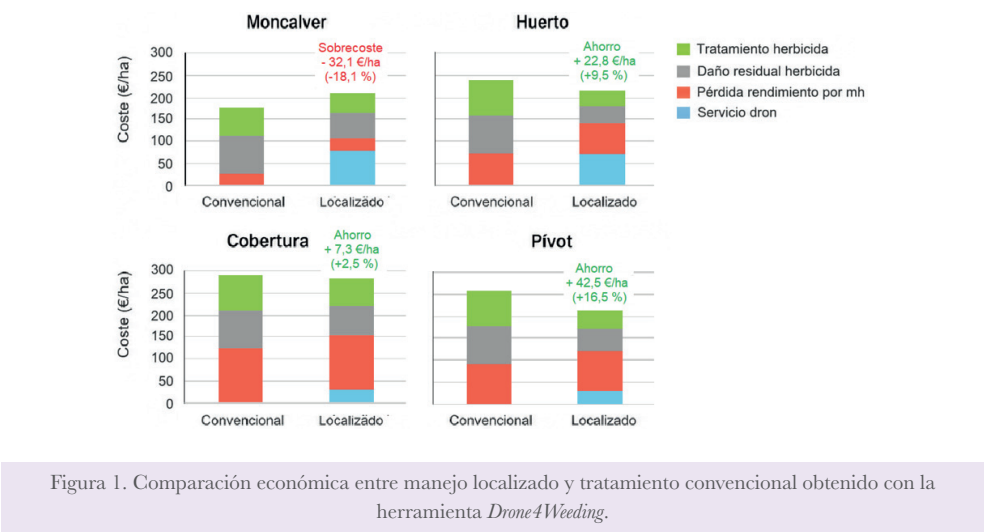
El manejo localizado resultó económicamente más favorable en tres de las cuatro parcelas, destacando la parcela Pivot, con un ahorro de 42,5 €/ha respecto al tratamiento convencional, seguido de Huerto y Cobertura, con ahorros 22,8 €/ha y 7,3 €/ha, respectivamente. En contraste, Moncalver presentó un sobrecoste de 32,1 €/ha, debido principalmente a que la reducida superficie de la parcela impidió compensar el coste del servicio de teledetección (tabla 2). Estos resultados indican que la rentabilidad del control localizado no depende solo del nivel de infestación y el precio del herbicida. De hecho, en

la parcela Pívo se alcanzaron ahorros relevantes incluso con una infestación superior al 50%, mientras que en Cobertura se obtuvo un balance positivo pese a presentar una mayor superficie infestada (78,0% de mh) que en Moncalver (68,4% de mh), donde el manejo localizado resultó desfavorable.

Tabla 2. Costes totales obtenidos para cada tipo de tratamiento, así como balance económico del control localizado respecto al tratamiento convencional.

ESCENARIO	COSTES TOTALES (€)		BALANCE CONTROL LOCALIZADO I/S. TRATAMIENTO CONVENCIONAL
	Convencional	Localizado	
Moncalver	336	396	Sobrecoste: - 32,1 €/ha (- 18,1 %)
Huerto	521	471	Ahorro: + 22,8 €/ha (+ 9,5 %)
Cobertura	1.454	1.418	Ahorro: + 7,3 €/ha (+ 2,5 %)
Pívo	8.899	7.430	Ahorro: + 42,5 €/ha (+ 16,5 %)

Drone4Weeding también mostró la contribución de los componentes considerados para el cálculo de los costes de cada estrategia de control (figura 1). En general, el manejo localizado redujo sistemáticamente los costes del tratamiento herbicida (asociados al precio y daño residual del herbicida) al limitar la aplicación sólo a las zonas infestadas, aunque esta reducción se vio parcialmente compensada por el coste del servicio de teledetección, principalmente en las parcelas de menor tamaño como Moncalver y Huerto. Por su parte, pese a la elevada superficie infestada en Cobertura, la reducción de los costes de tratamiento del control localizado permitió compensar ligeramente el coste del servicio de teledetección, mientras que en Pívo se observó un menor impacto del coste de dicho servicio sobre los costes totales debido al mayor tamaño de la parcela.



Considerando los valores medios de las parcelas analizadas (tabla 1), un análisis de sensibilidad con *Drone4Weeding* identificó un umbral máximo del 80% de infestación para una parcela de 10,90 ha de

superficie, por debajo del cual el tratamiento localizado tiende a ser más rentable que el convencional. Por su parte, el coste del tratamiento herbicida constituyó la segunda variable más relevante, con un valor umbral de 44 €/ha, a partir del cual se puede recomendar el manejo localizado en parcelas con infestaciones moderadas. Por encima de este precio, el ahorro potencial del manejo localizado aumenta progresivamente. Dado que en este estudio se consideraron costes de tratamiento de 65 y 80 €/ha, el balance económico fue generalmente favorable para el manejo localizado, salvo en Moncalver. En esta parcela, el coste del servicio de teledetección tuvo un impacto decisivo sobre la rentabilidad del manejo localizado, estimándose un coste máximo en este caso de este servicio de 90 € para compensar el ahorro del control localizado. Dicho valor es superior en las condiciones medias de este estudio, estimándose un coste variable máximo a 62 €/ha para el coste del servicio de teledetección.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos mostraron el potencial de la herramienta *Drone4Weeding* para apoyar la toma de decisiones sobre la adopción del manejo localizado de malas hierbas basado en cartografía con drones. El manejo localizado resultó económicamente ventajoso en tres de las cuatro parcelas evaluadas, alcanzándose ahorros entre 7,3 €/ha y 42,5 €/ha. En parcelas muy pequeñas con niveles de infestación elevados (en este caso, superiores al 68%), los costes asociados al servicio de teledetección no fueron compensados por la reducción de la superficie tratada. Considerando los valores medios de las parcelas de este estudio, el manejo localizado resultó especialmente recomendable en parcelas con niveles de infestación inferiores al 80%, costes de tratamiento superiores a 44 €/ha y un coste del servicio de teledetección inferior a 62 €/ha. Bajo estas condiciones, el manejo localizado es la estrategia adecuada para optimizar el uso de herbicidas y reducir costes del manejo del cultivo, contribuyendo a los objetivos económicos y ambientales de la agricultura de precisión.

5. Agradecimientos

Trabajo financiado por los proyectos PID2023-150108OB-C31 y PID2023-150108OB-C32 y PID2023-150108OB-C33, a través del MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER-UE).

Referencias

MONTULL JM (2026) IPMwise, herramienta digital de ayuda a la toma de decisión para el manejo integrado de malas hierbas. Disponible en: <https://www.ipmadvice.es> [Consultado el 23 de mayo de 2026].

PEÑA JM, BORRA-SERRANO I, FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C, DE CASTRO AI, MESÍAS-RUIZ GA, GUERRA JG & DORADO J (2024a) Impacto del manejo localizado en el control de *Sorghum halepense* y el rendimiento del maíz. *Revista de Ciências Agrárias*, 47, 190-194.

PEÑA JM, DE CASTRO AI, MESÍAS-RUIZ GA, FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C & DORADO J (2022) 10 years of UAV technology for weed mapping: overview and future trends for site-specific weed management. In: *Book of Abstracts - 19th EWRS Symposium*, Presented at the 19th EWRS Symposium. EWRS, Athens, Greece.

PEÑA JM, MONTULL JM & DE CASTRO AI (2025) Drone4Weeding: A digital tool for cost-effective drone-based weed mapping. Disponible en: <https://bit.ly/drone4weeding> [Consultado el 23 de mayo de 2026].

PEÑA JM, MONTULL JM, MARTÍN C & DE CASTRO AI (2024b) Hacia un 50% menos de herbicida en maíz combinando drones, el sistema IPMwise y pulverizadores comerciales de dosis variable. *Phytoma*, 358, 35-38.

WILSON GC, SOLTANI N, TARDIF FJ, SWANTON CJ & SIKKEMA PH (2010) Control of vol-

unteer cereals with post-emergence herbicides in maize (*Zea mays* L.). Crop Protection, 29, 1389-1395.

P1. Barrel: Visualización reproducible de análisis de ordenación en comunidades de malas hierbas

P1. Barrel: Reproducible visualization of ordination analyses in weed communities

BARRANCO-ELENA D^{1,2}, BARAIBAR B^{1,2}

¹ Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, ETSEAFiV/Universitat de Lleida, Lleida, España; ² AGROTECNIO-CERCA Center, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29280

Email (por orden de autoría): diego.barranco@udl.cat; barbara.baraibar@udl.cat

Los métodos de ordenación se utilizan ampliamente en malherbología y ecología vegetal para sintetizar patrones multivariantes en la composición de comunidades de especies y su relación con gradientes ambientales. Técnicas como el escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), el análisis de redundancia (RDA) o RDA basado en distancias (dbRDA) son habituales en estudios de vegetación. Aunque los procedimientos estadísticos para ajustar estos modelos están bien desarrollados en R, la representación gráfica de los resultados de forma reproducible, extensible y fácilmente interpretable sigue presentando limitaciones. Presentamos *barrel*, un paquete de R diseñado para la visualización de diagramas de ordenación. El paquete ofrece una interfaz estructurada que permite incorporar de manera sencilla recursos habituales en la interpretación ecológica, como elipses de confianza, centroides de grupo y vectores ambientales. *barrel* es compatible tanto con modelos de ordenación restringidos (RDA) como no restringidos (NMDS), y permite funcionalidades como el etiquetado de la varianza explicada por eje y el filtrado de especies en función de su significancia estadística. Una innovación clave de *barrel* es la incorporación de métodos de estimación clásica y robusta para la representación de elipses de grupo, lo que posibilita resúmenes gráficos precisos incluso en presencia de valores atípicos. Además, permite tanto la obtención rápida de gráficos mediante la función *autoplot* con un código mínimo y sin requerir conocimientos avanzados de programación, como la creación de visualizaciones altamente personalizables a través de las funciones *stat_barrel*, integradas en el entorno de ggplot2. Su aplicación a un ejemplo de datos de comunidades arvenses permitió obtener diagramas de ordenación más interpretables y reproducibles, facilitando la identificación visual de la separación entre grupos y la relación con gradientes ambientales.

Palabras clave: dbRDA, RDA, NMDS, análisis multivariante, análisis de ordenación.

Ordination methods are widely used in weed science and plant ecology to summarize multivariate patterns in community composition and their relationship with environmental gradients. Techniques such as non-metric multidimensional scaling (NMDS), redundancy analysis (RDA), and distance-based redundancy analysis (dbRDA) are commonly applied in vegetation studies. Although statistical procedures for fitting these models are well established in R, the graphical representation of results in a reproducible, extensible, and easily interpretable manner remains challenging. We present barrel, an R package designed for the visualization of ordination diagrams. The package provides a structured interface that facilitates the incorporation of common elements in ecological interpretation, including confidence ellipses, group centroids, and environmental vectors. barrel is compatible with both constrained (RDA) and unconstrained (NMDS) ordination methods and

includes functionalities such as axis-wise explained variance labeling and species filtering based on statistical significance. A key innovation of *barrel* is the implementation of both classical and robust estimation methods for group ellipses, enabling reliable graphical summaries even in the presence of outliers. Overall, *barrel* streamlines the generation of reproducible figures. In addition, the package supports rapid plot generation through the *autoplot* function, requiring minimal code and no advanced R programming skills, as well as highly customizable visualizations via the *stat_barrel* functions integrated within the *ggplot2* framework. Application to weed-community datasets resulted in more interpretable and reproducible ordination diagrams, facilitating the visual identification of group separation and their relationships with environmental gradients.

Keywords: *dbRDA*, *RDA*, *NMDS*, *multivariate analysis*, *ordination analysis*.

1. Introducción

Las técnicas de ordenación multivariante, como el escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), el análisis de componentes principales (PCA) y los métodos restringidos como el análisis de redundancia (RDA), constituyen herramientas fundamentales en el análisis de datos ecológicos. Estos métodos se emplean ampliamente para explorar las relaciones entre especies de malas hierbas y variables ambientales, visualizar la estructura de las comunidades de arvenses y reducir conjuntos de datos de alta dimensionalidad a configuraciones espaciales interpretables.

Si bien las herramientas estadísticas para el ajuste de modelos de ordenación están ampliamente desarrolladas y disponibles en R (R Core Team, 2025), particularmente a través del paquete *vegan* (Oksanen *et al.*, 2025), las herramientas destinadas a la visualización de sus resultados presentan un menor grado de desarrollo. Las funciones de representación gráfica por defecto generan gráficos estáticos basados en el sistema gráfico base de R, con flexibilidad limitada. Por otro lado, la construcción de visualizaciones personalizadas suele requerir programación *ad hoc* y el manejo de gráficas de bajo nivel. Esta fragmentación dificulta la reproducibilidad, reduce la coherencia gráfica entre estudios y complica la integración con flujos de trabajo modernos basados en el paradigma *tidy* (Tierney y Cook, 2023).

Diversos paquetes, como *ggordiplots* (Quensen *et al.*, 2024), han intentado reducir esta brecha mediante la implementación de gráficos basados en *ggplot2* (Wickham, 2016); sin embargo, la mayoría se centra en métodos específicos y/o se apoya en plantillas rígidas que limitan el control del usuario.

Con el objetivo de abordar estas limitaciones, se ha desarrollado el paquete de R *barrel* (Barranco-Elena, 2025), que define una gramática modular y extensible para la visualización de gráficos de ordenación. Construido sobre la infraestructura de *ggplot2* (Wickham, 2016), *barrel* permite a los usuarios superponer de forma coherente y estructurada los distintos componentes de una ordenación dentro de un flujo de trabajo compatible con el enfoque *tidy*. El paquete es compatible tanto con modelos de ordenación restringidos como no restringidos e incorpora herramientas para el etiquetado de ejes, la síntesis del modelo y la anotación de vectores ambientales o de especie en función de su significancia estadística.

barrel está diseñado para dar soporte a un gran abanico de perfiles de usuario. Usuarios noveles con experiencia limitada en R pueden generar figuras de alta calidad con una sintaxis mínima mediante la función *autoplot* (Tang, 2018), mientras que los usuarios avanzados pueden ejercer un control completo sobre la visualización a través de las capas *stat_barrel* integradas en un flujo de trabajo basado en *ggplot2*.

Una característica clave de *barrel* es la incorporación de métodos de estimación robusta para el cálculo de elipses de grupo, utilizando, entre otros, el estimador *covMcd* del paquete *robustbase* (Todorov y Filzmoser, 2010). Esta funcionalidad permite representar con precisión la dispersión de los grupos incluso en presencia de valores atípicos, una situación frecuente en datos ecológicos obtenidos en condiciones de campo.

2. Material y métodos

Para ilustrar la aplicación de los distintos enfoques de visualización de ordenaciones, se emplearon datos reales de comunidades de malas hierbas procedentes de un ensayo en viñedo mediterráneo (Barranco-Elena *et al.*, 2026). Se consideró el inventario florístico realizado en la hilera del viñedo en octubre de 2023 en uno de los campos experimentales. El diseño experimental incluyó cinco tratamientos (cuatro acolchados orgánicos y un control con laboreo intercepa), distribuidos en tres bloques ($n = 3$). Para el análisis, los tratamientos se agruparon en tres categorías funcionales: (i) acolchados lignificados (cáscara de almendra, cáscara de nuez y piel de almendra), (ii) acolchado de orujo de uva y (iii) control con laboreo intercepa.

A partir de la matriz de abundancias de especies, se realizó una ordenación mediante escalado multidimensional no métrico (NMDS) utilizando la función *metaMDS* del paquete *vegan* en R (R Core Team, 2025; Oksanen *et al.*, 2025), con el objetivo de evaluar los patrones de variación de la composición florística en función de los tratamientos.

Los resultados de la ordenación se visualizaron mediante el paquete *barrel*. Previamente, la información se estructuró mediante la función *barrel_prepare*, que integra las puntuaciones de la ordenación, las variables de agrupación y las variables ambientales en un objeto unificado. A partir de este objeto, se generó el diagrama de ordenación utilizando la función *autoplot*, especificando una representación agrupada por tratamiento ($n = 3$), con la configuración por defecto: elipses de grupo definidas como error estándar ($kind = "se"$) y nivel de confianza del 95% (figura 1A), junto con una configuración gráfica homogénea y elegida (colores, símbolos y tipo de líneas). Además, también por defecto, se incorporaron vectores de especies, reteniendo únicamente aquellos con significación estadística ($P < 0,05$). Con una simple línea de código se obtiene el diagrama de ordenación (Ec. 1).

(1) `autoplot(barrel_prepare(nmds,env),data = spp,group = "trat")`

Donde *nmds* corresponde al resultado del análisis NMDS, *env* contiene las variables ambientales, *spp* la matriz de especies, y *trat* define los tratamientos (acolchado, orujo de uva y laboreo). Con el objetivo de analizar cómo varía la representación de la dispersión intragrupal en el espacio NMDS y otras funcionalidades de *barrel*, se generó otro diagrama de ordenación sobre el mismo NMDS mediante la función *stat_barrel* dentro de un *ggplot2*, variando el tipo de medida (*kind*) y el nivel de confianza (*conf*). Se consideró la siguiente configuración: elipses de grupo definidas como desviación estándar ($kind = "sd"$) con un nivel de confianza del 68%. Además, se personalizaron los vectores, las etiquetas en cursiva y en negrita y la selección fue más restrictiva ($P < 0.001$) y se añadieron centroides representados como puntos (figura 1B).

Por último, y con el fin de comparar la representación obtenida con *barrel* con funciones de paquetes ya existentes, se construyó un gráfico de ordenación utilizando funciones incluidas en base de R. En primer lugar, se generó un lienzo vacío (`plot(nmds, type = "n")`), sobre el que se añadieron los sitios (`display = "sites"`) mediante símbolos circulares rellenos (`pch = 21`) coloreados según el tratamiento. Posteriormente, se incorporaron las especies (`display = "species"`) como etiquetas de texto. La dispersión de los grupos se resumió mediante la función *ordiellipse* del paquete *vegan*, empleando igualmente $kind = "sd"$ y nivel de confianza del 68% ($conf = 0.68$) (figura 1C). Todas las elipses se calcularon mediante estimación clásica basada en la matriz de covarianza de los grupos.

Todos los diagramas de ordenación se generaron a partir de la misma solución NMDS y la misma estructura experimental, de modo que las diferencias entre representaciones reflejaron exclusivamente cambios en el método de visualización y en el criterio estadístico de construcción de las elipses.

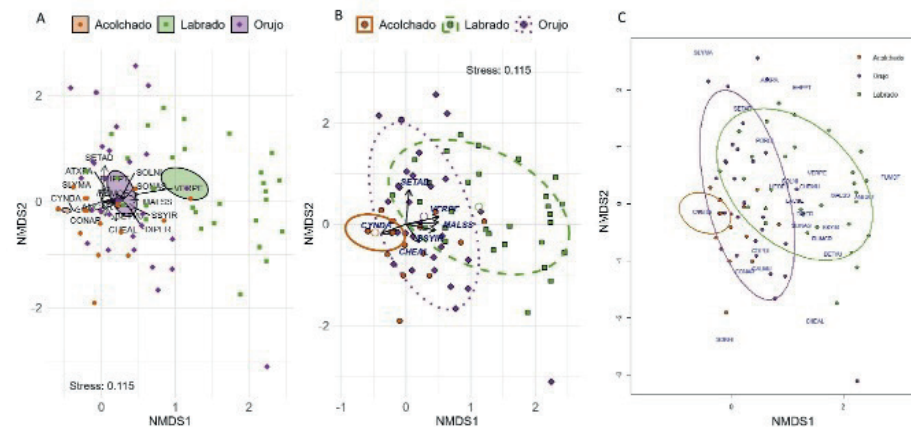


Figura 1. Comparación de tres representaciones de la dispersión intragrupal en el espacio NMDS obtenidas a partir de la misma solución de ordenación y conjunto de datos. (A) Representación mediante autoplot del paquete *barrel*, con elipses de grupo basadas en error estándar y nivel de confianza del 95% (configuración por defecto). (B) Representación mediante *stat_barrel* con elipses basadas en desviación estándar y nivel de confianza del 68%, junto con una selección más restrictiva de vectores. (C) Representación utilizando funciones base del paquete *vegan*, con elipses calculadas mediante desviación estándar y nivel de confianza del 68%.

3. Resultados y discusión

Las tres representaciones mostraron la misma estructura general de la ordenación NMDS, ya que todas partieron del mismo resultado NMDS. En consecuencia, la posición relativa de los sitios en el espacio multivariado fue equivalente entre métodos, y las diferencias observadas se debieron exclusivamente al sistema de representación gráfica, al nivel de personalización y a la forma de integrar información adicional.

La representación mediante el paquete *vegan* evidenció limitaciones importantes desde el punto de vista gráfico (figura 1C). Aunque permite construir el diagrama por capas (sitios, especies, elipses, leyenda), el nivel de diseño y personalización es relativamente bajo y depende de una gestión manual de cada elemento. En contextos con alta riqueza específica, la inclusión simultánea de etiquetas de especies puede generar problemas de solapamiento y pérdida de legibilidad, comprometiendo la interpretación ecológica del patrón. Por tanto, aunque es una aproximación funcional y clásica, puede resultar poco eficiente para generar figuras claras en estudios con comunidades complejas.

Por el contrario, el paquete *barrel* proporcionó la mayor capacidad de integración, personalización y consistencia estadística. La representación obtenida mediante la función *autoplot* permitió generar de forma inmediata un diagrama de ordenación completo (figura 1A), integrando automáticamente sitios, especies, elipses de confianza y centroides mediante una sintaxis simplificada. Este enfoque facilita la obtención de figuras de alta calidad sin necesidad de un conocimiento profundo de la programación en R, lo que resulta especialmente útil para usuarios con experiencia limitada o en fases exploratorias del análisis. Por otro lado, su enfoque modular permitió construir el diagrama de ordenación de forma flexible, incorporando de manera explícita centroides y restringiendo la significancia de los vectores dentro de un flujo de trabajo reproducible basado en *ggplot2* (figura 1B). Desde el punto de vista analítico, *barrel* permitió integrar directamente información clave del modelo, como el valor de *stress* en NMDS, indicador de la calidad de la representación del espacio multivariado. Esta integración refuerza la conexión entre visualización y robustez estadística.

En conjunto, mientras que las representaciones generadas con *vegan* pueden presentar limitaciones en legibilidad, *barrel* destaca como una herramienta más completa, combinando capacidad de personalización, coherencia visual y solidez estadística.

El paquete *barrel* está disponible en CRAN (Barranco-Elena, 2025).

4. Conclusiones

barrel proporciona una herramienta reproducible y flexible para la visualización de análisis de ordenación en malherbología y ecología vegetal. Su gramática modular permite integrar de forma coherente componentes como elipses de confianza, centroides y vectores ambientales o de especies, mejorando la interpretación ecológica de los datos. La aplicación a comunidades arvenses evidenció su utilidad para identificar patrones de diferenciación entre tratamientos y analizar su relación con gradientes ambientales. Asimismo, facilita la comparación entre métodos no restringidos y restringidos. En conjunto, *barrel* mejora la claridad, reproducibilidad y capacidad interpretativa de los análisis multivariantes en ecología vegetal.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto TED2021-130138A-I00 “Manejo de flora arvense sin perturbación del suelo en agricultura ecológica” a través del MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR. El primer autor contó con un contrato predoctoral de la Universitat de Lleida. Los autores agradecen a Marta Barranco, Bárbara Romero, Mónica Romero y Federico Therisod su apoyo en el trabajo técnico.

Referencias

- BARRANCO-ELENA D (2025) *barrel: Visualization of ordination diagrams*. R package. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/barrel/index.html>
- BARRANCO-ELENA D, RECASENS J, LLORENS-CALVERAS J, ESCOLÀ A & BARAIBAR B (2026) Weed control effect of different organic mulches in Mediterranean vineyards. *Weed Research*, 66, e70085.
- OKSANEN J, SIMPSON GL, BLANCHET FG, KINDT R, LEGENDRE P, MINCHIN PR *et al.* (2025) *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.7-1.
- QUENSEN J, SIMPSON G & OKSANEN J (2024) *ggordiplots: Make 'ggplot2' Versions of Vegan's Ordiplots*. R package.
- R CORE TEAM (2025) *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- TANG Y (2018) *autoplotly: An R package for automatic generation of interactive visualizations for statistical results*. *Journal of Open Source Software*, 3, 657.
- TIERNEY N & COOK D (2023) Expanding tidy data principles to facilitate missing data exploration, visualization and assessment of imputations. *Journal of Statistical Software*, 105, 1-31.
- TODOROV V & FILZMOSER P (2010) An object-oriented framework for robust multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 32, 1-47.
- WICKHAM H (2016) *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. New York: Springer.

P2. Evaluación de las infestaciones de *Bassia scoparia* en los secanos centrales de Lleida utilizando técnicas de teledetección

P2. Evaluation of *Bassia scoparia* infestations in the central drylands of Lleida through remote sensing

VILAR I¹, LLENES JM², MONTULL JM^{1,*}

¹DCEFA, Agrotecnio, Universitat de Lleida, Lleida, España; ²Departament d'Agricultura, Generalitat de Catalunya, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29281

*E-mail: josemaria.montull@udl.cat

A partir de la primavera del año 2021 se incrementaron las consultas sobre el control de *Bassia scoparia* en rastrojeras en las zonas cerealistas del centro de Cataluña dado que se apreciaba una expansión clara año a año. Así, se vio que *Bassia* había sido capaz de desarrollar resistencia a herbicidas de tres mecanismos de acción diferentes. La BCAM 6 limitaba en sus primeros años de aplicación cualquier laboreo hasta el 1 de septiembre en toda la superficie dedicada al cultivo de extensivos de secano. De la misma manera, en el área hay zonas ZEPA donde no se pueden realizar labores agrícolas durante el verano. El objetivo del trabajo es evaluar, utilizando herramientas de teledetección, la superficie y el nivel de infestación de las parcelas de cultivos extensivos de secano de las comarcas de la Noguera y la Segarra (Lleida). Se ha trabajado sobre los mapas de NDVI del periodo estival, obtenidos mediante imágenes de Sentinel-2, en base a los cultivos declarados en la DUN de ese año. La curva de NDVI se siguió en tres fincas piloto para establecer la fecha ideal, que fue alrededor del 20 de julio. A partir de esa fecha, se obtuvo el NDVI medio por parcela para cuantificar área y nivel de infestación. Asimismo, se estudió el efecto del cultivo precedente en el valor de NDVI de *Bassia*. Con esto, se ha visto que el área con nivel de infestación alto, medio y bajo corresponde a 18.219, 39.727 y 19.468 ha, respectivamente. Asimismo, se ha detectado que el NDVI promedio es más alto en las parcelas que se habían cultivado durante el ciclo invernal con proteaginosas y oleaginosas en comparación con las parcelas que se habían cultivado con cereales y hay infestaciones más altas en las zonas ZEPA con limitaciones de laboreo estival. Se ha puesto a punto la metodología para evaluar la evolución de las infestaciones año a año utilizando imágenes de Sentinel-2.

Palabras clave: Teledetección, *Bassia*, multirresistencia.

*Since the spring of 2021, there has been an increase in inquiries regarding the post-harvest control of *Bassia scoparia* in the cereal-growing regions of central Catalonia, reflecting a progressive expansion of the species. Concurrently, populations of *Bassia* have been confirmed to have resistance to herbicides from three different modes of action. During the initial years of its implementation, Good Agricultural and Environmental Condition 6 (GAEC 6) prohibited tillage until September 1st across all rain-fed extensive cropping areas. Similarly, parts of the study area are designated as Special Protection Areas (SPAs) for birds, where agricultural tillage is prohibited during the summer months. The objective of this study was to quantify the area and infestation levels of rain-fed extensive crop fields in the counties of Noguera and Segarra (Lleida) using remote sensing tools. The analysis was conducted using summer NDVI maps derived from Sentinel-2 imagery and crop information obtained from the corresponding year's Unified Agricultural Declaration (DUN). The temporal NDVI profile*

was monitored in three pilot farms to establish a reference date around July 20th. Based on this date, the mean NDVI value for each field was calculated to quantify the affected area and estimate infestation intensity. In addition, the influence of the preceding crop on *Bassia* NDVI values was investigated. The results indicated that areas classified as having high, medium, and low infestation levels covered 18,219 ha, 39,727 ha, and 19,468 ha, respectively. Furthermore, mean NDVI values were higher in fields following winter legume and oilseed crops than in those following cereals. Infestation levels were also greater within SPAs where summer tillage restrictions are in place. Overall, the study established a methodology for monitoring the annual progression of *Bassia* infestations using Sentinel-2 imagery.

Keywords: Remote detection, *Bassia*, multiple resistance.

1. Introducción

Bassia scoparia (L.) A.J. Scott es una planta anual C4 de germinación primaveral-estival, caracterizada por su alta eficiencia en el uso del agua y su rápida capacidad de expansión. Su dispersión se ve facilitada por su morfología globosa, que permite que la planta madura ruede con el viento (tipo “estepicursor”), esparciendo miles de semillas con baja latencia.

Desde la primavera de 2021, se ha observado una infestación importante y en aumento en los rastrojos de cereal de invierno en las zonas de secano de Lleida. El factor crítico es la evolución de resistencias múltiples a herbicidas, incluyendo inhibidores de la ALS (Grupo 2), auxinas sintéticas (Grupo 4), y glifosato (Grupo 9). El primer caso en Europa de resistencia triple (glifosato, tifensulfuron y MCPA) se confirmó en 2024 (Mora *et al.*, 2024), en un biotipo procedente de Guissona, Lleida.

Por otro lado, las condiciones meteorológicas particulares de campañas como la de 2023, con periodos de sequía durante otoño e invierno junto con lluvias abundantes previas a la cosecha y durante el verano, favorecieron la proliferación de infestaciones importantes de esta mala hierba y la recarga de su banco de semillas.

El control mecánico mediante laboreo es una de las herramientas más efectivas y económicas contra las poblaciones resistentes, especialmente cuando esta mala hierba está en estado de plántula. Sin embargo, este manejo chocaba con normativa europea:

- Buenas condiciones agrícolas y medioambientales (BCAM) 6: Obliga a mantener una cobertura mínima del suelo entre la cosecha y el 1 de septiembre para evitar la erosión, prohibiendo el labrado vertical o por volteo en este periodo.
- Zonas de Especial protección a las aves (ZEPA), Red Natura 2000: Restringen el trabajo del suelo en verano para proteger el hábitat de aves esteparias, prohibiendo labores agrícolas generalmente entre abril y junio, y manteniendo el rastrojo hasta septiembre.

Esta falta de intervención mecánica, sumada a la ineficacia de los herbicidas tradicionales, ha creado un “vacío de manejo” que favorece la expansión masiva de *Bassia*.

Asimismo, a día de hoy se dispone de imágenes satelitales de alta resolución que permiten conocer índices relativos al vigor vegetal como el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Estos valores pueden relacionarse con la superficie e intensidad de afectación y permiten estudiar aspectos de dispersión interanual. Por esto, los principales objetivos son los siguientes:

- Establecer umbrales de índices de vegetación para caracterizar parcelas con infestación de *Bassia*.
- Analizar el efecto del cultivo antecesor (cereal, proteaginosas, oleaginosas) sobre el nivel de infestación estival.

- Cuantificar la superficie afectada en la Noguera y la Segarra mediante teledetección.
- Comparar los niveles de infestación según el cumplimiento de la BCAM 6 y la ubicación en zonas ZEPA.

2. Material y métodos

El estudio se centró en las comarcas de la Noguera y la Segarra. Se seleccionaron parcelas control (testimonios) con infestación de *Bassia* en Guissona y Sanaüja para calibrar los valores de NDVI. Asimismo, se realizaron prospecciones por las zonas afectadas para comprobar que solo existía presencia de *Bassia*.

Se utilizaron imágenes del satélite Sentinel-2 capturadas durante los veranos de 2022 y 2024 para determinar la fecha ideal de análisis, antes del periodo en el que los agricultores inicien el desbroce de las parcelas. Una vez definidas las fechas ideales, se descargaron las imágenes correspondientes al verano de 2023 y se empleó el software QGIS para procesar las capas de cultivo antecesor, manejo y zona ZEPA y calcular el valor de NDVI por parcela agrícola. Asimismo, se establecieron categorías de infestación (Baja, Media, Alta) basadas en los valores de NDVI obtenidos en las parcelas de control. Posteriormente, se determinaron las diferencias entre zonas ZEPA y cultivos presentes durante la primavera (antecesores) utilizando ANOVA con Test de Duncan ($\alpha=0,05$).

3. Resultados y discusión

En base a las curvas de NDVI de las parcelas control se estableció que se debían utilizar imágenes de entre el 19 y 23 de julio, periodo crítico antes de que se inicie el desbrozado y la floración de *Bassia*. Asimismo, en base a las infestaciones observadas, se definió una escala de infestación de acuerdo al valor de NDVI, como puede verse en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del grado de infestación de acuerdo al valor de NDVI.

< 0,07	NULO
NDVI	Grado de infestación
0,07 $\leq$ x < 0,30	Bajo
0,30 $\leq$ x < 0,50	Medio
$\geq$ 0,50	Alto

La media de valor de NDVI obtenida en toda la zona de estudio ha sido de 0,423, con valores entre 0,050 y 0,969 que reflejan la variabilidad en la infestación y desarrollo vegetativo de *Bassia* (tabla 2). Es de destacar que solo 350 ha de las 77.414 ha estudiadas presentaron valores nulos de infestación. El análisis mostró que más del 50% de las parcelas destinadas a cultivos extensivos de secano presentaban un grado de infestación medio según los umbrales definidos. En total, la superficie con infestación media superaba las 39.700 ha en julio de 2023.

Tabla 2. Superficie incluida en cada tramo de valor de NDVI.

NDVI	SUPERFICIE (HA)	NDVI PROMEDIO
< 0,07	350	0,06
0,07 ≤ x < 0,30	19.118	0,22
0,30 ≤ x < 0,50	39.727	0,40
≥ 0,50	18.219	0,59

Se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la infestación según el cultivo presente durante la primavera (figura 1). El grupo de cultivos con los niveles más altos de NDVI estival, que corresponde a una mayor infestación de *Bassia*, fueron los proteaginosos, como el guisante. Esto se atribuye a su baja densidad de siembra (100 semillas/m²) en comparación con los cereales, la falta de eficacia del herbicida imazamox (Grupo 2) contra poblaciones resistentes y el aporte de nitrógeno al suelo que favorece el crecimiento de la mala hierba tras la cosecha.

En segundo lugar, encontramos las parcelas de barbecho, que también mostraron altas infestaciones debido a la falta de competencia vegetal y a las limitaciones de manejo derivadas de la aplicación de la BCAM 6 de la condicionalidad. En tercer lugar, encontramos las oleaginosas, como la colza. En este caso, se observa una mayor capacidad competitiva, aunque no haya herbicidas que funcionen adecuadamente durante la primavera. Finalmente, las parcelas en las que se cultivaron cereales, los valores de NDVI estival fueron más bajos. Esto es así porque son los más competitivos, dejando rastros con menores niveles de infestación gracias a su mayor densidad de plantas y mejor eficacia de los herbicidas durante el ciclo de cultivo.

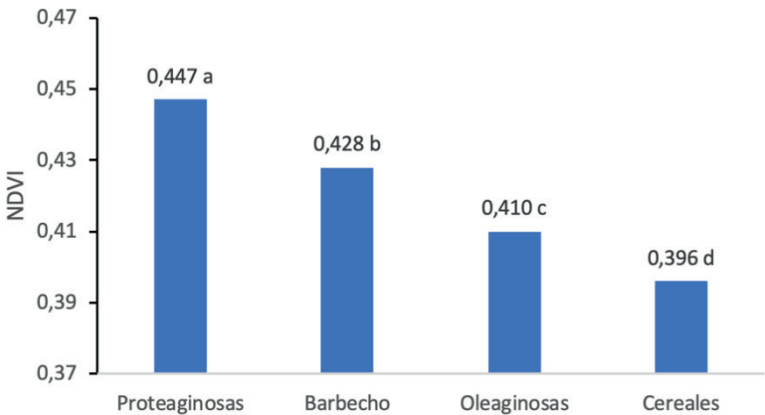


Figura 1. Valores medios de NDVI por cultivo antecesor. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

También se han visto diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la limitación de las prácticas de manejo según los acuerdos de gestión de las zonas ZEPA (figura 2). Así, las ZEPA de Granyena y Secans de la Noguera fueron identificadas como las más afectadas. Sin embargo, las ZEPA situadas más al norte, donde no se limita la actividad agrícola durante el verano, como las ZEPA de Valls del Sió y Serres del Montsec, presentaron valores de infestación estival más bajos.

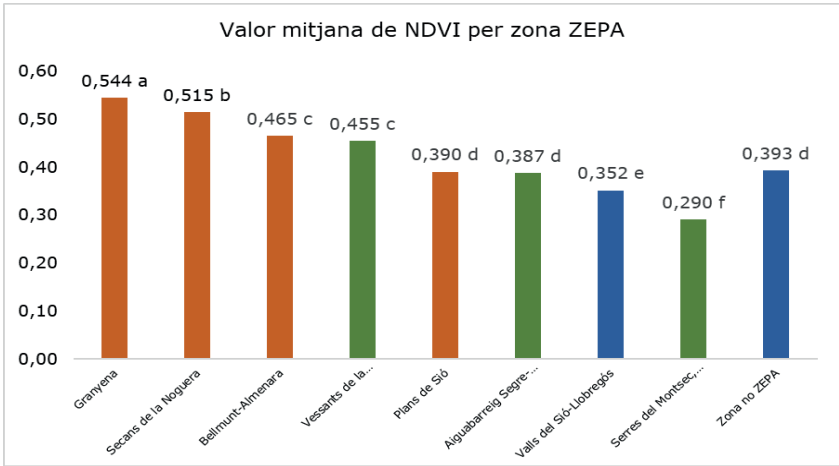


Figura 2. Valores medios de NDVI por zona ZEPA. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas.

Conclusiones

Las principales conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

- El análisis de la dinámica de infestación de *Bassia* en sistemas de secano ha permitido identificar patrones espaciales y agronómicos que explican su proliferación en los últimos años. En julio de 2023, la superficie con un grado de infestación medio superaba las 39.700 ha de tierra de labor en secano, evidenciando la capacidad de expansión de esta mala hierba.
- El estudio del efecto del cultivo antecesor ha mostrado que el cultivo del guisante refleja en valores de NDVI significativamente superiores respecto a otros grupos de cultivos. Este resultado confirma que la selección del cultivo precedente es un factor determinante en la gestión preventiva de la infestación.
- Las zonas declaradas como ZEPA que están sometidas a restricciones de manejo agrícola presentan valores de NDVI más altos que las zonas sin restricciones de manejo.
- Los datos de NDVI obtenidos en parcelas de la Noguera y la Segarra confirman la utilidad de este índice como un indicador fiable del grado de infestación. Esto permite establecer umbrales operativos para la detección, cuantificación y planificación de medidas de control.
- El uso de imágenes de Sentinel-2 procesadas mediante QGIS ha demostrado ser una herramienta eficaz para cuantificar y realizar un análisis espacial de la afectación de *Bassia*. Facilita la generación de mapas e identificación de patrones territoriales.
- Los resultados obtenidos subrayan la necesidad de estrategias de manejo que eviten periodos prolongados de suelo desnudo, integren cultivos antecesores más competitivos y combinen herramientas de monitoreo digital con prácticas agronómicas adaptadas a las nuevas restricciones normativas y a la problemática creciente de resistencias a herbicidas.

Referencias

MORA G, MONTULL JM, LLENES JM, RECASENS J, CIRUJEDA A, MARI AI & TORRA J (2024) Primer caso en Europa de resistencia triple a glifosato, auxinas, inhibidores de la ALS en una población de *Bassia scoparia*. Revista de Ciències Agràries, 47, 222-226.

P3. Detección de *Brachiaria* en ecosistemas heterogéneos con OBIA y SVM a partir de parámetros espectrales, texturales y estructurales

P3. Detection of Brachiaria in heterogeneous ecosystems using OBIA and SVM based on spectral, textural, and structural parameters

SOUZA JF^{1,3}, MACHADO AFL¹, MENDONÇA BAF², PEÑA JM¹

¹ Departamento de Fitotecnia, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil; ² Departamento de Silvicultura, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil; ³ Grupo Tech4Agro, Instituto de Ciencias Agrarias, CSIC, Madrid, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29282

Email (por orden de autoría): fjhiorranni@gmail.com; aroldomachado@yahoo.com.br; brunoafmendonca@gmail.com; jmpena@ica.csic.es

El manejo preciso de especies vegetales es un reto en ecosistemas con vegetación heterogénea y clases espectralmente similares. La cartografía basada en parámetros espectrales, texturales y estructurales permite automatizar la distinción de la vegetación. Este estudio evaluó la importancia de los parámetros espectrales, texturales y estructurales para identificar *Brachiaria humidicola* (BH) en relación con el suelo desnudo, especies forestales (EF), *Vernonanthura polyanthes*, *Chromolaena maximiliani* y sombras, utilizando algoritmos de aprendizaje automático. Las imágenes multispectrales se capturaron con un dron Mavic3M a 40 metros de altitud en un área de restauración de la Mata Atlántica en la Reserva Ecológica de Guapiaçu, Río de Janeiro, Brasil. Mediante segmentación OBIA se extrajeron datos de brillo, índices espectrales (NDRE y GNDVI), media y desviación estándar textural del NDRE y altura. Estos datos se utilizaron para entrenar un modelo de máquinas de vectores de soporte (SVM). Se analizó la importancia de las variables y se construyó un árbol de decisión para generar reglas de clasificación interpretables. El árbol de decisión reveló que la altura fue el predictor más determinante para diferenciar la BH, seguido del índice espectral GNDVI y el brillo. Los principales errores se asociaron a la confusión entre clases con características similares, especialmente BH y EF. La evaluación mediante matriz de confusión mostró una precisión de 0,82 para la clase BH, lo que demuestra una alta capacidad de discriminación. La combinación de parámetros permitió detectar BH, ofreciendo un alto potencial para la clasificación multiclase en contextos de vegetación heterogénea.

Palabras clave: Teledetección, dron, *Brachiaria brizantha*, clasificación de la vegetación, *Urochloa humidicola*, manejo localizado.

Accurate mapping of plant species remains a challenge in ecosystems with heterogeneous vegetation and spectrally similar classes. Vegetation mapping based on spectral, textural, and structural parameters enables the automated discrimination of vegetation types. This study evaluated the importance of spectral, textural, and structural parameters for identifying Brachiaria humidicola (BH) in relation to bare soil, forest species (FS), Vernonanthura polyanthes, Chromolaena maximiliani, and shadows using machine learning algorithms. Multispectral images were acquired with a Mavic 3M drone at an altitude of 40 m over a restoration area of the Atlantic Forest in the Guapiaçu Ecological Reserve, Rio de Janeiro, Brazil. Using Object-Based Image Analysis (OBIA), brightness, spectral indices (NDRE and GNDVI), the mean and standard

deviation of NDRE texture, and vegetation height were extracted. These variables were used to train a Support Vector Machine (SVM) classifier. Variable importance was analyzed, and a decision tree was developed to generate interpretable classification rules. The decision tree revealed that vegetation height was the most important predictor for distinguishing BH, followed by the GNDVI spectral index and brightness. The main classification errors were associated with confusion among classes with similar characteristics, particularly between BH and forest species. Confusion matrix evaluation showed a precision of 0.82 for the BH class, demonstrating the model's high discriminative ability. The combination of spectral, textural, and structural parameters enabled the detection of BH, highlighting its strong potential for multiclass classification in heterogeneous vegetation environments.

Keywords: Remote sensing, drone, *Brachiaria brizantha*, vegetation classification, *Urochloa humidicola*, site-specific management.

1. Introducción

El manejo de malas hierbas es necesario en áreas de restauración ecológica y en sistemas forestales, debido a la elevada capacidad competitiva de estas especies y a su distribución espacial heterogénea. Los métodos tradicionales de monitoreo basados en levantamientos de campo suelen ser costosos y limitan la rapidez en la toma de decisiones. En este contexto, la detección remota es una herramienta adecuada para la cartografía de la vegetación y el desarrollo de estrategias de manejo localizado, lo que permite una mayor eficiencia y precisión en las intervenciones.

El avance de los sensores multispectrales incorporados en vehículos aéreos no tripulados (UAV) permite la adquisición de imágenes de alta resolución espacial, lo que facilita la discriminación de vegetación según sus firmas espectrales. El uso de índices de vegetación (IV) derivados de estas imágenes permite estimar el vigor, la actividad fotosintética y las variaciones estructurales del dosel, lo que contribuye a la diferenciación entre especies nativas y malas hierbas (Salim *et al.*, 2025). Paralelamente, los enfoques de segmentación orientada a objetos asociados a algoritmos de aprendizaje automático (ML) han demostrado un alto rendimiento en la clasificación de imágenes de alta resolución obtenidas por UAV (Mesías-Ruiz *et al.*, 2026). Por tanto, los objetivos de este trabajo fueron: 1) analizar la importancia de las variables espectrales, texturales y estructurales en el rendimiento de un árbol de decisión para la discriminación de las clases temáticas; 2) desarrollar un modelo de Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) para la clasificación de la especie *Brachiaria humidicola*.

2. Material y métodos

2.1 Área de estudio y procesamiento de imágenes multispectrales

El experimento se llevó a cabo en la Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA), situada en el municipio de Cachoeiras de Macacu, Río de Janeiro, Brasil, con coordenadas geográficas de referencia 22°25'S y 42°44'W. El 9 de mayo de 2024 se realizó un vuelo a 40 m de altitud y 80% de solape longitudinal y transversal utilizando el UAV Mavic 3M, con sensor multispectral formado por 4 bandas espectrales que capturaron imágenes en el verde, rojo, borde-rojo e infrarrojo cercano con una resolución espacial de 1,28 cm/píxel.

A continuación, se generaron los ortomosaicos con *Agisoft Metashape* y se seleccionaron seis clases temáticas basadas en sus patrones espectrales: suelo desnudo (SD), especies forestales (EF), *Vernonanthura polyanthes* (VP), *Chromolaena maximiliani* (CM), *Brachiaria humidicola* (BH) y sombras. Estas especies se localizaron sobre el terreno a través de levantamientos esquemáticos, que posteriormente se cartografiaron manualmente con la ayuda del software QGIS, utilizando el ortomosaico como referencia.

2.2 Clasificación supervisada

La clasificación digital se realizó a partir de la segmentación generada al aplicar el algoritmo *Multi-resolution segmentation* implementado en el software de análisis de imágenes basado en objetos (OBIA) *eCognition Developer* 10.5, usando los parámetros siguientes: 1) Escala de 570, 2) Forma y color (*shape/colour*) de 0,1 y 0,9, respectivamente, y 3) Compacidad (*compactness*) de 0,5. La segmentación en un entorno OBIA permitió agrupar los píxeles con características espectrales y espaciales similares en objetos homogéneos.

Seguidamente, se seleccionó un conjunto de 780 muestras mediante la identificación de un píxel representativo de cada clase temática indicada. Para cada clase, se seleccionaron 100 muestras para entrenamiento y 30 muestras para prueba. Los píxeles de entrenamiento sirvieron para alimentar el algoritmo de clasificación supervisada SVM, con núcleo de base radial, en un entorno informático R (versión 4.5.1).

2.3 Relevancia de las variables y árbol de decisión

Se evaluó la relevancia de variables espectrales, texturales y estructurales para la discriminación de las clases temáticas a partir de un conjunto de datos derivados del ortomosaico. Las variables espectrales incluyeron los índices de vegetación GNDVI y NDRE y el brillo, mientras que las variables texturales se obtuvieron mediante métricas GLCM de la media y desviación estándar del índice NDRE. Como variable estructural se utilizó la altura de la vegetación. A partir de estas variables se construyó un modelo de árbol de decisión empleando el algoritmo CART, con validación cruzada (xval = 10) y ajuste de complejidad mediante poda basada en el error de validación (cp óptimo). La importancia de las variables fue evaluada mediante el algoritmo Random Forest, utilizando la medida de importancia basada en la reducción de impureza (Breiman, 2001).

2.4 Evaluación de la precisión

Los clasificadores se evaluaron usando el entorno informático R, mediante la construcción de la matriz de confusión entre los datos previstos y observados de cada clase, y el cálculo de las métricas de precisión global, precisión por clase y tasa de error (Foody, 2020). Se calcularon los índices de desacuerdo cuantitativo, de asignación y global para identificar si los errores estaban asociados a la cantidad de objetos por clase o a la distribución espacial de las clases (Pontius & Millones, 2011).

3. Resultados y discusión

El árbol de decisión obtenido para la clasificación de las clases temáticas indicó que las variables GNDVI, altura y brillo fueron los principales predictores del modelo (figura 1).

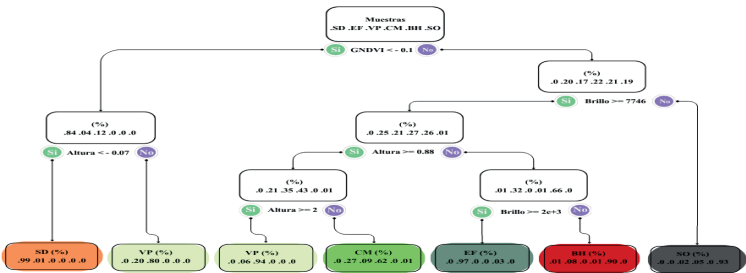


Figura 1. Árbol de decisión para clasificación de las clases.

El GNDVI presentó la capacidad discriminante inicial, siendo utilizado en el nivel superior de partición, confirmando la elevada capacidad de índices espectrales de vegetación para captar variaciones biofísicas de la cobertura vegetal y mejorar la separabilidad entre clases en modelos basados en árboles de decisión (Xu *et al.*, 2020). La altura contribuyó a la segmentación estructural de las clases, mientras que el brillo actuó como variable complementaria en niveles posteriores del árbol de decisión, refinando la separación entre clases con mayor similitud espectral. La inclusión de variables estructurales, como la altura, se ha señalado ampliamente como un factor que mejora la precisión de las clasificaciones, especialmente en entornos heterogéneos (Li *et al.*, 2021). Asimismo, la matriz de confusión mostró una elevada capacidad de clasificación del modelo SVM, con una exactitud global de 0,86 (figura 2). La diagonal principal de la matriz mostró un predominio de aciertos, lo que indica coherencia en la identificación correcta de las clases principales.

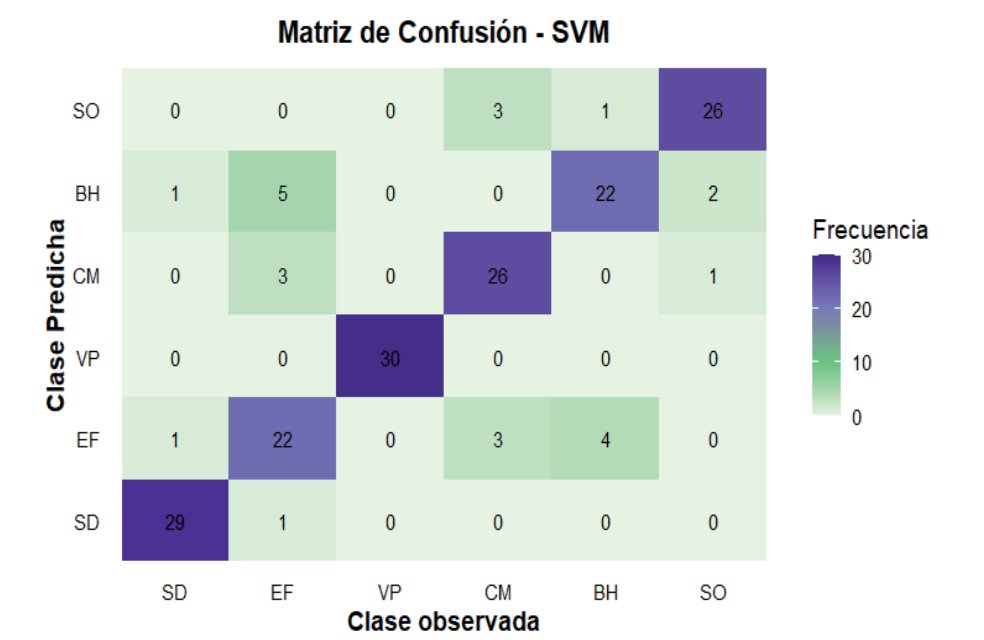


Figura 2. Matriz de confusión de la clasificación del modelo SVM.

No obstante, se identificaron patrones específicos de error que explican el comportamiento de las métricas por clase (figura 3). En particular, el *recall* de la clase BH (0,73) se vio afectado por la presencia de falsos negativos, observándose principalmente confusión con la clase EF. Este comportamiento puede estar relacionado con la similitud en las respuestas espectrales entre la clase de *Brachiaria* y ciertas especies forestales, lo que reduce su separabilidad en el espacio de características, especialmente en presencia de variabilidad intracase y heterogeneidad estructural. La precisión de BH (0,82) indica una adecuada confiabilidad en las predicciones positivas, aunque se observan falsos positivos provenientes principalmente de la clase EF, lo que redujo su desempeño. El desacuerdo cuantitativo bajo (0,02) sugiere una adecuada distribución global de las clases, mientras que el desacuerdo de asignación (0,12) indica que los errores están asociados principalmente a la confusión entre clases específicas, como BH y EF (Pontius & Millones, 2011).

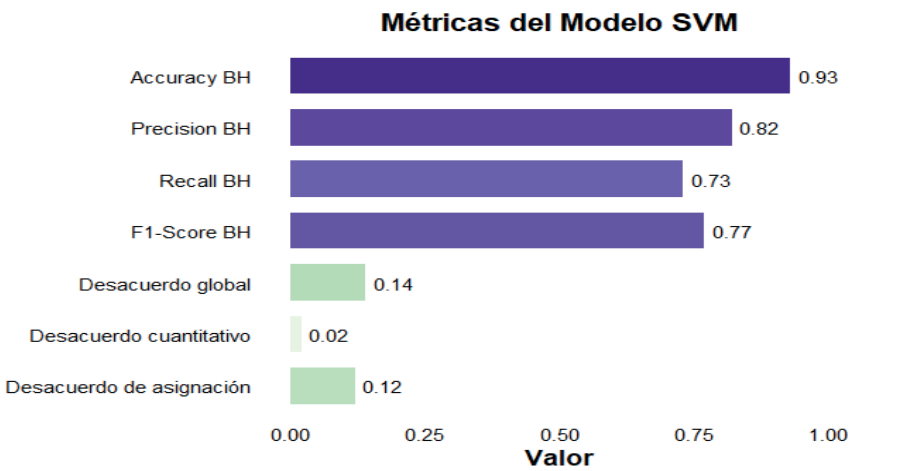


Figura 3. Evaluación de la clasificación del modelo SVM para detectar la especie BH.

4. Conclusiones

El árbol de decisión reveló que la clasificación estuvo principalmente determinada por las variables espectrales GNDVI y brillo, con aporte complementario de la variable altura. Los principales errores se asociaron a la confusión entre clases con características similares, especialmente BH y EF. El modelo SVM alcanzó un 93% y 0,82 de exactitud y precisión para BH, respectivamente, lo que demostró una alta separabilidad. La combinación de parámetros permitió detectar BH, ofreciendo un potencial para la clasificación multiclase en contextos de vegetación heterogénea.

5. Agradecimientos

Investigación financiada por el proyecto PID2023-150108OB-C31 (MCIU/AEI/10.13039/501100011033 y FSE+). El trabajo de JFS está financiado por una beca de movilidad del Centro de Perfeccionamiento Personal de Enseño Superior (CAPES), Doctorado Sándwich en el Extranjero (88881.127227/2025-0).

Referencias

BREIMAN L (2001) Random forests. Machine Learning, 45, 5-32.

FOODY GM (2020) *Remote sensing of tropical forests: Classification and accuracy assessment*. London: Routledge.

LI J, WANG X & CHEN Y (2021) Integration of structural and spectral features for improved land cover classification. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 102, 102-110.

MESÍAS-RUIZ GA, BORRA-SERRANO I, DORADO J, DE CASTRO AI & PEÑA JM (2026) Multispecies weed mapping using deep learning on UAV imagery for SSWM in maize and tomato. Precision Agriculture, 27, 9.

PONTIUS JR RG & MILLONES M (2011) Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. International Journal of Remote Sensing, 32, 4407-4429.

SALIM DHC, MELLO CCS, PEREIRA G, MARETTO RV, MACHADO FS & AMORIM CC (2025) Phenological and species-level classification of aquatic invasive plants using UAV multispectral imagery and machine learning. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, X-2/W2-2025, 165-172.

XU Y, ZHANG H & LI W (2020) Vegetation indices and their performance in land cover classification using decision trees. Remote Sensing of Environment, 245, 111-120.

P4. Gemelo digital para control mecánico variable de malas hierbas

P4. Digital twin for variable mechanical weed control

RIVERA G¹, MORENO H¹, PEÑA JM², DE CASTRO A³, ANDÚJAR D^{1,*}

¹Centro de Automática y Robótica, CAR-CSIC, Arganda del Rey, Madrid, España; ²Grupo Tech4Agro, Instituto de Ciencias Agrarias, ICA-CSIC, Madrid, España; ³Departamento de Medio Ambiente y Agronomía, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, INIA-CSIC, Madrid, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29283

*E-mail: d.andujar@csic.es

Un gemelo digital (GD) de un sistema mecatrónico permite reproducir en un entorno virtual el comportamiento real de una máquina, facilitando la detección temprana de fallos, la optimización de parámetros y la validación del control sin riesgos. Esto reduce costes y tiempos de desarrollo, mejora la fiabilidad y permite preparar el sistema para su funcionamiento real de forma más segura y eficiente. El objetivo principal de este trabajo es desarrollar el GD de un sistema inteligente para el control mecánico de malas hierbas con intensidad variable a partir de mapas de prescripción. El sistema consiste en una grada de púas accionada por un actuador lineal y un dispositivo GNSS-RTK que garantiza una geolocalización precisa. Esta configuración permite ajustar automáticamente el ángulo de las púas y, con ello, la intensidad de trabajo. De este modo, el sistema actúa de forma variable únicamente sobre las zonas infestadas, mejorando la eficiencia, reduciendo el uso de recursos y minimizando los daños al cultivo mediante un manejo localizado. La validación se llevó a cabo en Unity, utilizando modelos CAD para replicar la cinemática, dinámica y control del apero. Este entorno virtual replica el hardware real y distintos escenarios operativos, como variaciones en la velocidad del tractor, diferentes niveles de infestación y distintos grados de agresividad del tratamiento. En conjunto, este enfoque acelera la puesta a punto del sistema y mejora su robustez antes de su uso en campo.

Palabras clave: Unity, mapas de prescripción, aperos inteligentes, manejo localizado y específico de malas hierbas.

A digital twin (DT) of a mechatronic system enables the reproduction of a machine's actual behavior in a virtual environment, facilitating early fault detection, parameter optimization, and risk-free control validation. This reduces development costs and times, improves reliability, and prepares the system for real-world operation in a safer and more efficient manner. The main objective of this work is to develop the DT of an intelligent system for mechanical weed control with variable intensity based on prescription maps. The system consists of a tine harrow driven by a linear actuator and a GNSS-RTK device that ensures precise geolocation. This configuration allows for the automatic adjustment of the tine angle and, consequently, the working intensity. Thus, the system acts variably only on infested zones, improving efficiency, reducing resource consumption, and minimizing crop damage through localized management. Validation was performed in Unity, using CAD models to replicate the implement's kinematics, dynamics, and control. This virtual environment replicates the actual hardware and various operational scenarios, such as variations in tractor speed, different levels of infestation, and varying degrees of treatment aggressiveness. Altogether, this approach accelerates the system's setup and enhances its robustness prior to field deployment.

Keywords: *Unity, prescription maps, smart implements, site-specific weed management.*

1. Introducción

La creciente preocupación por los efectos ambientales del uso intensivo de herbicidas, la limitación de nuevas materias activas, junto con la expansión de malas hierbas resistentes, ha impulsado el desarrollo de estrategias de manejo más sostenibles y precisas en agricultura. En este contexto, el control mecánico de malas hierbas ha resurgido como una alternativa viable, especialmente cuando se integra con tecnologías de agricultura de precisión y sistemas de decisión capaces de adaptar la intensidad del tratamiento a la variabilidad espacial del campo. Sin embargo, la eficacia del tratamiento mecánico depende en gran medida de factores como la especie y densidad de la mala hierba, el estado fenológico del cultivo, la textura y humedad del suelo, así como de la agresividad del apero. La aplicación de una intensidad uniforme sobre toda la parcela puede provocar daños innecesarios al cultivo en zonas poco infestadas o, por el contrario, resultar insuficiente en áreas con elevada presión de malas hierbas, lo que justifica el desarrollo de sistemas de control localizado y de intensidad variable (Berge *et al.*, 2024). En paralelo, el concepto de GD ha adquirido un papel central en la ingeniería de sistemas mecatrónicos, al permitir la construcción de réplicas virtuales sincronizadas con el sistema físico para monitorizar, validar, optimizar y anticipar su comportamiento en diferentes condiciones operativas (Nezzi *et al.*, 2025). En este ámbito, los GD facilitan la validación del control, la detección temprana de errores, la reducción del tiempo de desarrollo y la experimentación segura antes de la implementación real, constituyendo además una herramienta clave para la simulación orientada a la toma de decisiones y la puesta a punto de sistemas complejos (Dosoftei, 2023). En el marco de esta investigación, se ha diseñado y desarrollado una grada de púas de intensidad variable, cuya operación se articula mediante mapas de prescripción y se valida a través de un GD. Esta integración permite la convergencia de la actuación automatizada, la geolocalización precisa y la simulación virtual del apero. La metodología empleada no solo incrementa la robustez del sistema mecatrónico y optimiza su respuesta dinámica en diversos escenarios operativos, sino que también facilita una transición segura hacia el entorno real, garantizando y mejorando estándares de eficiencia, seguridad y selectividad en el tratamiento localizado de malas hierbas.

2. Material y métodos

El desarrollo del GD para el control mecánico de malas hierbas se basó en una metodología de desarrollo por etapas que integra el diseño de ingeniería con la verificación dirigida por simulación. Bajo un enfoque de manejo específico y localizado de malas hierbas, el flujo de trabajo vinculó el sistema mecatrónico, el entorno virtual y la arquitectura de control en un ciclo de desarrollo cerrado (figura 1). Este proceso comenzó con la fase de diseño del sistema, en la cual se definió la arquitectura global, se derivó y parametrizó el modelo cinemático del mecanismo de la grada de púas y se especificó sistemáticamente el marco de control, incluyendo las estrategias de operación, los modos de trabajo y la lógica de transición de estados. El diseño de la grada de púas es modular, lo que permite añadir secciones laterales para incrementar el ancho de trabajo. Para adaptar el apero a cultivos en hilera, como el maíz, el sistema permite el desmontaje de las púas. Así, se pueden retirar los elementos de trabajo situados sobre la línea de siembra si fuera necesario, evitando daños al cultivo.

La digitalización del sistema se llevó a cabo mediante una representación detallada en CAD del implemento, integrada en un entorno de simulación basado en física capaz de capturar el comportamiento cinemático y dinámico bajo condiciones de campo realistas. Una vez modelado el entorno físico, el sistema se integró con el Sistema Operativo Robótico (ROS 2), lo que permitió organizar los nodos de percepción, control, actuación y comunicación en una arquitectura de software multicapa. El GD resultante se ejecutó en simulación para validar los criterios de control y evaluar el rendimiento del sistema a nivel integral antes de cualquier despliegue físico.

La arquitectura general del sistema se estructuró fundamentalmente en dos niveles interconectados conocidos como capa digital y capa de comunicación. La capa digital comprende el modelo del implemento agrícola, el modelo del tractor y el entorno de cultivo digital donde ambos interactúan, integrando variables del terreno y de la población de plantas. Por otro lado, la capa de comunicación es gestionada por ROS 2, que funciona como un *middleware* encargado de coordinar el intercambio de información entre los diversos componentes del sistema. Esta configuración facilita una transferencia de datos modular y escalable entre la simulación en Unity, los algoritmos de control y los módulos dedicados a la localización y percepción.

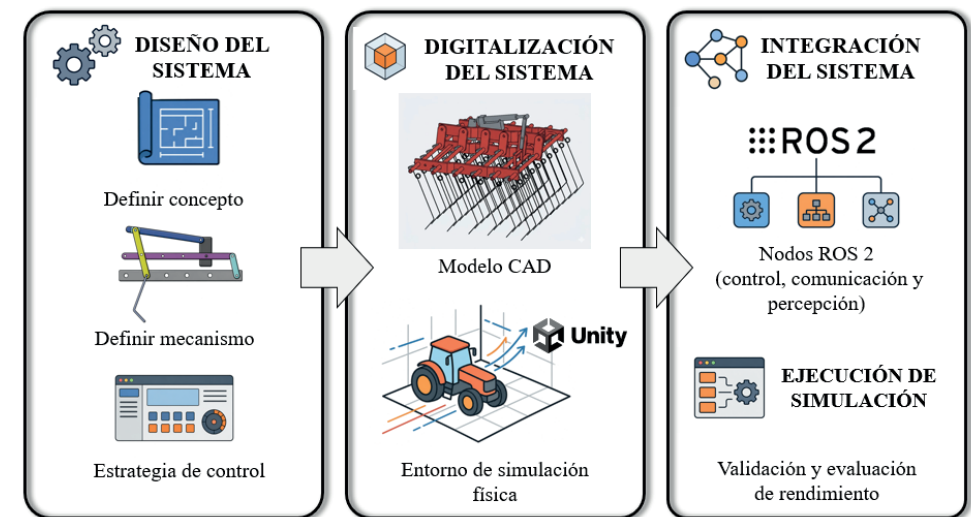


Figura 1. Representación en diagrama de bloques del flujo de trabajo propuesto, que muestra la transición estructurada desde el diseño del sistema hasta la integración y validación final.

3. Resultados y discusión

El algoritmo de control de ROS 2 se ejecutó junto con el entorno simulado en Unity para verificar la lógica de decisión, la generación de comandos de los actuadores y la selección de la intensidad del tratamiento a través de la implementación de mapas de prescripción (figura 2). Para evaluar la fidelidad espacial y de navegación del GD, se registró la trayectoria cinemática del tractor y el apero durante un periodo de simulación. Los datos de posicionamiento generados fueron exportados e integrados en un software de Sistema de Información Geográfica (GIS).

El análisis de esta proyección demostró correspondencia topológica entre la ruta ejecutada en la simulación y los límites reales de la parcela de cultivo, cuyas coordenadas se utilizaron en la simulación (figura 3). Esta validación geoespacial evidencia que el algoritmo de control es capaz de interpretar las coordenadas del mapa de prescripción y actuar de forma precisa dentro del área de tratamiento planificada, validando la interacción en tiempo real entre la capa de comunicación y el entorno físico simulado.

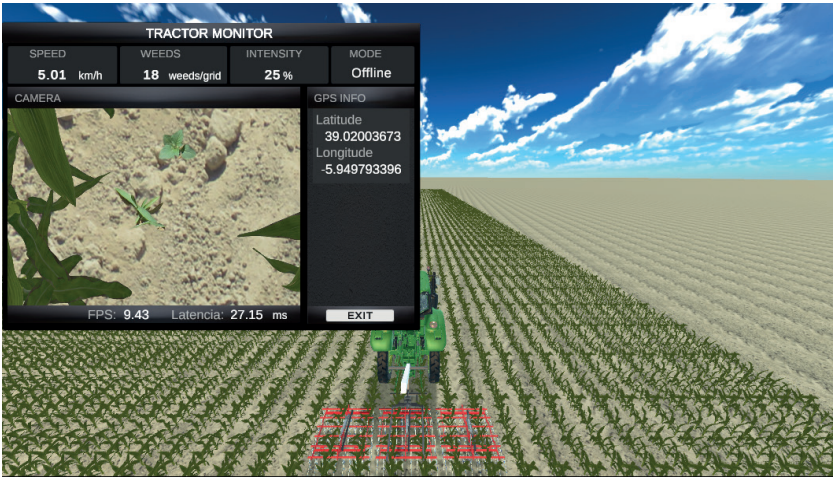


Figura 2. Interfaz de visualización de datos. El panel de control proporciona un módulo de visualización para la retroalimentación del tratamiento específico del sitio y el estado del sistema.

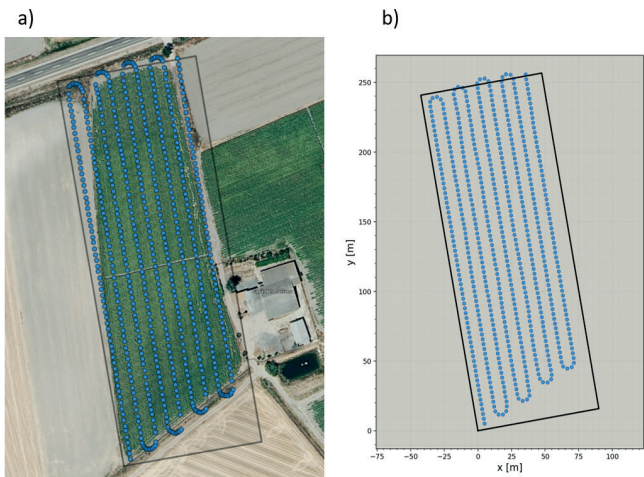


Figura 3. Representación de la trayectoria registrada del tractor en una parcela agrícola simulada (a) y de sus coordenadas dentro del entorno de simulación de Unity (b).

El motor de videojuegos Unity y el *middleware* ROS se están convirtiendo en un facilitador clave para el desarrollo de entornos de simulación avanzados en robótica (Kawshan & Peng, 2026). Estos entornos proporcionan una base flexible y escalable para probar algoritmos de IA, incluyendo enfoques de aprendizaje por refuerzo y visión artificial. Estos entornos de simulación facilitan el prototipado rápido y la evaluación segura de sistemas robóticos complejos antes de su despliegue en el mundo real.

Las actuaciones de tratamiento a menudo están limitadas por las demandas de recursos, la disponibilidad estacional y las etapas de desarrollo de los cultivos. Mediante la utilización del GD desarrollado,

es posible simular la aplicación del control mecánico variable siguiendo un mapa de prescripción de malas hierbas, permitiendo evaluar la eficacia del control antes de realizar el tratamiento y así adoptar la estrategia más eficaz. Además, el entorno virtual propuesto permite la experimentación controlada y repetible bajo condiciones configurables, validando mecanismos de monitoreo, estrategias de manejo de fallos y el comportamiento del control de ciclo cerrado antes de las subsiguientes pruebas de “Hardware en el Bucle” (HIL) y el despliegue en campo.

4. Conclusiones

El desarrollo y evaluación de este GD demuestra su viabilidad como herramienta estratégica en el manejo localizado de malas hierbas. La integración de Unity con ROS 2 permitió simular fielmente mapas de prescripción y la respuesta mecánica del apero. La validación geoespacial de las trayectorias simuladas mediante herramientas GIS respalda la idoneidad del modelo para interpretar datos de posicionamiento y planificar el funcionamiento del apero. Esta metodología permite validar algoritmos de control variable, evitando costes logísticos y reduciendo riesgos materiales asociados a las pruebas en campo. El entorno virtual desarrollado constituye una base robusta, reproducible, verificable, de bajo coste para acelerar la automatización de maquinaria agrícola y mejorar las actuaciones en campo. La siguiente fase de la investigación se centrará en la implementación del sistema físico bajo condiciones reales de trabajo. En concreto, se realizarán ensayos en campos comerciales de cereal durante el invierno de 2026 y en cultivo de maíz durante la primavera de 2027.

5. Agradecimientos

Esta publicación forma parte de los proyectos de I+D+I PID2023-150108OB-C31, PID2023-150108OB-C32 y PID2023-150108OB-C33 financiados por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y FSE+.

Referencias

BERGE TW, URDAL F, TORP T & ANDREASEN C (2024) A sensor-based decision model for precision weed harrowing. *Agronomy*, 14, 88.

DOSOFTEI C-C (2023) Simulation power vs. immersive capabilities: enhanced understanding and interaction with digital twin of a mechatronic system. *Applied Sciences*, 13, 6463.

KAWSHAN D & PENG Q (2026) Digital twin framework for robot path planning and real-time execution using unity-ROS integration: Systems architecture and experimental validation. *Machines*, 14, 387.

NEZZI C, DE MARCHI M, VIDONI R & RAUCH E (2025) A multi-purpose simulation layer for digital twin applications in mechatronic systems. *Machines*, 13, 671.

P5. El cierre de la brecha digital en cultivos extensivos

P5. Closing the technology gap in arable crops

ZIGOLO I¹, ARDAYA A², COSTAFREDA R³, MALLOL C⁴, MONTULL JM^{1,*}

¹DCEFA. Universidad de Lleida/IPM Advice SL, Lleida, España; ²Agroserveis d'Almacelles SCCL, Almacelles, Lleida, España; ³ADV Coop. Agrària de Miralcamp SCCL, Miralcamp, Lleida, España; ⁴ADV Productors de Conreus Extensius de Girona, Navata, Girona, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29285

*Email: josemaria.montull@udl.cat

Existe una amplia gama de tecnologías disponibles para el sector agrario destinadas a optimizar el uso de productos fitosanitarios. Sin embargo, la integración de estas tecnologías y su adopción por parte de asesores y agricultores es todavía muy limitada en Europa. Actualmente se dispone, por un lado, del Sistema de Apoyo a la Decisión (DSS) experto IPMWise, desarrollado y comercializado por la spin-off IPM Advice; y, por otro lado, de sensores como Veris y Dualem que permiten la zonificación de parcelas. Con esto, el objetivo principal de este proyecto de demostración es optimizar y, por consiguiente, reducir el uso de herbicidas en cultivos extensivos. La base del proyecto es generar mapas de prescripción de dosis variable de herbicidas de aplicación en preemergencia de las malas hierbas basados en la el porcentaje de arcilla y materia orgánica del suelo mediante QGIS y el DSS IPMWise. Asimismo, los asesores desempeñan un papel decisivo en esta actividad de demostración. Son los encargados de localizar parcelas adecuadas y maquinaria adaptada a la agricultura de precisión, actuando como correa de transmisión directa entre la universidad y los agricultores. Los resultados del primer año de trabajos han mostrado reducciones de uso de herbicidas superiores al 30% en parcelas con alta variabilidad en sus características edáficas mientras que, en parcelas homogéneas, se han visto disminuciones de uso de herbicidas de alrededor del 5% en relación a la práctica habitual del técnico asesor siempre manteniendo la eficacia frente a las malas hierbas y minimizando el riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

Palabras clave: Transferencia, aplicación variable, zonificación, IPMWise.

A wide array of technologies is currently available to the agricultural sector to optimize the application of plant protection products. Nevertheless, the integration and adoption of these technologies by both advisors and farmers remain notably limited across Europe. This study utilizes the expert Decision Support System (DSS) IPMWise—developed and marketed by the spin-off IPM Advice—in conjunction with proximal soil sensors, such as Veris and Dualem, which facilitate field zoning. Within this framework, the primary objective of this demonstration project is to optimize and, consequently, reduce herbicide use in arable crops. The project's methodology is centered on generating variable-rate application (VRA) prescription maps for pre-emergence herbicides, based on soil clay content and organic matter levels processed through the IPMWise DSS. Furthermore, agricultural advisors play a pivotal role in this demonstration activity; they are responsible for identifying suitable plots and precision-ready machinery, serving as a direct bridge between the university and the farming community. Results from the first year of trials showed herbicide reductions exceeding 30% in plots with high edaphic variability. Conversely, in homogeneous plots, reductions of approximately 5% were observed compared to conventional advisory practices. In all cases, weed control efficacy was maintained while minimizing the risk of groundwater contamination.

Keywords: Knowledge transfer, Variable rate, zonification, IPMWise.

1. Introducción

La protección de cultivos ha logrado reducir las pérdidas potenciales de rendimiento mediante el uso de sustancias químicas desde mediados del siglo XX. Sin embargo, el mercado de herbicidas no deja de aumentar, evidenciando una dependencia que conlleva riesgos ambientales. De hecho, la mayor parte de herbicidas de absorción radicular están en el punto de mira por riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Tradicionalmente, los herbicidas residuales se aplican de forma uniforme, seleccionando una dosis “confortable” para asegurar la eficacia. Sin embargo, esto provoca aplicaciones excesivas en zonas ligeras o insuficientes en zonas de suelo pesado, derivando en fitotoxicidad o escapes de malas hierbas. El manejo localizado para este tipo de herbicidas requiere de una zonificación de las parcelas y adaptar las dosis a la variabilidad espacial. Mientras que para post-emergencia se suele usar la densidad o especie de mala hierba, para herbicidas preemergentes la zonificación debe basarse en propiedades del suelo como la textura y la materia orgánica. Esto es así porque la eficacia de un herbicida pre-emergente depende críticamente de la adsorción, proceso por el cual la sustancia se retiene en las superficies sólidas del suelo (arcillas y materia orgánica) mediante fuerzas electrostáticas o químicas (Bailey & White, 1964). Esta zonificación no se realiza de forma directa, sino que se infiere a través de los valores de conductividad eléctrica aparente (CEa) (Corwin & Lesch, 2005). Suelos con mayor CEa suelen tener texturas más pesadas y mayor capacidad de retención, lo que requiere dosis más altas de herbicida para mantener la fracción biodisponible en la solución del suelo (Lima & Mendes, 2020).

El principal objetivo del trabajo es demostrar el potencial de la tecnología de mapeo de suelos para generar prescripciones de aplicación de herbicidas de pre-emergencia a dosis variable y mostrar a agricultores y técnicos estas tecnologías. Así, se evalúa el ahorro de costes y la eficacia y posible fitotoxicidad de los tratamientos herbicidas realizados a dosis variable.

2. Materiales y métodos

Los ensayos se desarrollaron en tres localidades representativas de la zona de producción agrícola en Cataluña.

- Sucs (Lleida): 4,22 ha de cultivos de cebada de invierno y maíz de segunda.
- Miralcamp (Lleida): 1,73 ha de cultivo de maíz con alta presión de malas hierbas.
- Foixà (Girona): 4,17 ha de cultivo de maíz en las zonas arenosas de la llanura de inundación del río Ter.

El primer paso fue mapear el suelo, para lo que se utilizaron dos tipos de tecnologías diferentes según la disponibilidad en cada momento: 1) Veris 3100, rastra con discos que miden la conductividad mediante contacto físico directo (figura 1), y 2) DUALEM 1S, sensor que utiliza inducción electromagnética para medir la CEa sin contacto, permitiendo mayores velocidades y adaptabilidad a terrenos irregulares o con presencia de piedras.



Figura 1. Recorrido de toma de datos del Veris 3100, cada punto contiene una medición de CEa.

Los datos brutos de conductividad (mS/m) fueron procesados para eliminar valores atípicos e interpolados espacialmente para reflejar la arquitectura textural de la parcela. Para ello se utilizó el complemento SmartMap de QGIS (figura 2). Posteriormente, se utilizó el sistema de ayuda en la toma de decisiones IPMWise para obtener recomendaciones de dosis basadas en las especies de malas hierbas esperadas en la parcela, de acuerdo a la infestación del año previo y el tipo de suelo.

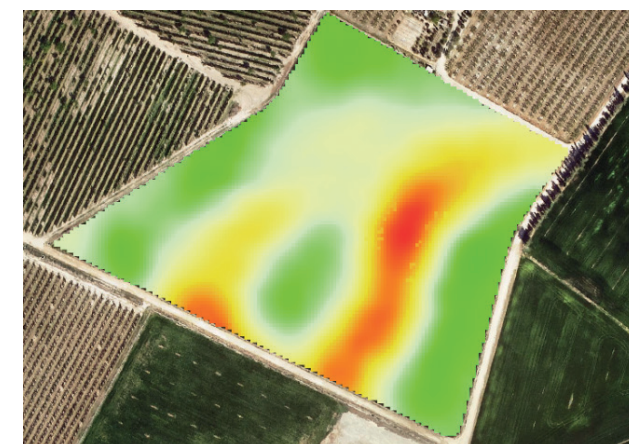


Figura 2. Ráster de la parcela de Sucs generado por interpolación de los datos de CEa a partir del complemento SmartMap.

De acuerdo a las recomendaciones de IPMWise, se aplicó una interpolación lineal para transformar los valores de CEa en volúmenes de caldo variables. La pulverización se realizó de acuerdo a la tabla 1, con pulverizadores equipados con control de secciones y tecnología de dosificación variable, propiedad de agricultores y empresas de cada zona. La eficacia y posible fitotoxicidad se evaluaron a los 7, 14, 21 y

28 días después de la aplicación (DDA) mediante muestreos en cuadrantes de 2 m² situados al azar en la parcela, comparando las zonas tratadas con testigos sin aplicación. La fitotoxicidad se midió según la escala de la EWRS.

Tabla 1. Fechas y tratamientos aplicados en cada parcela.

FECHA TRATAMIENTO	LOCALIDAD	CULTIVO	FENOLOGÍA	HERBICIDA
15/01/2025	Sucs	Cebada	BBCH 12	Liberator pack
2/05/2025	Foixà	Maíz temprano	BBCH 00	Spectrum + Spade Flex
12/05/2025	Miralcamp	Maíz temprano	BBCH 11	Adengo
26/06/2025	Sucs	Maíz segunda	BBCH 00	Adengo

Resultados y discusión

El mapeo reveló una heterogeneidad significativa, especialmente en la parcela de Sucs, donde la variabilidad de la CEa permitió una zonificación muy marcada. La parcela de Miralcamp, sin embargo, fue bastante homogénea, con una textura bastante pesada. Sin embargo, la parcela de Foixà, presentaba una variabilidad media y predominaban los suelos ligeros, con alta cantidad de arena. La implementación de la dosificación variable permitió reducciones sustanciales en Sucs y Foixà (tabla 2).

Tabla 2. Cantidad de caldo aplicada en cada parcela a dosis variable en relación al teórico aplicado a dosis completa. El % de ahorro se expresa de acuerdo a la disminución de caldo aplicado.

PARCELA	SUPERFICIE (HA)	VOLUMEN CALDO A 200 L/HA	VOLUMEN CALDO CON DOSIS VARIABLE	AHORRO (%)
Cebada Sucs	4,22	844	677,4	19,7
Maíz Miralcamp	1,73	346	338,9	2,0
Maíz Foixà	4,17	834	759,5	8,9
Maíz Sucs	4,22	844	677,4	19,7

La disminución de ingrediente activo implica además un ahorro económico que en el caso de Sucs alcanza un acumulado anual (cebada + maíz) de 35.33 €/ha, lo que cubre ya desde el primer año el pase del sensor. Es de destacar que, aunque se trate de herbicidas diferentes, se utilizó la misma prescripción porque ambos presentan un comportamiento edáfico similar. Asimismo, en el caso de la parcela de Foixà, la recomendación unificada del DSS ya supuso un ahorro del 17.5% en relación a la dosis recomendada por el técnico en primera instancia, al que se sumó un 9% adicional por la dosificación variable basada en CEa.

A pesar de la reducción de dosis en zonas de baja CEa, las eficacias de control se mantuvieron en niveles óptimos. En cebada (Sucs), la presencia de malas hierbas como *Lolium rigidum* fue prácticamente nula a los 28 DDA (99% de eficacia). En maíz (Miralcamp), bajo una presión elevada de especies como *Sorghum halepense* y *Amaranthus* spp., la eficacia global fue del 93% dado que el *S. halepense* no se controla con este tipo de herbicidas. Fue la eficacia más baja del estudio, pero aún dentro de rangos aceptables. No se detectaron niveles significativos de fitotoxicidad en ninguna de las parcelas evaluadas.

La relación entre la CEa y la textura del suelo valida el uso de estos sensores para predecir el comportamiento de los herbicidas residuales. La automatización mediante sensores de alta resolución como el DUALEM-1S o Veris-3100 permite capturar la heterogeneidad de forma muy precisa y escalable.

Hay que tener en cuenta que la reducción de dosis debe realizarse con cautela para evitar la selección de biotipos resistentes debido a aplicaciones subletales. El éxito observado en este estudio se debe a que la reducción no fue arbitraria, sino ajustada a la capacidad de adsorción del suelo, asegurando que la cantidad de herbicida libre fuera siempre suficiente para el control, de ahí la importancia del uso del DSS IPMwise.

4. Conclusiones

Las principales conclusiones que pueden extraerse del presente estudio son los siguientes:

- 1. Los sensores de electro conductividad (Veris-3100 y DUALEM-1S) son herramientas eficaces para mapear la heterogeneidad edáfica y generar mapas de prescripción fiables.
- 2. La dosificación variable, apoyada por sistemas como IPMwise, permite reducciones de materia activa de hasta el 19,73% sin comprometer la eficacia de control, la cual se mantuvo por encima del 92% en términos generales.
- 3. El ahorro económico directo (hasta 35,33 €/ha) justifica la inversión tecnológica en parcelas con variabilidad textural moderada a alta.
- 4. Eficacia: Se mantuvo un control superior al 93% de la flora arvense, demostrando que en suelos ligeros (donde se redujo la dosis), el herbicida fue suficientemente biodisponible.
- 5. Resultados: No se observaron diferencias en el vigor del cultivo entre las zonas de dosis variable y los testigos. Esto confirma que el ajuste de dosis basado en CEa es seguro para la fisiología de la planta, evitando el estrés químico que a veces causan los preemergentes en suelos ligeros.

5. Agradecimientos

Estos trabajos están financiados por la línea “Activitats de demostració de transferència de coneixements (intervenció 7201), en el marc del pla estratègic de la PAC 2023-2027, corresponents a la convocatòria 2023”. Los autores agradecen al Grupo de Investigación en Agróica y Agricultura de Precisión de la UdL su colaboración en la elaboración del mapa de suelos de Sucs.

Referencias

BAILEY GW & WHITE JL (1964) Soil-Pesticide Relationships, Adsorption and Desorption of Organic Pesticides by Soil Colloids, with Implications Concerning Pesticide Bioactivity. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 12, 324-332.

CORWIN DL & LESCH SM (2005) Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 46, 11-43.

LIMA A & MENDES K (2020) Variable Rate Application of Herbicides for Weed Management in Pre-and Postemergence. Pests, Weeds and Diseases in Agricultural Crop and Animal Husbandry Production. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93558>.



SESIÓN 3

Gestión integrada

O1. Bioherbicida a base de biomasa densificada de eucalipto. Ensayo de campo en entorno operativo

O1. *Densified eucalyptus biomass based bioherbicide. Field trial in an operational environment*

PUIG CG¹, PARDO-MURAS M¹, LÓPEZ-PERIAGO JE², BARREAL E¹, PEDROL N¹

¹Departamento de Biología Vegetal e Ciencia do Solo, Universidade de Vigo, Vigo, España; ² Instituto de Agroecología y Alimentación, Universidade de Vigo, Campus Auga, Ourense, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29286

Email (por orden de autoría): cgpuig@uvigo.gal; mpardomuras@uvigo.gal; edelperi@uvigo.gal; edesther@uvigo.gal; pedrol@uvigo.gal

El uso de biomasa verde de especies del sistema agroforestal con propiedades alelopáticas ha sido previamente demostrado en el control de malezas en preemergencia. Tras estas evidencias, surge un nuevo producto optimizado, y recientemente patentado, a base de biomasa alelopática densificada en formato de pellets, con el fin de optimizar su efecto y su manejo. En este trabajo se evaluó la viabilidad y eficacia de pellets de *Eucalyptus globulus* Labill. incorporados al suelo en un huerto hortícola durante dos temporadas de cultivo de tomate. La actividad herbicida de los pellets se evaluó utilizando parámetros agronómicos como el número de plántulas y la biomasa aérea de las malas hierbas según la diversidad de especies. El seguimiento se llevó a cabo de forma periódica cada 10 días tras la incorporación (DTI) del bioherbicida en preemergencia (10, 21, 31, 42 DTI), espaciándose cada mes (70 y 92 DTI) y finalizando a los 150 DTI con la cosecha final. Los efectos se compararon con los obtenidos de parcelas control sin pellets. Las parcelas, independientemente del tratamiento, se escardaron manualmente cuando fue necesario y según el criterio del horticultor local. Los resultados más relevantes mostraron una reducción con respecto a las parcelas control en el número de malezas tanto de especies monocotiledóneas (-30%-70%) como dicotiledóneas (-60%-90%) durante los primeros 70 DTI. Al final del ensayo (150 DTI), el bioherbicida también redujo la biomasa de malas hierbas monocotiledóneas y dicotiledóneas un 75% y un 97%, respectivamente, llegando a eliminar por completo la presencia de *Digitaria sanguinalis* (monocotiledónea predominante) en el segundo año de ensayo. A lo largo de cada temporada de cultivo, las parcelas control se escardaron 2 veces, a diferencia de las parcelas con pellets donde solo fue necesaria una escarda.

Palabras clave: Aleopatía, bioherbicida, ES 2957 062 B2, pellets, preemergencia.

The use of green biomass from agroforestry species with allelopathic properties has previously been demonstrated for pre-emergence weed control. Building on this evidence, a new, optimized, and recently patented product has been developed, based on densified allelopathic biomass in pellet form, with the aim of optimizing its effectiveness and ease of use. This study evaluated the feasibility and efficacy of Eucalyptus globulus Labill. pellets incorporated into the soil in a horticultural field during two tomato growing seasons. The herbicidal activity of the pellets was assessed using agronomic parameters, including the number of seedlings and above-ground weed biomass, across species. Monitoring was conducted continuously every 10 days after incorporation (DAI) at the start of the experiments (10, 21, 31, 42 DAI), then monthly (70 and 92 DAI), and concluded at 150 DAI with the final harvest. Herbicidal effects were compared with those obtained from

control plots without pellets. Regardless of treatment, the plots were manually weeded as needed and at the local farmer's discretion. The most significant results showed a reduction in the number of weeds compared to the control plots for both monocotyledonous (~30%-70%) and dicotyledonous (~60%-90%) species during the first 70 DAI. At the end of the trial (150 DAI), the bioherbicide also reduced the biomass of monocotyledonous and dicotyledonous weeds by 75% and 97%, respectively, completely eliminating the presence of *Digitaria sanguinalis* (the predominant monocotyledonous weed) in the second year of the trial. Throughout each growing season, the control plots were weeded twice, whereas the plots treated with pellets required only one weeding.

Keywords: Allelopathy, bioherbicide, ES 2957 062 B2, pellets, preemergence.

1. Introducción

El uso de biomasa verde de especies del sistema agroforestal con propiedades alelopáticas ha sido previamente demostrado en el control de malezas en preemergencia (Valiño *et al.*, 2023). Las especies de eucalipto son bien conocidas por su elevada actividad alelopática, ya que liberan fitotoxinas que inhiben la germinación y el crecimiento inicial de la flora competidora (Zhang *et al.*, 2022). *Eucalyptus globulus* Labill. es una de las especies más cultivadas y de mayor importancia económica, especialmente en la Península Ibérica, donde se destina principalmente para las industrias de pasta y papel. En estudios anteriores, se ha evaluado el uso de los restos de las talas y podas compuestos por hojas y ramas finas que, trituradas e incorporadas al suelo como abono verde, controlaron eficazmente las malas hierbas (Puig *et al.*, 2019). Es hora de optimizar el procesamiento de la biomasa y reducir sustancialmente su volumen para que su almacenamiento, manipulación, transporte y aplicación en el campo sean viables y rentables. De esta idea surge un nuevo producto bioherbicida recientemente patentado (Pedrol *et al.*, 2024) basado en biomasa de eucalipto en formato pellet. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la eficacia del nuevo bioherbicida en un entorno operativo a escala de producción ecológica familiar, bajo la hipótesis de que el procesamiento de la biomasa no afecta a su efectividad.

2. Material y métodos

El campo experimental se dividió aleatoriamente en parcelas de 1 m² con pellets de eucalipto o sin ellos (parcelas de control), con cuatro repeticiones por tratamiento. En las parcelas tratadas con pellets, se esparcieron uniformemente 1,3 kg de pellets de eucalipto y, con ayuda de una azada, se mezclaron con los primeros 10 cm de suelo. Esta cantidad por parcela coincide con la probada anteriormente en experimentos de campo (Puig *et al.*, 2019). Al tratarse de un cultivo al aire libre en hileras y con riego, se plantaron cuatro plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L. cv. Berner rose) en cada parcela, con una distancia de 50 cm entre plantas. Basándose en la composición elemental del compost y en las propiedades fisicoquímicas del suelo original, cada parcela se abonó con compost y Patent PK (K+S KALI GmbH Kassel, Alemania) (P₂O₅ 12 %, K₂O 15 %, MgO 5 %) para satisfacer las necesidades de N, P y K del cultivo de tomate. Todas las parcelas se regaron por goteo de forma periódica durante toda la temporada de cultivo. Las malas hierbas se muestrearon mediante el lanzamiento aleatorio de dos marcos de 25 cm x 25 cm en cada parcela. La actividad herbicida de los pellets se evaluó utilizando parámetros agronómicos como el número de plántulas y la biomasa aérea de las malas hierbas en función de la diversidad de especies (Puig *et al.*, 2019). El seguimiento se llevó a cabo de forma continua cada 10 días tras la incorporación (DTI) al inicio de los experimentos (10, 21, 31 y 42 DTI), espaciándose a intervalos mensuales (70 y 92 DTI) y finalizando a los 150 DTI con la cosecha final. Todas las parcelas se escardaron manualmente según el criterio del agricultor local, independientemente del tratamiento aplicado a cada parcela. Los tiempos de muestreo y escardas tras la incorporación del bioherbicida fueron los mismos en ambos años.

El experimento se llevó a cabo utilizando un diseño completamente aleatorio en el primer año, y repitiendo en las mismas parcelas al año siguiente para comprobar el efecto herbicida acumulativo sobre el banco de semillas en años consecutivos. Tras comprobar la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de la varianza con la prueba de Levene, los datos se analizaron mediante la prueba t de Student para muestras independientes, con un nivel de significancia de $P \leq 0,05$. Los análisis estadísticos se realizaron con el software IBM SPSS Statistics 24 (IBM SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

3. Resultados y discusión

Antes de comentar los resultados, cabe mencionar que, a lo largo del experimento, las parcelas control necesitaron ser escardadas manualmente 2 veces (a los 42 y 92 DTI), frente a una sola escarda en las parcelas con tratamiento (a los 70 DTI). Las producciones de tomate de ambos años no arrojaron diferencias significativas entre tratamientos (datos no mostrados). La figura 1 muestra el efecto de los pellets de eucalipto sobre el número de plántulas de malas hierbas, distinguiendo entre dicotiledóneas, monocotiledóneas, y *D. sanguinalis* como la monocotiledónea más abundante en el campo de cultivo. Los datos mostrados para el control a los 42 DTI y para el tratamiento con pellets a los 70 DTI corresponden al número de malas hierbas antes de su escarda correspondiente. La flecha discontinua que une los tiempos de muestreo 42 y 70 DTI representa la comparación estadística de dichos tiempos entre el control y el tratamiento, con el fin de comparar el efecto del bioherbicida entre los dos momentos previos a cada escarda.

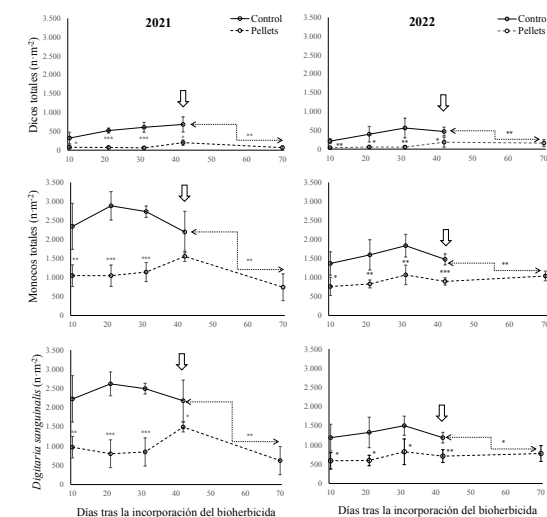


Figura 1. Efecto de los pellets de eucalipto en comparación con el control sobre el número de malas hierbas. La flecha blanca indica el momento en que se realizó la escarda manual en las parcelas de control (42 días). La flecha discontinua que une los momentos de muestreo 42 y 70 DTI representa la comparación estadística de estos momentos entre el control y el tratamiento. * = $P \leq 0,05$; ** = $P \leq 0,01$; *** = $P \leq 0,001$.

Los pellets de eucalipto redujeron significativamente el número de malas hierbas durante el periodo de seguimiento de 70 días en ambas temporadas de cultivo (figura 1). En 2021, la densidad de dicotiledóneas en las parcelas tratadas disminuyó entre un 70 % y un 90 % en comparación con las parcelas

control. Esta supresión altamente significativa ($P \leq 0,01$) se mantuvo a los 70 días (reducción del 90 %) en comparación con el número de plántulas monitorizadas a los 42 días en el control, coincidiendo con sus respectivos momentos previos a la escarda. Las densidades de malezas monocotiledóneas fueron sustancialmente más altas que las de las dicotiledóneas. El tratamiento con pellets redujo significativamente la densidad total de monocotiledóneas en comparación con el control (reducciones del 55 al 66 %), excepto 42 días después de la aplicación del bioherbicida. Los datos para *D. sanguinalis* siguieron la misma tendencia, mostrando incluso valores de reducción ligeramente más altos (56-71 %) y significancia estadística a los 42 DTI. El ensayo de campo de 2022 confirmó la eficacia inhibidora de malas hierbas observada en 2021, aunque se observaron algunas diferencias en cuanto a la magnitud y los patrones temporales, especialmente entre las especies monocotiledóneas (figura 1). En general, emergieron menos plántulas que en 2021, pero las tasas de reducción y la significancia estadística se mantuvieron constantes.

La figura 2 muestra la biomasa total de las malas hierbas dicotiledóneas y monocotiledóneas y de *D. sanguinalis* a los 42 DTI, lo que corresponde al periodo previo a la primera escarda del control, y a los 150 DTI, coincidiendo con el final del experimento. La biomasa de dicotiledóneas disminuyó significativamente con el tratamiento con pellets en ambas fechas de muestreo y en ambos años, alcanzando reducciones del 82-87 % en 2021 y del 95-97 % en 2022. Se identificaron entre 9-10 especies de dicotiledóneas, siendo *Portulaca oleracea* L. la más frecuente. En cuanto a las monocotiledóneas, incluida *D. sanguinalis*, el bioherbicida redujo la biomasa significativamente a los 42 DTI en ambas temporadas de cultivo. Sin embargo, se observó un aumento al final del primer año del experimento, que se controló en la temporada siguiente, alcanzando la desaparición completa de *D. sanguinalis*.

Este mayor efecto sobre las dicotiledóneas en comparación con las monocotiledóneas también se observó en estudios anteriores (Puig *et al.*, 2019), probablemente debido a una mayor influencia de los compuestos aleloquímicos en semillas más pequeñas (Williams & Bartholomew, 2012). Por otro lado, el control de las malas hierbas de hoja ancha en las parcelas con pellets pudo conducir al aumento de biomasa de monocotiledóneas en comparación con el tratamiento de control en 2021. Las monocotiledóneas ocuparon el espacio vacante dejado por las dicotiledóneas, lo cual es típico de la dinámica de malas hierbas (Oreja *et al.*, 2022). Sin embargo, la reducción en el número de plantas en ambos años contribuyó a aligerar el banco de semillas garantizando un control significativo al año siguiente, incluso llegando a ser total para *D. sanguinalis*. La drástica reducción de la biomasa de *D. sanguinalis* es un hallazgo especialmente relevante. Se sabe que esta especie es muy sensible a los aleloquímicos, tanto a compuestos orgánicos volátiles como fenólicos solubles (Pardo-Muras *et al.*, 2022).

3. Conclusiones

Estas primeras pruebas de campo a escala de huerta familiar demostraron que los pellets de eucalipto reducen eficazmente las poblaciones de malas hierbas, especialmente las especies dicotiledóneas. Gracias al formato pellet, el efecto herbicida se mantuvo a lo largo de toda la temporada del cultivo con solo una aplicación inicial. Además, redujo el número de escardas necesarias. En conclusión, este nuevo bioherbicida a base de pellets de eucalipto constituye una herramienta sostenible prometedora para el control de las malas hierbas en los cultivos de tomate, ya que combina los efectos fitotóxicos inmediatos de los aleloquímicos del eucalipto con una eficacia a largo plazo derivada de las propiedades físicas de los pellets. No obstante, sería necesario ampliar la escala a producción industrial en próximos ensayos.

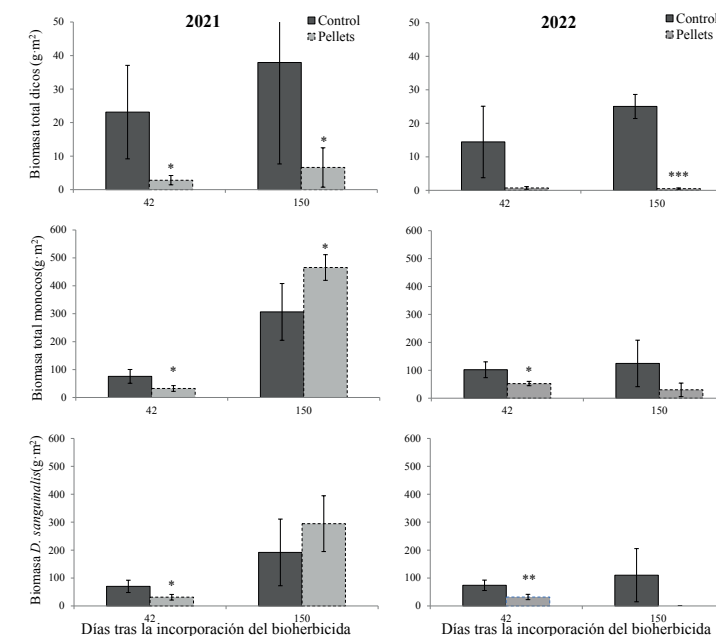


Figura 2. Efecto de los pellets de eucalipto, en comparación con el tratamiento de control, sobre la biomasa de malas hierbas a los 42 y 150 días, que corresponden a la primera escarda manual de las parcelas de control y al final del ensayo, respectivamente. La significación estadística se indica mediante asteriscos: * = $P \leq 0,05$; ** = $P \leq 0,01$; *** = $P \leq 0,001$.

4. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por los proyectos de I+D+i «Retos Investigación» PID2019-111253RB-I00 y PID2023-147687OB-I00 (MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033) a través de FEDER.

Referencias

- OREJA FH, INMAN MD, JORDAN DL, BARDHAN D & LEON RG (2022) Modeling weed community diversity based on species population density dynamics and herbicide use intensity. *European Journal of Agronomy*, 138, 126533.
- PARDO-MURAS M, PUIG CG & PEDROL N (2022) Complex synergistic interactions among volatile and phenolic compounds underlie the effectiveness of allelopathic residues added to the soil for weed control. *Plants*, 11, 1114.
- PEDROL N, PARDO-MURAS M & PUIG CG (2024) Composición herbicida que comprende biomasa de eucalipto, retama y mastranzo (Patente española n.º ES 2957062 B2). Oficina Española de Patentes y Marcas.
- PUIG CG, REVILLA P, BARREAL ME, REIGOSA MJ & PEDROL N (2019) On the suitability of *Eucalyptus globulus* green manure for field weed control. *Crop Protection*, 121, 57-65.

VALIÑO A, PARDO-MURAS M, PUIG CG, LÓPEZ-PERIAGO JE & PEDROL N (2023) Biomass from allelopathic agroforestry and invasive plant species as soil amendments for weed control—A review. *Agronomy*, 13, 2880.

WILLIAMS R & BARTHOLOMEW P (2012) Radish (*Raphanus sativus*) seed size affects germination response to coumarin. *Allelopathy Journal*, 30, 271-279.

ZHANG FY, LI XL, DENG Q, XU RH & CHANG LX (2022) Allelopathic Plants 34: Eucalyptus (Myrtaceae). *Allelopathy Journal*, 57, 01-28.

O2. Estrategias sostenibles para mitigar la resistencia a herbicidas en sistemas de cultivo de trigo en no laboreo

O2. Sustainable strategies to mitigate herbicide resistance in no-till wheat cropping systems

BARROSO J¹, DURFEE N², OREJA FH³, NDOU V¹, CODINA-PASCUAL N¹, WUEST SB²

¹*Crop and Soil Science Dept., Oregon State University (OSU), Adams, Oregon, USA;* ²*Columbia Plateau Conservation Research Center, United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service (US-DA-ARS), Adams, Oregon, USA;* ³*Plant and Environmental Sciences Dept., Clemson University, Clemson, South Carolina, USA*

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29287

Email (por orden de autoría): Judit.Barroso@oregonstate.edu; Nicole.Durfee@usda.gov; foreja@clemson.edu; ndouv@oregonstate.edu; Noemi.CodinaPascual@oregonstate.edu; sbwuest@gmail.com

Las malas hierbas (ML) resistentes a herbicidas representan una amenaza creciente para los sistemas de cultivo en siembra directa. Las estrategias de manejo integrado son cada vez más necesarias para la sostenibilidad de estos sistemas. Este estudio, iniciado en 2022, evalúa la eficacia y sostenibilidad de diferentes prácticas de manejo de ML implementadas durante la fase de barbecho en la rotación trigo de invierno–barbecho. Específicamente, investigamos si la labranza ocasional puede reducir las poblaciones de ML sin provocar impactos negativos en el suelo. El estudio se llevó a cabo en dos sitios en Oregón, EE.UU., que representan zonas de precipitación anual intermedia y baja (360 y 280 mm año⁻¹). El diseño experimental es de parcelas divididas con cuatro repeticiones. Las parcelas principales consisten en estrategias de manejo implementadas en otoño y/o primavera, mientras que las subparcelas comparan dos enfoques de control al inicio del verano: control químico con herbicidas y mecánico con “undercutter” (laboreo de barrido superficial). Los resultados mostraron que las prácticas de control implementadas a principios de verano tuvieron mayor impacto en el cultivo subsiguiente que los tratamientos realizados en otoño o primavera. El control mecánico con “undercutter” disminuyó la infestación de ML y aumentó el rendimiento del trigo frente al control químico. En cuanto a la humedad del suelo, se observó un mayor almacenamiento de agua en las subparcelas con “undercutter” en 2023 y 2024, pero no en 2025. Se requieren más años de datos para entender la variabilidad encontrada y los posibles beneficios del uso del laboreo de barrido superficial.

Palabras clave: Manejo integrado de malas hierbas, laboreo vertical, sistemas con barbecho.

Herbicide-resistant weeds threaten agricultural productivity worldwide and pose significant challenges to no-till cropping systems. As the evolution of resistance continues to outpace the development of new herbicide modes of action, integrated weed management strategies are increasingly needed to sustain no-till wheat cropping systems in the inland Pacific Northwest (PNW), USA. Initiated in 2022, this research evaluates the efficacy and sustainability of different weed management practices implemented during the fallow phase of the common winter wheat-fallow rotation. Specifically, we investigate whether occasional tillage can reduce weed populations without causing negative impacts commonly associated with tillage.

The study is being conducted at two sites in Oregon (Adams and Moro), representing intermediate (360 mm yr⁻¹) and low (280 mm yr⁻¹) annual precipitation zones. The experiment has a split-plot design with four replications. Main plots consist of weed management strategies conducted in fall and/or spring, while subplots compare two early-summer weed control approaches: chemical control (herbicide application) and mechanical control (undercutter sweep tillage). Results from 2023-2025 indicate that the weed control practices implemented in early summer have a greater influence on the subsequent crop than fall or spring treatments. Across all three years, the undercutter sweep operation improved weed control and increased crop yield compared with herbicide applications at that time. Regarding soil water, greater water storage following the undercutter sweep operation was observed in 2023 and 2024 but not in 2025. Additional years of data are necessary to better understand the potential benefits of this vertical tillage practice in PNW no-till wheat systems.

Keywords: Integrated weed management, non-inversion tillage, fallow-based systems.

1. Introduction

No-till cropping systems provide important agronomic and environmental benefits, particularly in dry-land wheat systems of the inland PNW, where soil water conservation is critical. However, the heavy reliance on herbicides for weed control in the no-till systems has increased selection pressure for herbicide-resistant weeds (Barroso *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*, 2024). In the PNW, resistance to commonly used herbicide modes of action has reduced the effectiveness of chemical control, threatening the long-term sustainability of no-till wheat cropping systems in the region.

Integrated weed management strategies that incorporate non-chemical practices are needed to slow the evolution of resistance; however, growers remain concerned about the potential negative impacts of reintroducing tillage after long-term no-till management. Although studies in the PNW have shown that tillage can reduce weed pressure and herbicide dependence (Young *et al.*, 2014; San Martín *et al.*, 2018), they did not determine whether such practices preserve the key benefits of no-till systems.

The objective of this study was to evaluate weed management strategies during the fallow phase of the common winter wheat/fallow rotation under intermediate and low annual precipitation conditions in Oregon, assessing both weed control and soil physical properties to account for potential impacts on soil health.

2. Materials and methods

The experiment was initiated in 2022 at the Columbia Basin Agricultural Research Center in Adams, Oregon and an additional site was established in 2023 in Moro, Oregon. The Adams site represents an intermediate precipitation zone (360 mm yr⁻¹), whereas the Moro site represents a low precipitation zone (280 mm yr⁻¹). At both sites, the winter wheat/fallow rotation was studied, with weed management practices implemented during the fallow phase. However, only the Adams site included both phases of the rotation each year, and only results from this site are presented in this article. The experimental design at both sites is a split-plot design with four replications. Main plots (3.8-5.5 m wide x 36.6 m long) evaluated the effect of weed management in fall and spring or only in spring (Table 1), while subplots (3.8-5.5 m wide x 18.3 m long) evaluated the effect of two early-summer weed control approaches: herbicide application (indicated as “spray” in Figures 1 and 2) and undercutter sweep tillage (indicated as “sweep” in Figures 1 and 2; Image 1). Herbicide applications in fall and spring during the fallow phase were conducted with glyphosate at 1110 g a.e. ha⁻¹. Early-summer spray treatments were conducted with glyphosate at 1680 g a.e. ha⁻¹ in 2022 and with a tank-mix of glyphosate and pyraflufen at 1680 g a.e. ha⁻¹ and 3.6 g a.i. ha⁻¹, respectively, in 2024. Crop and weed management practices during the wheat

phase of the rotation were conducted uniformly across the experiment. Weed control in the crop phase consisted of postemergence application of mesosulfuron and bromoxynil + pyrasulfotole at 12.1 and 314 + 62 g a.i. ha⁻¹ in 2023, respectively, and an additional preemergence application of pyroxasulfone + carfentrazone at 130 + 9 g a.i. ha⁻¹ in 2025.

Weeds were evaluated before the implementation of any weed control practice in both phases of the rotation using sampling frames (1 m x 0.5 m), which were randomly but uniformly placed six times within each plot. Soil water storage was evaluated in both phases of the rotation twice per year, in spring and late summer, by collecting soil cores to the full soil depth (approximately 120 cm) with a hydraulic probe and sectioning each core into 30-cm increments to assess soil water dynamics by depth. Crop yield was evaluated using a plot combine with a 1.52 m header (Zürn 150; Brooklyn Park, MN, USA) by harvesting a central strip from each subplot.

Table 1. Weed control treatments conducted in fall (≈ November), spring (≈ April - May), and early summer (≈ late June - early July) in replicated plots established in Adams and Moro, Oregon in 2022, 2023, 2024, and 2025.

TREATMENT ID	FALL TREATMENT TO MAIN PLOTS	SPRING TREATMENT TO MAIN PLOTS	EARLY SUMMER TREATMENT TO SUBPLOTS
1	-	Herbicide	1a. Herbicide 1b. Undercutter sweep
2	Herbicide	Herbicide	2a. Herbicide 2b. Undercutter sweep
3	Herbicide	Turbo-Max*	3a. Herbicide 3b. Undercutter sweep
4	-	Herbicide + Turbo-Max	4a. Herbicide 4b. Undercutter sweep
5	-	Turbo-Max	5a. Herbicide 5b. Undercutter sweep
6	Turbo-Max	Turbo-Max	6a. Herbicide 6b. Undercutter sweep

*Turbo-Max is a vertical tillage machine with 50 cm turbo blades spaced 19 cm apart



Image 1. Photo of the undercutter sweep used in the trials to conduct mechanical control in early summer.

Mixed-effect models were used to analyze the data, with the plot and subplot treatments included as fixed effects and replication as a random effect. Model assumptions of normality and homogeneity of variance were assessed using the Shapiro-Wilk test and Levene's test, respectively. When these assumptions were violated, the data were transformed to meet model assumptions; however, untransformed data are presented for ease of interpretation. Treatment means were separated using Tukey's HSD test (p -value < 0.05).

3. Results and discussion

The predominant weed species throughout the study were grasses, primarily volunteer wheat and downy brome (*Bromus tectorum* L.). The most prevalent broadleaf weeds were tumble pigweed (*Amaranthus albus* L.), cutleaf nightshade (*Solanum triflorum* Nutt.), and prickly lettuce (*Lactuca serriola* L.).

The effects of fallow weed management strategies on the subsequent wheat crop were driven primarily by earlysummer weed control practices rather than by the fall and/or spring weed management (plot treatments). Nevertheless, significant differences among plot treatments were observed, particularly in weed infestation and wheat yield. Treatment 4, with integrated chemical and mechanical weed management practices, consistently provided the greatest weed control, whereas Treatment 5, which relied exclusively on mechanical weed control, resulted in the highest weed infestation and the lowest wheat yields.

With some variability across years and sites, weed infestations during the crop phase were generally lower ($p < 0.05$) in subplots where an undercutter sweep operation had been performed the previous summer, 4.9% weed cover compared to 5.0% in 2023 and 6.4% weed cover compared to 10.3% in 2025 (Figures 1a and 1b). Crop yield followed trends observed in weed pressure. Early-summer weed control practices during fallow significantly affected yield ($p < 0.05$), with higher yields recorded in subplots where weeds were controlled mechanically compared with those managed with chemical control, 5533 kg ha⁻¹ compared with 4890 kg ha⁻¹ in 2023 and 6556 kg ha⁻¹ compared with 5713 kg ha⁻¹ in 2025 (Figures 1c and 1d).

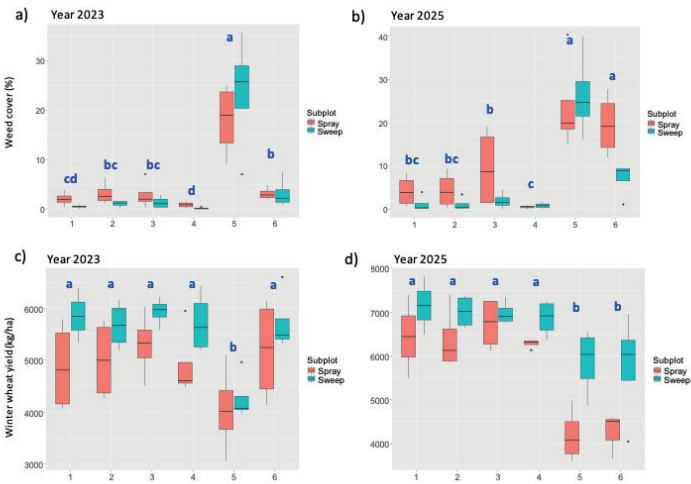


Figure 1. Weed cover (%) in April (a, b) and crop yield (kg ha⁻¹) (c, d) by main plot fallow treatments (X-axis) and subplot treatments (herbicide application ("Spray") in orange; undercutter sweep tillage ("Sweep") in blue) during the winter wheat phase in Adams, OR. The solid black line within each box represents the median. Fallow treatments on the X-axis are described in Table 1. Different letters above main treatments indicate significant differences according to Tukey's HSD test ($p < 0.05$).

The soil sampling conducted in September, following crop harvest, revealed differences in soil gravimetric water content (GWC) between subplots (early-summer treatments), but no differences among main plots representing fall and/or spring treatments. In 2023 and 2024, profile GWC was higher in the subplots with the undercutter sweep pass (8.6% in 2023, 14.8% in 2024) than in those receiving an herbicide application (8.3% in 2023, 13% in 2024), despite higher yields following the undercutter sweep pass. In contrast, the opposite pattern (undercutter sweep GWC: 9.5%; herbicide application GWC: 10.3%) was observed in 2025 (Figure 2).

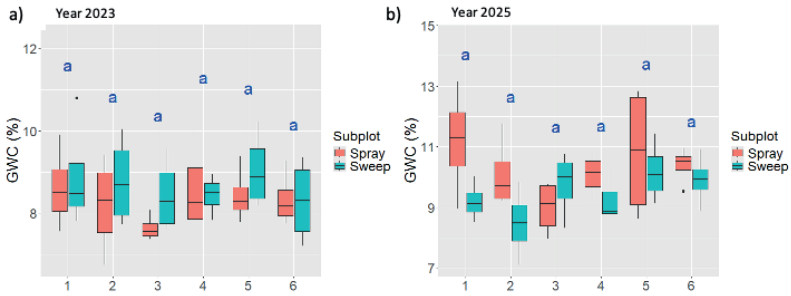


Figure 2. Gravimetric water content (GWC, %) in the soil profile (0-120 cm) by main plot fallow treatment (X-axis) and subplot treatments (herbicide application ("Spray") in orange; undercutter sweep tillage ("Sweep") in blue) at Adams, OR. Measurements were taken in September 2023 (a) and September 2025 (b) following crop harvest. The solid black line within each box represents the median. Fallow treatments on the X-axis are described in Table 1. Different letters above main treatments indicate significant differences according to Tukey's HSD test ($p < 0.05$).

4. Conclusions

Overall, these findings suggest that implementing an undercutter sweep operation in early summer can improve weed control, increase crop yield, and influence soil water dynamics.

Consequently, this mechanical operation has the potential to reduce reliance on herbicides and, therefore, help reduce herbicide selection pressure. However, additional years of study are needed to better understand the effects of this treatment on soil water dynamics.

5. Acknowledgements

This material is based upon work supported by the USDA-ARS under Agreement No. 58-2074-1-001 and titled Weed Management in Dryland Wheat-Fallow Systems, which is part of the Pacific Northwest Herbicide Resistance Initiative. The authors thank Jennifer Gourlie and Kyle Harrison for managing the field trials and implementing the treatments, and Dave Robertson for his assistance with the soil sampling.

References

- BARROSO J, GOURLIE JA, LUTCHER LK, LIU M & MALLORY-SMITH CA (2018) Identification of glyphosate resistance in *Salsola tragus* in north-eastern Oregon. *Pest Management Science*, 74, 1089-1093.
- RIBEIRO VHV, MALLORY-SMITH C, BRUNHARO CACG & BARROSO J (2024) Downy brome (*Bromus tectorum*) management and herbicide resistance in dryland wheat production across northeastern Oregon. *Weed Science*, 72, 638-645.
- SAN MARTIN C, LONG DS, GOURLIE JA & BARROSO J (2018) Weed responses to fallow management in Pacific Northwest dryland cropping systems. *PLoS One*, 13, 1-17.
- YOUNG FL, OGG AG & ALLDREDGE JR (2014) Postharvest tillage reduces downy brome infestations in winter wheat. *Weed Technology*, 28, 418-425.

O3. Viabilidad económica de dos hidroacolchados biodegradables en *Lavandula x intermedia* y *Salvia rosmarinus*

O3. Economic viability of two biodegradable hydroponic substrates in *Lavandula x intermedia* and *Salvia rosmarinus*

MARTÍNEZ Y^{1,4}, NAVARRO-ROCHA J^{2,4}, PARDO G^{3,4}, CIRUJEDA A^{3,4}

¹Departamento de Análisis Económico, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España; ²Departamento de Ciencia Vegetal, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, España; ³Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, CITA, Zaragoza, España; ⁴ Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2), CITA-Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29288

Email (por orden de autoría): yolandam@unizar.es; jnavarro@cita-aragon.es; gpardos@aragon.es; acirujeda@aragon.es

Los hidroacolchados podrían ser una alternativa innovadora y biodegradable frente al control químico o mecánico de malas hierbas en cultivos de plantas aromáticas y medicinales, donde la ausencia de residuos de herbicidas puede proporcionar un mayor valor añadido a la cosecha. Más allá de su promotor desempeño agronómico y ambiental, persiste una pregunta clave: ¿son económicamente viables? En dos ensayos de campo se evaluó la rentabilidad de dos formulaciones de hidroacolchado (una incluía paja de trigo y la otra cascarilla de arroz) y se comparó con el desherbado manual a lo largo del ciclo productivo completo de dos cultivos: *Lavandula x intermedia* y *Salvia rosmarinus*. Los resultados mostraron que el efecto sobre el rendimiento dependió de la especie. En *L. x intermedia*, se observó un aumento en la producción, mientras que para *S. rosmarinus* se observaron descensos de rendimiento con acolchado. Cuando se evaluó la rentabilidad en todo el ciclo productivo (10 años) mediante el valor actual neto (VAN), las mezclas analizadas (paja de trigo y cascarilla de arroz) en *L. x intermedia* generaron, respectivamente un 8,3% y un 7,2% más de VAN que el control manual. Sin embargo, en *S. rosmarinus* el VAN se redujo en un 31,3% (paja de trigo) y un 39,5% (cascarilla de arroz). Los resultados respaldan la viabilidad económica de los hidroacolchados en *L. x intermedia*. En *S. rosmarinus* la rentabilidad exige obtener producciones iguales a las logradas en control manual.

Palabras clave: Aromáticas, estudio económico, valor actual neto, control de arvenses.

*Hydromulches could provide an innovative, biodegradable alternative to chemical or mechanical weed control in aromatic and medicinal plant crops, where the absence of herbicide residues could increase the value of the harvest. Beyond their promising agronomic and environmental performance, a key question remains: are they economically viable? A field trial evaluated the cost-effectiveness of two hydromulch formulations, comparing them to manual weeding throughout the production cycle of two crops: *Lavandula x intermedia* and *Salvia rosmarinus*. The effect on yield depended on the species. An increase in production was observed in *L. x intermedia*, while yield decreases were observed in *S. rosmarinus* with mulching. When profitability was evaluated over the entire production cycle (10 years) using net present value (NPV), the wheat straw and rice hull mixtures in *L. x intermedia* generated 8.3% and 7.2% more NPV than the manual control, respectively. However, in *S. rosmarinus*, the NPV decreased by 31.3% (wheat straw) and 39.5% (rice hulls). These results support the economic viability of hydromulching in *L. x intermedia*. In *S. rosmarinus*, profitability requires yields equal to or higher than those achieved in the manual control plots.*

Keywords: *Integrated weed management, non-inversion tillage, fallow-based systems.*

1. Introducción

Los hidroacolchados elaborados a partir de materiales orgánicos podrían ser una alternativa prometedora al acolchado plástico y a otros métodos de control de arvenses. Estos se aplican en forma de pasta más o menos fluida directamente en la base de los cultivos, por lo que son adecuados para colocarse cuando los cultivos están ya establecidos y para llevar a cabo cualquier distribución espacial. Una vez seco, el hidroacolchado forma una capa cohesionada que puede durar uno o dos años, hasta que los cultivos aromáticos se hayan establecido correctamente, suprimiendo eficazmente las malas hierbas anuales de hoja ancha y las gramíneas (Warnick *et al.*, 2006; Cirujeda *et al.*, 2024). Posteriormente las necesidades de escarda en la línea de cultivo son muy pequeñas o incluso llegan a ser nulas.

Más allá de los beneficios convencionales de la mayoría de los acolchados, como la mejora de la retención de humedad y la regulación de la temperatura, el hidroacolchado ofrece la ventaja adicional de estar compuesto íntegramente por materiales orgánicos y totalmente biodegradables que se integran gradualmente en el suelo, mejorando su estructura y enriqueciéndolo.

Sin embargo, los estudios que analizan este tipo de materiales desde una perspectiva económica siguen siendo escasos, a pesar de su importancia para evaluar su viabilidad. López-Marín *et al.* (2021) realizaron el primer análisis económico de los hidroacolchados en la producción de alcachofas, concluyendo que los acolchados líquidos, aunque menos rentables que el polietileno, representan una opción más económica que los tratamientos químicos.

Este trabajo pretende aportar datos novedosos a la literatura sobre la posible viabilidad económica del uso de hidroacolchados en cultivos aromáticos. La evaluación económica se basa en resultados de dos ensayos de campo realizados en Aragón, en condiciones climáticas semiáridas. Se evaluará la rentabilidad final, teniendo en cuenta ingresos y costes, de tres variantes: dos tipos de hidroacolchado y una escarda manual, técnica que se utiliza habitualmente en cultivos aromáticos en los dos primeros años de cultivo.

2. Material y métodos

Los dos ensayos se ubicaron en las instalaciones del CITA en Montañana (Zaragoza, España). Uno de ellos con lavanda (*Lavandula x intermedia*) de 2022 a 2024 y el otro con romero (*Salvia rosmarinus*) de 2024 a 2025. En ambos ensayos se estudiaron los siguientes tratamientos: 1) hidroacolchado a base de paja de trigo, 2) hidroacolchado a base de cascarilla de arroz y 3) escarda manual. Hubo 3 repeticiones por tratamiento con una parcela elemental de 3 metros lineales (5 plantas).

Los dos tipos de hidroacolchado se prepararon *in situ* inmediatamente antes de la instalación, utilizando una mezcla base homogénea compuesta por papel reciclado (835 g/m²) procedente de la fábrica de papel Saica de El Burgo de Ebro (Zaragoza, España), fibra kraft (209,25 g/m²) obtenida del Museo de la Fábrica de Papel de Capellades (Capellades, España) y agua (16,7 l/m²). A un hidroacolchado se le añadió paja de trigo picada (833 g/m²) y al otro, cascarilla de arroz (1250 g/m²) suministrada por Arroquera del Pirineo (Alcolea de Cinca, Huesca, España). Finalmente, inmediatamente antes de la aplicación se le añadió yeso de fraguado rápido (1002 g/m²) a ambas mezclas (hidroacolchados) para maximizar la capacidad aglomerante del yeso. Las mezclas se realizaron con ayuda de una batidora industrial y se colocaron con una anchura total de 0,40 m, sobresaliendo 0,20 m de cada lado de la hilera del cultivo utilizando una pala mezcladora frontal y un orificio central.

El indicador económico utilizado fue un margen anual parcial, definido como la diferencia entre los ingresos por venta de la cosecha y los costes asociados al control de malas hierbas. Este indicador permite evaluar y comparar el rendimiento económico de cada método de control, aislando únicamente el componente de coste directamente atribuible a dicha práctica. No se tuvieron en cuenta otros costes de producción, como la fertilización o el implante de las plantas aromáticas, al considerarse comunes a todas las variantes estudiadas.

La evaluación económica de los nuevos materiales tuvo en cuenta tres tipos de costes: i) el coste de las materias primas utilizadas en las mezclas; ii) el coste de preparación de las mezclas, incluyendo la trituración y el mezclado; iii) el coste de la aplicación de los hidroacolchados al suelo. El análisis también incluyó los costes operativos de la maquinaria y los insumos, concretamente el combustible, que se asignó proporcionalmente al tiempo necesario para cada operación. Se considera que con una aplicación de hidroacolchado es suficiente para mantener limpia la línea durante toda la vida útil del cultivo, ya que cuando éste se degrada (tras unos dos años) la especie aromática no necesita ser desherbada debido a su vigor. Para el tratamiento 3 de escarda manual, se contabilizó el tiempo de escarda dentro de la línea del cultivo y su coste horario. Se considera que en el primer año se necesitan 18 horas/ha en el segundo 9 horas/ha, en el tercero 6 horas/ha y a partir del cuarto año ninguna. Para los tres tratamientos se añadió, además, el coste de mantener la calle libre de malas hierbas con un control mecánico entre hileras con un pequeño tractor.

Para mayor precisión, los cálculos por hectárea se basaron en una disposición típica del campo con una separación de 1,5 m entre hileras y una anchura de aplicación del hidroacolchado de 40 cm (20 cm a cada lado de la hilera). Se aplicó una reducción del 10 % a la superficie total para tener en cuenta los extremos de las hileras donde no se aplicó material.

Se contabilizaron los costes de todos los materiales excepto la paja de trigo de los hidroacolchados porque procedía de restos de una parcela contigua. Los costes de transporte de los materiales hasta la explotación experimental se calcularon basándose en distancias de 24 km desde la fábrica de papel y de 102 km desde la planta de procesamiento de arroz (distancia al ensayo).

Los datos sobre rendimientos, insumos y costes operativos se recopilaron anualmente a partir de los ensayos para evaluar los resultados económicos de cada material. Los datos de rendimiento se analizaron utilizando SAS (Statistical Analysis System V.9.4. SAS Institute, Cary, Carolina del Norte, EE. UU.). Antes del análisis, se comprobó la homogeneidad de la varianza y la normalidad de los datos. A continuación, los datos de rendimiento se sometieron a un análisis de varianza, para detectar posibles diferencias significativas entre tratamientos.

Los ingresos se calculan como el valor de la cosecha de cada variante estudiada y ésta se obtuvo mediante el peso seco de la cosecha de cinco plantas por parcela y extrapolándolo a la densidad de plantación que tiene cada cultivo: 10.000 plantas por hectárea para *Lavanda* y 11.000 plantas por hectárea para romero. Se considera una vida productiva de 10 años para ambas especies. Los precios de mercado se basaron en los valores de la cosecha seca comunicados por los productores regionales: 19,50 € por kilogramo para *Lavanda* y 3,50 € por kilogramo para romero. El margen final de los 10 años se actualizó mediante el Valor Actual Neto (VAN) aplicando una tasa del 3 % anual. Como en ninguno de los cultivos hubo diferencias significativas entre tratamientos para la producción, se decidió, en el estudio económico, añadir el cálculo del VAN en el supuesto de que todos los tratamientos obtuvieran la cosecha del tratamiento de escarda manual.

3. Resultados y discusión

Aunque no hubo diferencias significativas entre tratamientos, los rendimientos medios de *Lavanda* fueron más elevados cuando se aplicaron materiales de acolchado, en comparación con los rendimien-

tos obtenidos de las plantas cultivadas en las parcelas de control manual sin acolchado (tabla 1). Por el contrario, los rendimientos medios de romero fueron menores en las parcelas con acolchados que en las parcelas de control correspondientes. Una posible explicación es que es un cultivo adaptado a suelos bien drenados y de baja humedad, con un sistema radicular relativamente somero y ramificado, y una fuerte dependencia del rebrote basal. Por tanto, los hidroacolchados pueden resultar contraproducentes por exceso de humedad en algunos suelos y años (De Falco *et al.*, 2006).

Tabla 1. Producciones medias de los ensayos en cada tratamiento y cultivo.

CULTIVO	TRATAMIENTO	COSECHA MEDIA (KG/5 PLANTAS)
<i>Lavandula x intermedia</i> ¹	1) Hidroacolchado (Paja de trigo)	1,194 a
	2) Hidroacolchado (Cascarilla de arroz)	1,182 a
	3) Escarda manual	1,099 a
<i>Salvia rosmarinus</i> ²	1) Hidroacolchado (Paja de trigo)	2,376 a
	2) Hidroacolchado (Cascarilla de arroz)	2,103 a
	3) Escarda manual	3,411 a

En cada cultivo, sin diferencias significativas entre tratamientos. ¹Producción media para los años 2022, 2023, y 2024. ²Producción media para los años 2024 y 2025.

El análisis de costes (tabla 2) pone de manifiesto que el aumento del rendimiento era esencial para poder compensar los mayores costes del primer año asociados a los acolchados. Los resultados indican que se requerían aumentos anuales del rendimiento del 0,24 % y del 0,25 % para compensar los costes adicionales de las mezclas 1 y 2, respectivamente para lavanda (*L. x intermedia*). En el caso de romero (*S. rosmarinus*) los aumentos de producción necesarios son del 0,55 % para la mezcla 1 y del 0,73 % para la mezcla 2. Los resultados muestran que los aumentos en el rendimiento anual de lavanda superaron los incrementos mínimos necesarios, con incrementos del 8,6 % y del 7,5 % para hidroacolchado 1 y 2, respectivamente (tabla 1). Por el contrario, el romero presentó rentabilidades más bajas, lo que podría dificultar la adopción de prácticas de hidroacolchado durante la fase de establecimiento, dados sus mayores costes en comparación con el control convencional de las malas hierbas.

Los resultados del ciclo completo (tabla 2) indican que el hidroacolchado 1 es el material más rentable para lavanda, seguido muy de cerca por la hidroacolchado 2. En el caso del romero el tratamiento de control resultó ser más rentable, mientras que el hidroacolchado 1 superó al 2.

Si se considera que los rendimientos de los cultivos con hidroacolchados son iguales a los obtenidos con el control manual durante todo el ciclo de cultivo, los materiales acolchados dan lugar a pérdidas de VAN que oscilan entre el 0,35 % y el 0,71 % (véase la última fila de la tabla 2).

Tabla 2. Ingresos, costes, margen neto y valor actual neto (en €/ha).

CULTIVO		LAVANDULA X INTERMEDIA			SALVIA ROSMARINUS		
Variable/tratamiento		1	2	3	1	2	3
Año 1	Ingresos	46566	46098	42861	18295	16193	26265
	Costes	2618	2947	843	2618	2947	843
	Margen Neto	43948	43151	42018	15677	13246	25422
Año 2	Ingresos	46566	46098	42861	18295	16193	26268
	Costes	213	213	528	213	213	528
	Margen Neto	46353	45885	42333	18082	15980	25737
Año 3	Ingresos	46566	46098	42861	18295	16193	26265
	Costes	213	213	423	213	213	423
	Margen Neto	46353	45885	42438	18082	15980	25842
Año 4 a final	Ingresos	46566	46098	42861	18295	16193	26265
	Costes	213	213	213	213	213	213
	Margen Neto	46353	45885	42648	18082	15980	26052
VAN total 10 años		404857	400416	373576	156467	137669	227769
% del manual		108,37	107,18	100,00	68,69	60,44	100,00
VANa		372304	371976	373576	226487	226159	227769
% del manual a		99,65	99,57	100,00	99,43	99,29	100,00

¹ Hidroacolchado (Paja). ² Hidroacolchado (Cascarilla de arroz). ³ Escarda manual. ^aVAN con producciones iguales a la escarda manual (tratamiento 3).

4. Conclusiones

Los resultados de este estudio sugieren que los hidroacolchados pueden ser una alternativa económicamente rentable al control manual en los cultivos medicinales y aromáticas, siempre que los niveles de rendimiento sean comparables o superen a los obtenidos con el habitual control manual que se hace dentro de la fila. No obstante, es necesario seguir investigando para validar estos resultados en condiciones variables y en otros cultivos aromáticos.

Referencias

CIRUJEDA A, PUEYO J, MORENO MM, MORENO C, VILLENA J, LÓPEZ-MARÍN J, ROMERO-MUÑOZ M & PARDO G (2024) Weed control in perennial crops using hydromulch compositions based on the circular economy: Field trial results. *Journal of Crop Health*, 76, 1101-1116.

DE FALCO E, DE FEO V, ZACCARDELLI M, DE NICOLA F & TARANGELO M (2006) Effects of different vegetal mulching on *Rosmarinus officinalis* L.: first results. In I International Symposium on the Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilisation 723 (pp. 447-452).

LÓPEZ-MARÍN J, ROMERO M, GÁLVEZ A, DEL AMOR FM, PIÑEIRO MC & BROTONS MARTÍNEZ JM (2021) The use of hydromulching as an alternative to plastic films in an artichoke (*Cynara cardunculus* cv. Symphony) crop: A study of economic viability. *Sustainability*, 13, 5313.

WARNICK J, CHASE C, ROSSKOPF E, SIMONNE E, SCHOLBERG J, KOENIG R & ROE N (2006) Weed suppression with hydramulch, a biodegradable liquid paper mulch in development. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 21, 216-223.

O4. Caracterización de la emergencia de especies estivales arvenses en huerta

O4. Characterizing the emergence of summer weed species in horticultural crops

IZQUIERDO J^{1,*}, ARMENGOL G¹, CUBI M², GALLIFA E³, MATAS M⁴, URZUA C⁵, VEAS A⁶

¹Dept d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya, Castelldefels, Barcelona, España; ²Federació Selmar, Santa Susanna, España; ³Agrícola Progrés-Garbí, Malgrat de Mar, España; ⁴RTA Cabrils, Cabrils, Barcelona, España; ⁵ADV Conca de la Tordera, Palafolls, España; ⁶ADV Baix Maresme, Cabrera de Mar, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29289

*E-mail: jordi.izquierdo@upc.edu

Una de las principales preocupaciones de los agricultores es realizar los tratamientos herbicidas o un laboreo en el momento adecuado, entendiendo como momento adecuado aquel en el que la hierba está recién nacida y al mismo tiempo ya ha aparecido la mayoría en el campo después de la siembra o trasplante. La elaboración de modelos predictivos de emergencia de malas hierbas en base a datos climáticos como la temperatura o la humedad del suelo proporcionan al agricultor información valiosa sobre el estado de la germinación para gestionar con mayor eficiencia la flora arvense. Estos modelos han sido ampliamente desarrollados para las malas hierbas más importantes de los cultivos extensivos de secano, pero hay muy pocos modelos disponibles para malas hierbas de verano y, en concreto, para las que aparecen en los cultivos hortícolas, los cuales ocupan menos extensión que los cereales, pero tienen un mayor valor económico por unidad de superficie. Con el fin de caracterizar la emergencia de especies estivales, durante la primavera del año 2025 y en colaboración con diversas Agrupaciones de Defensa Vegetal (ADV) de huerta se ha realizado un seguimiento semanal en siete campos comerciales en donde se cultivaba lechuga, pepino y judías de las malas hierbas que aparecían en cinco cuadrados permanentes. Considerando que los cultivos hortícolas disponen continuamente de agua, se han desarrollado modelos predictivos basados únicamente en la temperatura con el fin de proporcionar una herramienta de ayuda a los agricultores. El número de días que transcurren desde el laboreo hasta que se observa el 50 y 90% de emergencia en el campo resulta ser de unos 45 y 65 días respectivamente.

Palabras clave: Predicción, emergencia, cultivos hortícolas, *Portulaca oleracea*, *Cyperus rotundus*, *Digitaria sanguinalis*.

One of the primary concerns for farmers is ensuring that herbicide treatments or tillage are performed at the optimal time. The “optimal time” is defined as the period when weeds have recently germinated, and most of the population has already emerged in the field following sowing or transplanting. The development of predictive weed emergence models based on climatic data, provides farmers with valuable information regarding germination status, allowing for more efficient management of arable flora. While these models have been extensively developed for the most significant weeds in rainfed extensive crops, there is a lack of available models for summer weeds—specifically those affecting horticultural crops. These crops occupy less land area than cereals but they hold a higher economic value per unit of surface area. To characterize the emergence of summer species, a weekly monitoring program was conducted during the spring of 2025 in collaboration with

several Horticultural Plant Protection Associations (ADV) in which weed emergence was monitored within five permanent quadrats across seven commercial fields growing lettuce, cucumber, and beans. Given that the fields had a continuous water supply, predictive models based solely on temperature were developed to provide a practical decision-support tool for farmers.

Keywords: Prediction, emergence, horticultural crops, *Portulaca oleracea*, *Cyperus rotundus*, *Digitaria sanguinalis*.

1. Introducción

Los patrones de emergencia de las malas hierbas en un campo siguen una cinética sigmoideal. Esta cinética depende de la temperatura y del contenido de humedad del suelo (grados hidrotermales). A medida que las semillas adquieren una determinada cantidad de grados hidrotermales característica de cada especie, germinan y emergen en el campo (Bradford, 2002). Como la temperatura y el contenido de humedad pueden ser estimados mediante sensores colocados en el campo o, de una forma aproximada, a partir de los datos recogidos por estaciones meteorológicas próximas a ellos, se puede relacionar empíricamente la emergencia observada en el campo con la acumulación de grados hidrotermales por parte de las semillas por medio de una regresión sigmoideal definida por una función del tipo Gompertz, Weibull o logística (Grundy, 2003). Para estimar los parámetros de estas funciones se parte de datos de varios campos y luego se valida el modelo en diferentes localidades. En general, los modelos obtenidos proporcionan buenas predicciones de la emergencia de las malas hierbas a escala local e incluso regional (Forcella *et al.*, 2000; Masin *et al.*, 2010). Estas herramientas aportan al agricultor o técnico información valiosa sobre el estado de las malas hierbas como por ejemplo en qué momento aparecen y qué cantidad hay, sin necesidad de visitarlo, de manera que le permiten mejorar la gestión de las mismas.

La acumulación de grados hidrotermales por parte de las semillas se realiza siempre que la temperatura del suelo sea superior a una temperatura base característica para cada especie y en el suelo haya una humedad superior al llamado potencial hídrico base de la semilla (Bradford, 2002). Ambos parámetros, temperatura y potencial hídrico base, es posible estimarlos para cada especie mediante estudios en cámaras de germinación en laboratorio. Tener estos datos permite desarrollar modelos predictivos de emergencia para las especies arvenses cuya gestión se realiza predominantemente mediante herbicidas, que son principalmente las de cultivos extensivos de secano (Izquierdo *et al.*, 2013, Sousa-Ortega *et al.*, 2021). Sin embargo, la disponibilidad de modelos de emergencia para malas hierbas de cultivos horticolas es muy escasa. La horticultura intensiva también hace uso de herbicidas o del laboreo y algunas especies son particularmente abundantes y competitivas, por lo que la disponibilidad de modelos predictivos de emergencia permitiría mejorar la eficacia del desherbado. El objetivo de este trabajo es desarrollar estos modelos para arvenses de verano, considerando que en estos cultivos el suelo se mantiene constantemente húmedo por el riego por lo que la variable meteorológica más influyente es la temperatura (grados termales).

2. Material y Métodos

2.1 Seguimiento de especies

El seguimiento de las adventicias se realizó en diferentes localidades y cultivos durante la primavera de 2025 (tabla 1). Tras el laboreo y pocos días después de la siembra o trasplante del cultivo se colocaban cinco cuadrados permanentes de 33 cm x 33 cm en el campo y semanalmente se hacía un recuento de las plántulas emergidas por especie, hasta que el cultivo se cosechaba o estaba próximo a serlo. Las plántulas se eliminaban manualmente tras cada recuento o, en el caso de *Cyperus rotundus*, se dejaban

anilladas. Las parcelas se mantenían húmedas permanentemente por goteo o por microaspersión tras la siembra o el trasplante, por lo que no se consideró el potencial hídrico del suelo en los análisis. Los datos de temperatura se recogieron al final de la temporada de la estación meteorológica más cercana. Todos los suelos tenían textura franco-arenosa.

Tabla 1. Localidades, cultivos, malas hierbas, fechas de cultivo y procedencia de los datos de temperatura de las parcelas en las que se siguió la emergencia de malas hierbas el 2025.

LOCALIDAD	CULTIVO	ESPECIES	FECHAS	ESTACIÓN METEOROLÓGICA
Santa Susanna	Lechuga	<i>Cyperus rotundus</i> <i>Digitaria sanguinalis</i> <i>Portulaca oleracea</i>	25/02 al 7/05	Malgrat de Mar
Malgrat de Mar	Lechuga	<i>Cyperus rotundus</i> <i>Digitaria sanguinalis</i> <i>Portulaca oleracea</i>	16/05 al 17/06	Malgrat de Mar
Mataró	Lechuga / espinaca	<i>Cyperus rotundus</i>	5/04 al 19/06	Cabrils
Blanes	Zanahoria	<i>Portulaca oleracea</i>	11/04 al 9/06	Malgrat de Mar
Palafolls	Judías	<i>Cyperus rotundus</i> <i>Digitaria sanguinalis</i> <i>Portulaca oleracea</i>	2/05 al 17/06	Malgrat de Mar

2.2 Ajuste del modelo

Los grados termales se calcularon a partir del día del laboreo de la parcela, considerando la temperatura media del aire menos la temperatura base de cada especie según bibliografía (*Cyperus rotundus*: Tbase=11,4°C; *Digitaria sanguinalis*: 8,4°C, *Portulaca oleracea*: 7°C). Basándonos en estudios previos (Izquierdo *et al.*, 2011), se decidió ajustar funciones de Gompertz (1) y/o Weibull (2) a los datos de emergencia acumulada en función de los grados termales de cada especie:

Gompertz:

$$E(GT) = 100 \cdot \exp(-\exp(-b (GT - c)))$$

(1)

Weibull:

$$E(GT) = 100 \cdot (1 - \exp(-(d * GT)^g))$$

(2)

donde $E(GT)$ es el porcentaje de emergencia acumulada en función de los grados termales y GT es el tiempo en grados termales, b y d representan la velocidad de incremento de la emergencia, c es el momento en el cual se produce la inflexión de la curva y g es un parámetro que determina la asimetría de la curva. Los parámetros se estimaron por regresión no lineal utilizando el algoritmo de Gauss-Newton con el paquete estadístico SAS® software, versión 3.82 (Edición Enterprise) (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). La bondad del ajuste se determinó calculando la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de determinación (R^2) para cada modelo ajustado.

3. Resultados y discusión

Se presentan los resultados para aquellas especies que tuvieron una densidad mayor que 30 pl/m². El patrón de emergencia para todas ellas siguió un crecimiento exponencial que se ajustó a funciones de Gompertz y Weibull (figura 1). Sin embargo, hay que indicar que la dinámica de las emergencias de *C.*

rotundus difirió de forma significativa entre las localidades de Palafox y Santa Susanna y las de Mataró y Malgrat de Mar (figura 1a). Esta diferente velocidad de aparición de las emergencias se asocia a una menor disponibilidad de agua de riego para el grupo Mataró/Malgrat de Mar, aunque este hecho no ha podido ser comprobado. Debido a esto se realizó un ajuste por separado de los datos de cada grupo, observando que para el grupo Palafox-Santa Susanna no fue posible ajustar una función de Weibull por falta de convergencia de este modelo (tabla 2). Las funciones ajustadas describieron bien las dinámicas de emergencia, con R² muy semejantes y elevadas y RMSE bajos (tabla 2). Ambos modelos coincidieron en los grados termales en los cuales las especies alcanzaban el 50% de plantas emergidas, pero difirieron en la predicción del 90%, ya que el modelo de Weibull tendió a indicarlo unos 20-25 °C acumulados antes que el de Gompertz (tabla 3). Estas diferencias entre modelos, sin embargo, suponen en realidad un desfase de sólo dos o tres días para la época del año en la que nos encontramos (primavera-verano), con lo cual no es esperable que el uso de un modelo u otro tenga una incidencia significativa sobre la eficacia del desherbado. Considerando ambos modelos, el número de días des de la implantación del cultivo para alcanzar el 50% de emergencia resultó ser de entre 40 y 50 días y para alcanzar el 90% de entre 60 y 70 días.

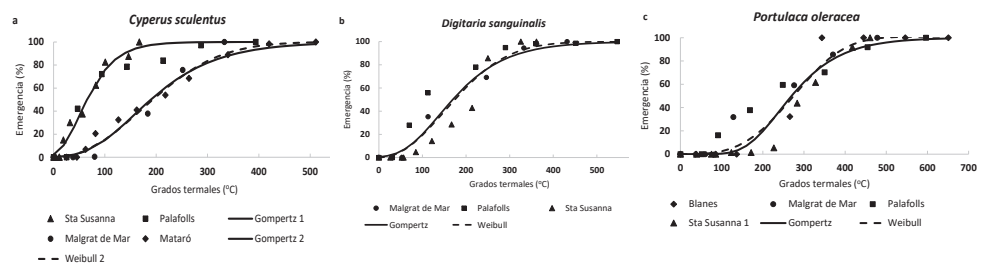


Figura 1. Emergencia acumulada (%) observada (puntos) y predicha según el modelo de Gompertz (línea continua) o Weibull (línea discontinua) de cada especie en función de los grados termales acumulados (°C día). En la figura 1a, Gompertz 1 describe la dinámica para Santa Susanna y Palafox y Gompertz y Weibull 2 para Malgrat de Mar y Mataró.

Tabla 2. Valores de los parámetros de los modelos ajustados a cada especie (ver significado en el texto). RMSE: raíz del error cuadrático medio. *C. rotundus* 1 corresponde al modelo para Santa Susanna y Palafox y *C. rotundus* 2 al de Malgrat de Mar y Mataró.

ESPECIE	GOMPERTZ				WEIBULL			
	b	c	R2	RMSE	d	g	R2	RMSE
Cyperus rotundus 1	0,0261	51,1	0,96	7,47	--	--	--	--
Cyperus rotundus 2	0,0113	157,1	0,97	6,22	0,00437	2,17	0,98	4,47
Digitaria sanguinalis	0,0121	139,1	0,92	11,68	0,00482	2,10	0,92	11,28
Portulaca oleracea	0,0122	239,8	0,92	11,89	0,00324	3,28	0,93	11,23

Tabla 3. Grados termales (°C) según modelo y días desde la siembra (DDS) promedio en los que se prevé alcanzar el 50 y 90% de plantas emergidas según especie.

ESPECIE	EMERGENCIA 50%			EMERGENCIA 90%		
	Gompertz	Weibull	DDS	Gompertz	Weibull	Días
Cyperus rotundus 1	65	--	45	140	--	67
Cyperus rotundus 2	190	195	46	360	340	61
Digitaria sanguinalis	170	175	40	330	310	67
Portulaca oleracea	270	275	49	430	395	66

Con el fin de obtener modelos más robustos y validarlos en hortícolas, se está continuando el seguimiento de las emergencias en diferentes campos y también se está procediendo a determinar en laboratorio las temperaturas base de otras especies estivales que se han encontrado de manera abundante en los campos pero que no se han analizado en este trabajo.

4. Conclusiones

Las emergencias de malas hierbas estivales en cultivos hortícolas, al ser irrigados, fue posible modelizarlas directamente a partir de la temperatura (grados termales) con funciones del tipo Gompertz y/o Weibull, aunque esta última presentó algún problema de convergencia para alguno de los datos. Con independencia del modelo, el número de días que transcurren desde el laboreo hasta que se observa el 50 y 90% de emergencia en el campo resulta ser de unos 45 y 65 días respectivamente. La validación satisfactoria de estos modelos en otros campos abre la posibilidad de su utilización por parte de técnicos y agricultores y contribuiría a mejorar la eficacia de la gestión de la flora adventicia de los cultivos hortícolas.

Referencias

BRADFORD KJ (2002) Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50, 248-260.

FORCELLA F, BENECH-ARNOLD RL, SÁNCHEZ R & GHERSA CM (2000) Modeling seedling emergence. *Field Crop Research*, 67, 123-139.

GRUNDY AC (2003) Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. *Weed Research*, 43, 1-11.

IZQUIERDO J, GALLART M & GALVE R (2011) Modelos hidrotermales de emergencia para *Echinochloa crus-galli* y *Digitaria sanguinalis* en maíz. XIII Congreso de la SEMh. La Laguna, 22-24 noviembre, 223-226.

IZQUIERDO J, BASTIDA F, LEZAÚN JM, SÁNCHEZ DEL ARCO MJ & GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL (2013) Development and evaluation of a model for predicting *Lolium rigidum* emergence in winter cereal crops in the Mediterranean area. *Weed Research*, 53, 269-278.

MASIN R, LODDO D, BENVENUTI S, ZUIN MC, MACCHIA M & ZANIN G (2010) Estimation of temperature and water potential thresholds for the main weed species in maize in North-central Italy. *Weed Science*, 58, 216-222.

SOUSA-ORTEGA C, ROYO-ESNAL A, LOUREIRO I, MARÍ AI, LEZAÚN JA, CORDERO F, SAAVEDRA M, PARAMIO JA & JL FERNÁNDEZ, TORRA J Y UBANO JM (2021) Modeling emergence of sterile oat (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*) under semiarid conditions. *Weed Science*, 69, 341-352.

O5. La enseñanza de la malherbología en grados y masters universitarios en España. Vamos de mal en peor

O5. The teaching of weed science in undergraduate and master's degree programs in Spain is going from bad to worse

RECASENS J^{1,2}, VILAPLANA D¹

¹Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, ETSEAFiV, Universitat de Lleida, Lleida, España; ²AGROTECNIO-CERCA Center, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29290

Email (por orden de autoría): jordi.recasens@udl.cat; duna.vilaplana@gmail.com

Se analiza la situación actual de la enseñanza de malherbología en grados y masters de universidades españolas. De los 32 centros que imparten el grado de Ingeniería Agraria solamente en 12 de ellos se incluyen asignaturas con contenidos en esa disciplina; y como asignatura con esa denominación se ofrece solo en cuatro universidades y como materia optativa. De los 20 masters habilitantes existentes de Ingeniero Agrónomo la docencia en malherbología está presente en solo 13 de ellos y de manera muy parcial o escasa. Solo hay tres masters -y un máster Erasmus Mundus- especializados en Sanidad Vegetal que, obviamente, incluyen formación en malherbología. Este escenario refleja una situación muy preocupante para poder formar profesionales que puedan gestionar los problemas actuales que causan las malas hierbas en nuestros cultivos.

Palabras clave: Formación especializada, sanidad vegetal, malas hierbas, cultivos.

This study analyzes the current state of weed science training in undergraduate and master's degree programs at Spanish universities. Of the 32 institutions offering Agricultural Engineering degrees, only 12 include courses in this discipline; it is offered as a dedicated course with that name at only four universities, and even then, only as an elective. Of the 20 existing Master's programs in Agricultural Engineering, weed science is taught in only 13, and even then, only partially or minimally. There are only three specialized Master's programs in Crop Protection that obviously include weed science training. This situation reflects a very worrying scenario for training professionals capable of managing the current problems caused by weeds in our crops.

Keywords: Specialized training, crop protection, weeds, crops.

1. Introducción

La enseñanza de la sanidad vegetal ha sufrido una profunda erosión en los últimos años en el ámbito universitario español. En una revisión reciente (Recasens, 2025) se expone una situación preocupante ante la limitada, escasa o incluso nula docencia en la especialidad de Sanidad Vegetal, en grados y masters. Esta compilación de información nos permite, ahora, analizar de manera específica la situación de la disciplina de malherbología. Para ello, se han visitado de nuevo las webs de las universidades que

imparten grados de ingeniería agraria que acreditan para el título de Ingeniero Técnico Agrícola, los grados en Enología y los masters, tanto los habilitantes de Ingeniero Agrónomo, como otros que focalizan su docencia en Sanidad Vegetal y temas afines.

2. Docencia en el grado de Ingeniería Agraria

En 2009 se publicó la Orden CIN/323/2009 (BOE, 2009a) que establece los requisitos para la verificación de los títulos que habilitan la profesión de Ingeniero Técnico Agrícola. En las competencias que deben adquirirse comunes a la rama agrícola describe el epígrafe: *Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principios de las bases de la producción vegetal, los sistemas de producción, protección y de explotación*. En las especialidades en Explotaciones Agropecuarias y Mecanización y Construcciones Rurales incluye: *Protección de Cultivos contra plagas y enfermedades*, epígrafe que no se detalla en la orientación de Hortofruticultura y Jardinería ni tampoco en la de Industrias Agrarias. Analizando estos epígrafes observamos que no se especifica en ningún lugar la necesidad de adquirir conocimientos en malherbología.

En España se imparten 34 grados de Ingeniería Agraria (con diferente denominación), en 32 campus distintos pertenecientes a 26 universidades públicas y a 3 centros privados (tabla 1). Para encontrar docencia en malherbología se ha hecho una búsqueda en el plan de estudios de cada centro y en los programas de asignaturas con la denominación de Malherbología, Protección de cultivos, Sanidad Vegetal, Protección Integrada, Control fitosanitario o similares. Estas asignaturas pueden ser obligatorias, optativas, o bien ser cualquiera de estas dos opciones exclusivamente en una mención o especialidad.

Solamente en 4 grados aparece la opción de cursar Malherbología como una asignatura propia y con esta denominación, pero en todos los casos como optativa: UPNA (3c), UPM (3c), UVa (3c) y US (6c). Por su parte, contenidos en malherbología aparecen en asignaturas obligatorias (Protección vegetal, Sanidad Vegetal, Protección de cultivos...) en 20 grados de 18 universidades, pero esos contenidos representan en el mejor de los casos el 33% de la carga docente de la asignatura y en algunos no llega a un 10%. En 12 grados, esos contenidos en malherbología se incluyen en asignaturas optativas, como complemento a otras obligatorias (9 casos) o exclusivamente como optativas (3 casos). En algunas de estas asignaturas, la inclusión de temas de malas hierbas se restringe a un breve comentario en la introducción del programa o a una sola práctica de laboratorio. Finalmente, en 7 grados no existe ninguna oferta de asignaturas que incluyan contenidos en malherbología.

Tabla 1. Carga docente (créditos obligatorios y optativos) de asignaturas de sanidad vegetal y de contenidos en malherbología en el Grado de Ingeniería Agraria en distintos centros universitarios españoles.

GRADO EN INGENIERIA AGRARIA					
Universidad y centro	Grado	Asignatura	Créditos	Contenidos mh Obliga. / Optat.	
Universidad de Almería (UAL)	Grado I.A.				
ETSI Almería	esp. M.C.R.	Mejora y Prot. Cult.	6	-	0,3
Universidad de Burgos (UBU)					
EPS Burgos	Grado I.A.M.R.		-	-	-

Universidad de Castilla - La Mancha (UCLM)					
ETSIA Albacete	Grado I.AA.	Prot. Cult.	6	0,4	-
ETSIA Ciudad Real	Grado I.AA.	Prot. Cult.	6	0,4	-
Universidad Católica Santa Teresa Ávila	Grado In.A.A.		-	-	-
Universidad de Córdoba (UCO)					
ETSIAM Córdoba	Grado I.A.M.R.		-	-	-
Universidad de Extremadura (UEX)	Grado I.H.J	Prot. Cult.	6	0,5	-
EIA Badajoz		Prot. Vegetal	6	-	2
Centro Sta. Ana Almendralejo (Adscrito UEX)	Grado In.AA.				
Universitat de Girona (UdG)					
EPS Girona	Grado I.AA.	Prot. Vegetal	6	1	-
	esp. E.A.	Prod. Int. y Ecol.	5	-	0,4
Universidad de Huelva (UHU)					
ETSI Huelva	Grado I.A.		-	-	-
Universitat de les Illes Balears (UIB)					
Fac. Ciències Mallorca	Grado I.A.M.R.	Patología Veg.	6	-	0,4
Universitat Jaume I (UJI)					
ETS Tec. i Ciències Exper. Castelló	Grado I.A.M.R.				
Universidad de La Laguna (ULL)					
ETSIA La Laguna	Grado I.A.M.R.	Protec. Cultivos	6	-	0,5
Universidad de La Rioja (UNIR)	Grado I.A.	Prot. Cultivos	6	1	
Fac. Ciencias, Est. Agr. e Inform. Logroño	esp. H.J	Ampl. Prot. Cult.	4,5	-	1,5
	esp. Viticult.	Protec. del Viñedo	4,5	-	0,3
Universidad de León (UNILEON)					
ESyTIA León	Grado I.A.	Mh, Plagas y Enfer.	4,5	2,3	-
Universidad de Lleida (UdL)	Grado I.A.A.				
ETSEAFIV Lleida	esp. Prod. Ag.	Protec. Veg.	9	3	-
	esp. H.J.	Protec. Veg.	9	3	-

Universidad Miguel Hernández (UMH)	Grado I.A.	Prot. Cult.	7,5	2	-
EPS Orihuela	Esp. Agroamb.	Prot. Veget. Integ.	4,5	1,5	-
Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)					
ETSIA Cartagena	Grado I.H.J.	Prot. Cultivos	6	0,5	-
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)	Grado I.A.	Protec. Cult.	6	1,4	
ESAB Castelldefels (Barcelona)		Ges. Plag. Enfer. Mh	6	-	0,5
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	Grado C.A. Bios,	Malherbología	3	-	3
ETSIAA y Bios. Madrid	Grado I.Aamb.	Ef. Am. Protec. Cult.	4	1,4	-
	Grado I.A.	Protección Vegetal	4	0,7	-
	esp. E.A.	Ampl. Protec. Veg.	4	1,33	-
	esp. H.J.	Ampl. Protec. Veg.	4	1,33	
Universitat Politècnica de València (UPV)	Grado I.A.M.R.	Protec. Cult.	4,5	1,2	-
ETSEA i Medi Natural València		Cont. Biol. Plag. Enf.	4,5	-	0,6
Universidad Pública de Navarra (UPNA)		Malherbología	3	-	3
ETSIA y Biociencias Pamplona	Grado I.A.M.R.	Bases Protec. Cult.	6	2	-
Universitat Rovira i Virgili (URV)					
Facultat Enologia Tarragona	Grado I.AA.	Protec. Cult.	3	1	-
Universidad de Salamanca (USAL)					
Fac. Ciencias Agrarias Salamanca	Grado I.A.			-	-
EPS Zamora	Grado I.AA.			-	-
Universidade de Santiago Compostela (USC)	Grado I.A.A.	Protec. Cult.	6	0,5	-
EPS Lugo		Uso Sost. Fitosanit.	3	-	0,5
Universidad de Sevilla (US)	Grado I.A.	Sanidad vegetal	6	2	-
ETSIA Sevilla		Malherbología	6	-	6

Universidad de Valladolid (UVa)					
ETSIA Palencia	Grado I.AA.	Fitopat. y Entomol.	6	0,2	-
		Malherbología	3	-	3
EUIA Soria	Grado I.A. y Energ.	Fitopat. y Entom.	6	0,6	-
INEA Valladolid (adscrita a UVa)	Grado I.A. y Amb.	Sanidad Vegetal	6	1,9	-
Universidade de Vigo (UVigo)					
Fac. Ciencias Ourense	Grado I.A.			-	-
Universidad de Zaragoza (UNIZAR)					
EPS Huesca	Grado I.A.M.R.	Protec. Cult.	6	-	0,8

Leyenda de grados: I.A. (Ing. Agraria = Ing. Agrícola), I.A.M.R. (Ing. Agraria y del Medio Rural = Ing. Agroalimentaria y Medio Rural), I.AA. (Ing. Agrícola y Agroalimentaria), In.A.A. (Ing. Industrias Agroalimentarias), I. Aamb (Ing. Agroambiental), I.Ex.Agr. (Ing. Explotaciones Agropecuarias), I. Hortof. (Ing. Explot. Hortofrutícolas). I.H.J. (Ing. Hortofruticultura y Jardinería), I.Cienc.Agr. (Ing. Ciencias Agrarias).

3. Docencia en el grado de Enología

El grado en Enología se imparte en siete universidades distintas (tabla 2). En todos ellos hay una asignatura obligatoria relacionada con la sanidad vegetal con diferente denominación. En cuatro universidades (UCA, UNIR, UVa y UCO) se imparten contenidos de malherbología en esas asignaturas. En la UCO hay una asignatura optativa con el nombre de malherbología (4c) que es a su vez optativa para la titulación del grado de Ingeniería Agraria.

Tabla 2. Carga docente de asignaturas de sanidad vegetal y de sus contenidos en Malherbología, en el grado en Enología de distintas universidades españolas.

GRADO EN ENOLOGÍA			
Universidad	Asignatura	Créditos	
		obligat.	optativos
Universidad Cádiz (UCA)			
Facultad Ciencias Cádiz	Téc. Vitiv. y Protección (6c)	0,6	-
Universidad Castilla - La Mancha (UCLM)			
ETSIA Ciudad Real	Protección del Viñedo (6c)	-	-
Universidad de Córdoba (UCO)			
ETSIA Córdoba	Malherbología (4c)	-	4

	Protec. Cultivo de la Vid (3c)	-	-
Universidad de Extremadura (UEX)			
Fac. Ciencia Badajoz	Plagas y Enfermedades (6c)	-	-
Universidad de la Rioja (UNIR)			
Fac Ciencias y Tecnología. Logroño	Protección Cultivos (6c)	2	-
	Protección del Viñedo (4,5c)	0,3	-
Universitat Rovira i Virgili (URV) Campus Tarragona	Patología Vitícola (3c)	-	-
Universidad de Valladolid (UVA)			
ETSIA Palencia	Protec. del Viñedo (6c)	2	-
	Fitopatología y Entom. (6c)		0,2

4. Docencia en masters

La orden CIN 325/2009 publicada en 2009 (BOE, 2009b), establece los requisitos para la verificación de los títulos que habilitan la profesión de Ingeniero Agrónomo y que debe estar acreditada a través del correspondiente título de máster. Entre las competencias mínimas que deben adquirirse en el plan de estudios, describe el epígrafe: *Sistemas integrados de Protección Vegetal*. De los 32 centros universitarios autorizados para impartir el grado de Ingeniería Agraria, en 24 de ellos se imparte también el máster habilitante de Ingeniería Agronómica. En el caso de Cataluña, ese máster es solo uno y se imparte de manera interuniversitaria entre la UdL, UPC, UdG y URV (tabla 3). De estos 24 masters en sólo 9 de ellos se imparten asignaturas de sanidad vegetal que incluyen contenidos en malherbiología, pero su carga docente representa entre un 10% y un 30% de la asignatura. Hay la excepción de la UPV que ofrece una asignatura optativa (6c) con la denominación de Malherbiología y la UdL-UdG que ofrece como optativa (9c), la malherbiología del máster de Sanidad Vegetal.

Por otra parte, tan solo dos universidades imparten masters específicos de Sanidad Vegetal (tabla 3): la UCO con 60c y la UdL (junto la UdG) de 90c. A su vez, la UPV ofrece un máster de 60c de Producción y Protección de Cultivos. Las asignaturas y contenidos en malherbiología están presentes en todos ellos, con un total de 4,2 créditos en la UCO, 3c en la UPV y 21c en la UdL. Esta misma universidad (UPV) ofrece un máster Erasmus Mundus con otras universidades europeas donde se imparte Weed Biology y Weed Science.

Tabla 3. Carga docente de asignaturas de sanidad vegetal y de sus contenidos en malherbiología en los masters habilitantes de Ingeniero Agrónomo, masters específicos de Sanidad Vegetal y otros masters afines, en las universidades españolas.

MASTER DE INGENIERO AGRÓNOMO			
Universidad	Asignaturas sanidad vegetal	Contenidos en mh	
		obligatorios	optativos
Univ. de Burgos	Uso Sost. Prod. Fitos (3c)	0,33	-
Univ. de Almería	Epidemiol. Control Enferm. (3c)	-	-

Univ. de Castilla la Mancha (Albacete) Univ. de Castilla la Mancha (C. Real)		-	-
Univ. Católica de Ávila	Control de Plagas y Enferm. (5c)	-	-
Univ. de Córdoba	Protección int. De Cultivos (6c)	0,9	-
Univ. de Extremadura (Badajoz)	Sist. Integ. Protec. Vegetal (5c)	1,4	-
Univ. de Girona (UdL, UdG, URV, UPC)	Sist. Prod. y Protec. Veg. (7c)	0,8*	-
Univ. de les Illes Balears		-	-
Univ. de La Rioja	Prot. Integrada de Cultivos (3c)	1	-
Univ. de León	Sist. Prod. Veg. (5c)	-	-
Univ. de Lleida (UdL, UdG, URV, UPC)	Sist. Prod. y Protec. Veg. (7c)	0,8*	-
	Malherbiología (màster SVPIC) (9c)		9
Univ. Miguel Hernández (Orihuela)		-	-
Univ. Politécnica de Cartagena	Gestion Int. Plagas (4c) Defensa Vegetal (4c)	-	-
Univ. Polit. Catalunya (UdL, UdG, URV, UPC)	Sist. Prod. y Protec. Veg. (7c)	0,8*	-
Univ. Politécnica de Madrid	Protección Vegetal (4c)	0,7**	-
Univ. Politécnica de València	Malherbiología (6c)	-	6
Univ. Pública de Navarra	Diseño Gest. Explot. Hortof. (12c)	-	-
Univ. Rovira y Virgili (UdL, UdG, URV, UPC)	Sist. Prod. y Protec. Veg. (7c)	0,8*	-
Univ. de Salamanca	Ampl. Fitopatología (3c)	-	-
Univ. Santiago Compostela (Lugo)	Sistemas Protec. Integrada (3c)	0,3	-
Univ. de Sevilla		-	-
Univ. de Valladolid (Palencia)	Protección Cultivos (4c)	-	-
Univ. de Zaragoza (Huesca)		-	-
MASTERS EN SANIDAD VEGETAL			
Univ. de Córdoba	Control Int. Malas Hierbas (4c)	4	
(Máster en Protección Vegetal 60c)	Pract. Protección Vegetal (4)	0,2	
Universitat de Lleida (UdL + UdG)	Bases Ecológ. Prot. Int. Cult. (6c)	2	
(Máster Sanid Veg. y Prot. Int. Cult. 90c)	Malherbiología	9	
	Programas de Prot. Int. Cult. (9c)	3	
	Recon. Plántulas Díasp. M.H. (3c)		3
	San. Veg. Apl. Agr. Ecol. (3c)		1
	Productos Fitosanitarios (9c)		3
Universitat Politècnica València (UPV)	Aspectos Avanzados en Malh. (3c)	3	

(Máster en Sanidad y Prod. Vegetal 60c)		
UPV- Gottingen- AgroParisTech-Padova	Weed Biology (4,5c)	4,5
(Máster Erasmus Mundus 120c)	Weed Science (6c)	6
OTROS MASTERS		
Univ. Pública Navarra + Univ País Vasco	Manejo m.h. e imp. Amb. (4,5c)	4,5
(Máster en Agrobiología Ambiental 60c)		
Univ. Politécnica de Madrid	Propied. y Acción Prod. Fitos. (4c)	0,8
(Máster en Tec. Agroam. Para Agric. Sos. 60c)	Prop. y acción de los herb. (4c)	0,8
	Manejo de Malas Hierbas (4c)	4

*Sólo para alumnos procedentes de las especialidades de Producción Agraria y Hortofuicultura y Jardinería.

** Se cursa en función de la especialidad de acceso.

Hay otros masters que incluyen docencia en malherbología como el de Tecnología Agroambiental para una Agricultura Sostenible de la UPM, o el máster en Agrobiología Ambiental de la UPNA-UPVasco, que incluyen ambos, una asignatura sobre Manejo de Malas Hierbas (tabla 3).

5. **Discusión y conclusiones**

Tras la revisión realizada en 1992 (Recasens y Taberner, 1992), la docencia en malherbología, en los grados de Ingeniería Agraria, ha sufrido una profunda erosión, especialmente tras la implantación del Plan Bolonia (Recasens, 2012). Tan solo tienen esta denominación, como optativas, cuatro asignaturas en sendas universidades. Dentro de las obligatorias, se incluye docencia en malherbología en 20 grados de 18 universidades, pero siempre con una carga docente muy escasa (<30%). Curiosamente sí aparece en asignaturas del grado de Enología en tres universidades. La situación en los masters habilitantes de Ingeniero Agrónomo es aún peor, dado que la docencia de contenidos en malherbología, o no se imparte o como mucho, representa un pequeño porcentaje (10% de promedio) de la carga docente de asignaturas de Protección de Cultivos o de Sanidad Vegetal. En estos masters habilitantes, se dan incluso casos de convalidación de asignaturas de producción y protección vegetal –incluyendo contenidos de malherbología– según la orientación del grado de acceso. La única situación esperanzadora la ofrecen los masters específicos de Sanidad Vegetal de la UCO, UPV y UdL (ésta junto UdG), pero los estudiantes tienden a dirigirse hacia el máster habilitante de Ingeniero Agrónomo, por las esperadas atribuciones colegiales, máster que, paradójicamente, no ofrece la formación en sanidad vegetal que debería esperarse. Ante las necesidades actuales por parte del sector de profesionales en sanidad vegetal, así como en el acceso a plazas de sanidad vegetal en la administración, se debería priorizar quienes tuviesen una sólida formación especializada en esas materias en su currículo académico que incluyera también malherbología, dando prioridad a quienes hayan cursado un máster especializado en sanidad vegetal, más allá de acreditar tener un grado o máster, por más habilitante que sea.

Referencias

BOE (2009a) Orden CIN/323/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Agrícola.

BOE (2009b) Orden CIN/325/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Agrónomo.

RECASENS J & TABERNER A (1992) La enseñanza de la malherbología en los planes de estudio de ingeniero agrónomo. Congreso 1992 Sociedad Española de Malherbología. Lleida, 39-42.

RECASENS J (2012) Necesidad de formación especializada en malherbología en los profesionales de la Sanidad Vegetal. Phytoma, 237, 30-33.

RECASENS J (2026) La enseñanza en Sanidad Vegetal en universidades españolas. Más debilidades que fortalezas. Phytoma, 376, 22-32.

P1. Cuatro hidroacolchados controlan las plantas arvenses de forma satisfactoria en azafrán

P1. Four hydromulches control weeds satisfactorily in saffron crop

CIRUJEDA A^{1,2}, SIMÓN LL³, SÁNCHEZ AM⁴, PUEYO J¹, PARDO G^{1,2}

¹Dep. de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, España; ²Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, CITA Universidad de Zaragoza, España; ³Instituto Técnico Agronómico Provincial, Diputación de Albacete, Albacete, España; ⁴Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (CIHEAM Zaragoza), España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29291

Email (por orden de autoría): acirujeda@aragon.es; lsj.itap@dipualba.es; sanchez.anamaria@gmail.com; jpueyo@aragon.es; gpardos@aragon.es

El azafrán (*Crocus sativus* L.) es un cultivo poco competitivo que requiere de un importante esfuerzo para su desherbado. El acolchado plástico no se adapta al cultivo porque las flores emergen cada año de un nuevo cormo y la brotación no se produce todos los años en el mismo punto. El hidroacolchado podría funcionar en esta situación, si modificando su composición y grosor se consigue una capa que sea atravesada por las flores y hojas, pero no por la mayoría de plantas arvenses. Durante 2022-24 se realizó un ensayo de campo en Pétrola (Albacete) para estudiar la capacidad de control de arvenses de cuatro hidroacolchados a base de túnicas de azafrán a dosis alta y a dosis baja, paja de trigo y cascarilla de arroz en comparación con testigos sin desherbar y con desherbado manual. En los primeros 203 días, periódicamente y de forma visual se estimó la cobertura del suelo por malas hierbas en cada parcela, por especie y el total. Se calculó la biomasa seca a los 528 días después de la aplicación. La cobertura de malas hierbas con cualquiera de los hidroacolchados fue menor que en el testigo sin desherbar, destacando el de cascarilla de arroz con una cobertura también menor que con desherbado manual. Únicamente *Avena fatua* L. fue capaz de superar el umbral de 5% de cobertura en los acolchados, los cuales resistieron la presión de especies dicotiledóneas. La biomasa seca arvense fue menos de la mitad en cualquiera de los acolchados que en el testigo.

Palabras clave: Acolchados biodegradables, malas hierbas, control físico.

Saffron (Crocus sativus) is a crop with low competitive capacity that requires an important effort for weeding. Plastic mulches are not suitable for this crop because flowers emerge each year from a new corm and sprouts do not emerge each year from the same point. The application of hydromulch could fit into this situation because modifying the composition and thickness it could be feasible to find a layer that once applied onto the soil can be pierced by the saffron flowers and leaves but not by most of the weeds. During 2022-24, a field trial was conducted in Pétrola (Albacete) to study the weed control capacity of 4 hydromulch formulations based on saffron tunics at high and low doses, wheat straw and rice husk; compared with non-weeded control and manual weeding. During the first 203 days, weed soil cover was periodically estimated by visual inspection in each plot, for each species separately and in total. Dry weed biomass was estimated 528 days after application. Weed soil cover with any of the hydromulches was lower than in the control without weeding. Hydromulch based on rice husk stood out as having even lower cover than with manual weeding. Only Avena fatua was able to exceed

5% cover threshold in all the hydromulches, which resisted the pressure of the forbs. Weed dry biomass was less than half that of the control in any of the mulch treatments.

Keywords: Biodegradable plots, weeds, physical weed management.

1. Introducción

El azafrán es una planta geófito de la familia Iridaceae que se cultiva de forma plurianual y se propaga vegetativamente mediante cormos. Su ciclo biológico tiene una marcada estacionalidad, con una fase de actividad en la que se inicia el crecimiento de la parte aérea al emerger uno o más brotes que contienen las hojas y las flores envueltas en los catáfilos. Esta brotación se produce gracias a las reservas disponibles en el cormo y a la aparición de raíces adventicias. Bajo las condiciones climáticas de la zona de estudio, la brotación y la floración tienen lugar en octubre-noviembre y el periodo vegetativo durará hasta abril-mayo abarcando el desarrollo de las hojas, el de los cormos de reemplazo y la senescencia de la planta. El cormo permanecerá en una fase de letargo (bajo tierra) desde mayo-junio hasta la siguiente brotación, sin mostrar cambios morfológicos ni crecimiento externo, aunque existan cambios fisiológicos internos y morfogenéticos (Molina *et al.*, 2005; López-Córcoles *et al.*, 2015). Durante este periodo de reposo, las plantas arvenses no compiten directamente con el azafrán, pero pueden ser reservorio de plagas y enfermedades y será necesario retirarlas antes de la brotación en otoño para poder llevar a cabo la recolección. Entre noviembre y mayo, la escasa competitividad y cobertura del suelo de las estrechas hojas, de entre 1,5 y 2,5 mm y de alrededor de 40-50 cm de longitud, dificultan el desherbado. Los métodos tradicionales de control de malas hierbas en las zonas de producción de azafrán son principalmente mediante escarda mecánica, pues la profundidad de enterrado de los cormos permite un laboreo superficial. Los agricultores usan una grada (raspón) y desherbados manuales. Estos métodos, aunque son eficaces y respetuosos con el medio ambiente, resultan costosos y requieren mucho tiempo y mano de obra (Cirujeda *et al.*, 2014). En Castilla-La Mancha, el Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP) en sus estudios sobre herbicidas aplicados al cultivo del azafrán indica el empleo en reposo vegetativo, entre junio y agosto, de glifosato 36% en preemergencia y cletodim 12% para el control de especies gramíneas. Durante el desarrollo vegetativo se suele aplicar primero un herbicida antigramíneo temprano y hacia finales de febrero, uno para hoja ancha (ITAP, 2013). Varios autores han resaltado la necesidad e importancia de estudiar métodos de control de malas hierbas menos costosos y más respetuosos con el medio ambiente para la sostenibilidad del cultivo del azafrán en distintas localizaciones (Acharya *et al.*, 2025; Gheshm *et al.*, 2024). El uso de acolchado no está extendido en este cultivo debido, entre otros factores, a los costes que supone su colocación y retirada y a la dificultad de prever los puntos de emergencia de los brotes. Un acolchado adecuado para el azafrán, además de respetuoso con el medio ambiente, debe tener una resistencia mecánica que permita la brotación pero que evite que las malas hierbas lo atraviesen.

Ensayos con hidroacolchados en otros cultivos han mostrado el potencial de este material cuya composición y grosor ofrecen múltiples opciones, con la ventaja de ser biodegradable y que no precisa de ser retirado, sino que se degrada paulatinamente (Yang *et al.*, 2020). En este trabajo, se ha planteado un ensayo de campo en azafrán en el que se han probado hidroacolchados con diferentes materiales para determinar su capacidad de control de las malas hierbas.

2. Material y métodos

Se ha llevado a cabo un ensayo en Pétrola (Albacete) en una parcela comercial de azafrán para estudiar la capacidad de control de plantas arvenses de diferentes formulaciones de hidroacolchados. Los cormos se plantaron el 21/09/2022 y el día siguiente se aplicaron de forma manual cuatro mezclas diferentes de hidroacolchado en base a: 1) tunicas de azafrán a dosis alta (TA) 2) tunicas de azafrán a dosis

baja (TB), 3) paja de trigo (PT), 4) cascarilla de arroz (CA), comparándose además con: 5) testigo sin desherbar y 6) desherbado manual. Las mezclas se realizaron en la propia finca inmediatamente antes de su aplicación; se usaron 833 g m⁻² para PT, y TB; 1250 g m⁻² para CA y 1388 g m⁻² para TA que se mezclaron con 835 g m⁻² de papel reciclado (Saica, El Burgo de Ebro, Zaragoza), 16 l m⁻² de agua, 1002 g m⁻² de yeso de secado rápido y 209,25 g m⁻² de fibra Kraft (Museo del Papel de Capellades, España) (Cirujeda *et al.*, 2024). Las tunicas de azafrán son estructuras fibrosas que recubren los cormos y que son separadas de los mismos cuando son preparados para una nueva plantación. Fueron proporcionados por un agricultor de la provincia de Teruel. Las parcelas midieron 2 m de longitud y 1 m de anchura abarcando 4 filas de cormos; las 4 repeticiones de cada tratamiento se distribuyeron aleatoriamente en un marco de 6 x 4 parcelas. La mitad de cada parcela fue utilizada para las evaluaciones de control de plantas arvenses.

Durante 203 días se ha estimado visualmente la cobertura del suelo por malas hierbas en seis momentos diferentes en cada parcela diferenciando por especies, estimando también el total; asimismo se estimó la biomasa seca de las plantas arvenses en junio de 2023 (a los 528 días después de acolchar).

Se comprobó la normalidad de la distribución de los datos y la homocedasticidad. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis ANOVA y separación de medias utilizando post hoc el test de Tukey. No fue posible transformar los datos de biomasa para cumplir estos requisitos, por lo que se analizaron mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis y el test post hoc Dunn. Los análisis se llevaron a cabo con el programa R versión 2.15.0 (R Core Development Team 2019).

3. Resultados y discusión

La cobertura del suelo por plantas arvenses fue incrementándose a lo largo del ensayo alcanzando valores cercanos al 60% en las parcelas sin desherbar y de desherbado manual (figura 1), mientras que alcanzó entre un 20 y 30% en las parcelas con los diferentes hidroacolchados al final del ensayo. La media en los seis momentos de evaluación fue significativamente superior para cobertura del suelo en las parcelas sin desherbar; las que tuvieron un control manual y tres de los hidroacolchados fueron similares, mientras que el hidroacolchado en base a CA fue el que menos cobertura media de arvenses presentó (figura 1).

En las parcelas testigo sin desherbar aparecieron seis especies arvenses con una cobertura superior al 5% en un tercio de los conteos (tabla 1). Estas especies fueron, en orden decreciente: *Avena fatua* L., *Diplotaxis erucoides* D.C., *Capsella bursa-pastoris* L., *Galium aparine* L., *Descurainia sophia* Webb. & Berthel y *Veronica persica* Poir. Solo *A. fatua* fue capaz de alcanzar coberturas superiores al 5% en todos los hidroacolchados. Aparte, en el acolchado basado en TA, en uno de los conteos *Sisymbrium irio* L. superó el 5% de cobertura. El resto de las especies dicotiledóneas fue bien controlado con cualquiera de los cuatro hidroacolchados.

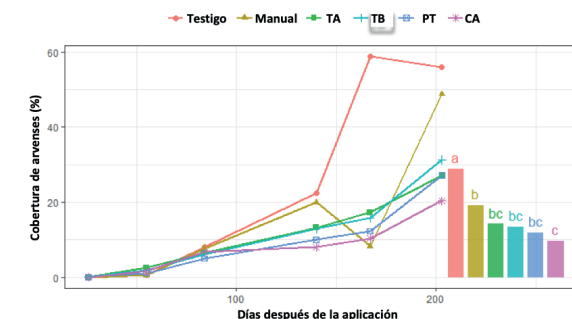


Figura 1. Cobertura de arvenses en cada una de las seis evaluaciones y media de las evaluaciones (%). Diferentes letras corresponden a diferencias significativas según el test Tukey con $P < 0.05$. TA: tunicas a dosis alta, TB: tunicas a dosis baja, PT: paja de trigo, CA: cascarilla de arroz.

Tabla 1. Porcentaje de cobertura de las especies arvenses que han registrado valores >5% en alguna fecha de evaluación. Proporción de fechas (formato fracción) en las que la cobertura media fue >5%.

ESPECIES	HIDROACOLCHADOS					
	Testigo	Manual	TA	TB	PT	CA
Avena fatua	11,0; 2/6	14,0; 2/6	12,9; 3/6	19,1; 4/6	17,2; 3/6	12,3; 4/6
Capsella bursa-pastoris	5,3; 2/6	-	-	-	-	-
Descurainia sophia	4,1; 2/6	-	-	-	-	-
Diploaxis erucoides	5,5; 2/6	-	-	-	-	-
Galium aparine	4,3; 2/6	-	-	-	-	-
Sisymbrium irio	-	-	17,5; 1/6	-	-	-
Veronica persica	4,1; 2/6	-	-	-	-	-

CA: cascarilla de arroz; PT: paja de trigo; TB: tunicas de azafrán dosis baja; TA: tunicas de azafrán dosis alta.

Los resultados muestran como la biomasa seca estimada en junio de 2023 a los 528 días después de la colocación de los hidroacolchados fue menos de la mitad en cualquiera de los acolchados comparado con el testigo, y mayor que en el desherbado manual, que se había escardado poco antes de la evaluación (figura 2).

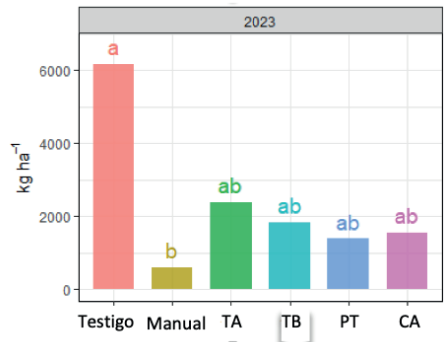


Figura 2. Biomasa seca (kg ha⁻¹) de las plantas arvenses. Diferentes letras se refieren a diferencias significativas según el test de Dunn. TA: tunicas a dosis alta, TB: tunicas a dosis baja, PT: paja de trigo, CA: cascarilla de arroz.

4. Conclusiones

En los primeros 203 días del ensayo los cuatro hidroacolchados fueron capaces de reducir la emergencia de la mayoría de las especies dicotiledóneas, pero no la de *A. fatua*. También fueron capaces de reducir la biomasa total de arvenses comparado con las parcelas sin desherbar. Es conveniente estudiar la duración de este efecto a lo largo de más campañas y conocer el posible efecto sobre la emergencia de las flores y hojas de azafrán antes de poder dar una recomendación práctica de su uso.

5. Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de José Antonio Esteban (Azafranes La Carrasca) por facilitarnos las tunicas de los cormos de azafrán. Agradecemos la colaboración de Vanesa Jiménez en la implantación y seguimiento del ensayo de campo. Los ensayos han sido financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto PID2020-113865RRC41.

Referencias

ACHARYA BS, GHALEHGOLABBEHBAHANI A, HAMIDO S, ZINATI G, BOZZOLO A, ARCHER L, WENDELBERGER K, DAS S, THAPA R & PANDAY D (2025) Saffron (*Crocus sativus* L.): The golden spice — management, challenges, and opportunities for sustainable production in the United States. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21, 101970.

CIRUJEDA A, MARÍ AI, AIBAR J, FENÁNDEZ-CAVADA S, PARDO G & ZARAGOZA C (2014) Experiments on Mechanical Weed Control in Saffron Crops in Spain. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 121, 223-228.

CIRUJEDA A, PUEYO J, MORENO MM, MORENO C, VILLENA J, LÓPEZ-MARÍN J, ROMERO-MUÑOZ M & PARDO G (2024) Weed control in perennial crops using hydromulch compositions based on the circular economy: field trial results. *Journal of Crop Health*, 76, 1101-1116.

GHESHM R & BROWN RN (2024) Summer Weed Management Strategies for Saffron Crocus in the Northeastern United States. *HortTechnology*, 34, 696-702.

ITAP (2013) El cultivo del azafrán en Castilla-La Mancha. Boletín 88. Disponible en http://www.itap.es/media/43952/bolet_n_088._azafr_n.pdf [Consultado el 12 mayo 2026].

LÓPEZ-CÓRCOLES H, BRASA-RAMOS A, MONTERO-GARCÍA F, ROMERO-VALVERDE M, MONTERO-RIQUELME F (2015) Short communication. Phenological growth stages of saffron plant (*Crocus sativus* L.) according to the BBCH Scale. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 13, e09SC01.

MOLINA RV, VALERO M, NAVARRO Y, GUARDIOLA JL, GARCÍA-LUIS A (2005) Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, 103, 361-379.

R CORE DEVELOPMENT TEAM (2019) R: a language and environment for statistical computing. R Core Development Team, Vienna.

YANG Y, LI P, JIAO J, YANG Z, LV M, LI Y, ZHOU C, WANG C, HE Z, LIU Y & SONG S (2020) Renewable sourced biodegradable mulches and their environment impact. *Scientia Horticulturae*, 268, 109375.

P2. Primer estudio de programas de gestión integrada de *Amaranthus palmeri* resistente a herbicidas en Europa

P2. First study of integrated management programs for herbicide-resistant *Amaranthus palmeri* in Europe

TORRA J¹, MONTULL JM¹, ROYO-ESNAL A¹, RECASENS J¹

¹Departamento de Ciencias Forestales y Agrícolas e Ingeniería, Universidad de Lleida- AGROTECNIO, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29292

Email (por orden de autoría): joel.torra@udl.cat; josemaria.montull@udl.cat; aritz.royo@udl.cat; jordi.recasens@udl.cat

Amaranthus palmeri es ya la principal amenaza de los cultivos de verano en el sur de Europa. Asimismo, esta mala hierba ha llegado a España del continente americano con resistencia a diversos herbicidas. Actualmente *A. palmeri* está en expansión en la Península Ibérica, y además de Aragón, Cataluña y Extremadura, se ha localizado recientemente en Castilla La Mancha, Navarra y Portugal. Ante esta realidad, resulta necesario conocer cuáles son los mejores programas de Gestión Integrada de Malas hierbas (GIMh) para el manejo de esta planta invasora a un horizonte de tres años adaptados a nuestras condiciones. En el marco de un proyecto del Plan Nacional de I+D+i que acaba de iniciar se pretenden estudiar en un campo de maíz de la provincia de Lleida, diversos programas de GIMh para *A. palmeri* con resistencia a herbicidas. El objetivo de este trabajo será presentar los datos del primer año de ensayo de campo. Las estrategias consideradas serán, además del control químico, la rotación de cultivos, los cultivos cubierta y el control mecánico. Se pondrá un foco especial en las estrategias híbridas, con estrategias químicas en la fila del cultivo y no químicas entre filas, con el objetivo final de reducir la presión de selección con herbicida, pero manteniendo eficacias. Dentro de las estrategias químicas se probarán mezclas de herbicidas con diferentes modos de acción, y se probarán posibles nuevos herbicidas para los cultivos considerados, como maíz o soja. Este ensayo, pionero en Europa, tendrá una duración de 3 años, y espera poder aportar soluciones a medio-largo plazo para los agricultores y técnicos en el manejo y prevención de resistencias a herbicidas en *A. palmeri*.

Palabras clave: Rotación de cultivos, control mecánico, cultivos cubierta, control químico.

Palmer amaranth (Amaranthus palmeri) is already the main threat to summer crops in southern Europe. This weed has also arrived in Spain from the Americas, developing resistance to various herbicides. Currently, A. palmeri is expanding across the Iberian Peninsula, and in addition to Aragón, Catalonia, and Extremadura, it has recently been found in Castile-La Mancha, Navarre, and Portugal. Given this situation, it is necessary to identify the best Integrated Weed Management (IWM) programs for managing this invasive plant over a three- to four-year period, adapted to our specific conditions. Within the framework of a newly launched National R&D&I Plan project, various IWM programs for A. palmeri will be studied in a corn field with a herbicide-resistant population in Lleida province. The objective of this work is to present the data from the first year of field trials. The strategies considered will include chemical control, crop rotation, cover crops, and mechanical control. Special emphasis will be placed on hybrid strategies, combining herbicides applied within the crop

row with non-chemical tactics applied between rows. The ultimate goal is to reduce herbicide selection pressure while maintaining efficacy. Within the chemical strategies, herbicide mixtures with different modes of action will be tested, along with potential new herbicides for the crops under consideration, such as maize and soybeans. This pioneering trial in Europe will last three to four years and aims to provide medium- to long-term solutions for farmers and technicians in managing and preventing herbicide resistance in *A. palmeri*.

Keywords: Crop rotation, mechanical control, cover crops, chemical control.

1. Introducción

La expansión de *Amaranthus palmeri* continúa en la Península Ibérica, y además de afectar a las comunidades autónomas de Aragón, Cataluña y Extremadura, se ha detectado también en la Comunidad Valenciana, Castilla la Mancha, Navarra, y también en Portugal. Además, las poblaciones resistentes a herbicidas son muy comunes en la mayoría de las comunidades autónomas (Loureiro *et al.*, 2025). Estos hallazgos son cruciales para predecir su futuro desarrollo e implementar programas efectivos de gestión integrada de malas hierbas (GIMh). No obstante, para reforzar y ampliar las recomendaciones disponibles, resulta necesario evaluar su eficacia en nuevos biotipos resistentes a herbicidas. Ello permitirá establecer estrategias de manejo químico adaptadas al tipo de resistencia presente en cada población. No obstante, para mitigar el riesgo de evolución de la resistencia, es obligatorio reducir la presión de selección de los herbicidas. La mejor manera de lograr este objetivo, y también la recomendación de la Directiva Europea 2009/128/CE, es diseñar e implementar programas de GIMh donde las estrategias no químicas desempeñen un papel fundamental. Para ello, es necesario probar y adaptar las estrategias actuales y nuevas a las condiciones locales donde *A. palmeri* prolifera, como las regiones mediterráneas de España.

La rotación de cultivos se reconoce como la mejor estrategia para el manejo de malas hierbas en general, y también de aquellas resistentes a herbicidas, gracias a la diversificación que proporciona (Vencill *et al.*, 2012). Sin embargo, la principal área de cultivo afectada en España por *A. palmeri* se encuentra bajo cultivos dobles de cebada y maíz o bajo monocultivo de maíz. Algunas rotaciones de cultivos, como la soja o el girasol, son de reciente introducción y aún necesitan una adaptación adecuada. Lo mismo se aplica a nuevas opciones de cultivo como la camelina, que tiene un ciclo de vida muy flexible y adaptable, permitiendo su siembra en primavera como cultivo de verano (Codina-Pascual *et al.*, 2025). Además, su utilidad para el manejo de malezas problemáticas resistentes a herbicidas ya ha sido demostrada (Codina-Pascual *et al.*, 2022). Asimismo, estos cultivos de dicotiledóneas en rotación, menos competitivos en comparación con los cultivos de gramíneas, podrían mejorar su capacidad de supresión de malezas al reducir el espaciamiento entre hileras, como se demostró en la soja para *A. palmeri* (McDonald *et al.*, 2021).

Los cultivos cubierta pueden ser útiles en sistemas de manejo de malezas y ejercer presión competitiva sobre ellas a lo largo de su ciclo de vida. Además, pueden reducir la emergencia de plantas de hoja ancha con semillas pequeñas de tamaño similar a *A. palmeri* (Teasdale & Mohler, 2000). El impedimento físico y la menor disponibilidad de luz que imponen los cultivos cubierta son factores importantes que influyen en el establecimiento de especies de *Amaranthus* (Hoffman & Regnier, 2006) y, en combinación con herbicidas, mejoran la supresión de *A. palmeri* y minimizan la presión de selección de los herbicidas.

La aplicación de herbicidas en la hilera y el control mecánico entre hileras son estrategias complementarias que pueden reducir eficazmente el uso de herbicidas, manteniendo un control óptimo de malas hierbas. Los herbicidas se aplican en bandas estrechas directamente sobre las hileras de cultivo, dirigién-

dose a las malas hierbas en las inmediaciones de las plantas, como el maíz (Loddo *et al.*, 2020). Este enfoque específico reduce significativamente la cantidad total de herbicida utilizada en comparación con la aplicación convencional. Simultáneamente, se emplea el control mecánico entre hileras del cultivo para eliminar las malas hierbas. Esta combinación permite su supresión eficiente en todo el campo, minimizando el uso de insumos químicos (Perez-Ruiz *et al.*, 2013).

2. Presentación del ensayo

Durante el verano y otoño de 2025 se escogió un campo dónde se viene cultivando maíz más de 10 años con una importante infestación de *A. palmeri*. El campo pertenece a uno de los primeros agricultores de España afectados por esta especie invasora. Se tienen sospechas claras que es una población resistente a herbicidas, con la presencia de mecanismos no ligados a las dianas herbicidas (Joel Torra, comunicación personal). Este campo está ubicado en la localidad de Vilanova de Segrià, en la provincia de Lleida, y tiene un sistema de riego por aspersión, con un tamaño aproximado de una hectárea. Es un campo donde habitualmente se realiza doble cultivo con la siembra de cereal de invierno en otoño, seguido de un maíz de segunda, sembrado tras la cosecha del cereal, normalmente en junio.

2.1 Diseño experimental

En esta parcela se instalará un ensayo con diversos programas de GIMh para *A. palmeri*, sobre todo con la idea de reducir la presión de selección herbicida y evitar o ralentizar la aparición de resistencias.

Los programas de GIMh considerados serán:

- 1.- año 1: maíz con aplicación herbicida en preemergencia; año 2: ídem; año 3: ídem.
- 2.- año 1: soja con espaciado entre filas de 35 cm y aplicación herbicida en preemergencia; año 2: maíz con aplicación herbicida en preemergencia; año 3: maíz con aplicación herbicida en preemergencia.
- 3.- año 1: camelina con aplicación herbicida en preemergencia; año 2: maíz con aplicación herbicida en preemergencia; año 3: maíz con aplicación herbicida en preemergencia.
- 4.- año 1: maíz con aplicación herbicida en preemergencia en la fila del cultivo y control mecánico entre las filas; año 2: ídem; año 3: ídem.
- 5.- año 1: maíz con aplicación herbicida en preemergencia en la fila del cultivo y cultivo cubierta (cebada) entre las filas; año 2: ídem; año 3: ídem.

El ensayo tendrá una duración de tres campañas, desde la 2026/27 a la 2028/2029. Esta primera campaña todos los cultivos sembrados serán de segundo cultivo, detrás de una cebada de ciclo corto.

El diseño experimental será de tres bloques completamente aleatorizados. Las parcelas elementales tendrán una superficie de 90 m², 6 m de ancho por 15 m de largo, adaptadas a las anchuras de la maquinaria agrícola disponible.

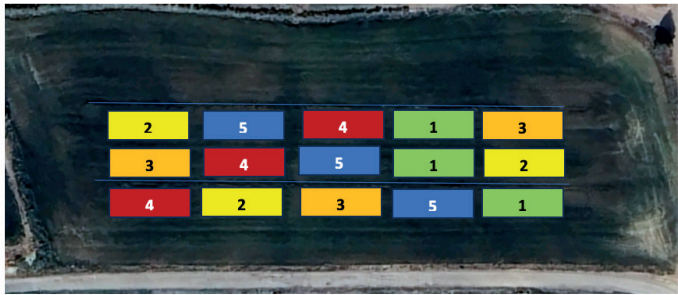


Figura 1. Disposición de las parcelas elementales de 6 x 15 m (rectángulos azules) en el campo de maíz con infestación de *Amaranthus palmeri*. Los números indican los programas de GIMh descritos anteriormente. Las dos líneas azules marcan la ubicación de los aspersores.

3. Discusión y enfoque del ensayo

Para empezar el ensayo, se pidió al agricultor sembrar cebada tras la cosecha del maíz, con la intención de, además de hacer el doble cultivo, convertirla en un cultivo cubierta en uno de los programas de GIMh. Una vez haya empezado el ensayo de campo, y se hayan establecido todas las tesis con los tratamientos correspondientes, habrá que valorar si algunos de los programas de GIMh necesitará algún método de control adicional para controlar *A. palmeri*, como p.e. añadir un herbicida en postemergencia en aquellos tratamientos en preemergencia, o entre las filas del maíz con control mecánico o cultivo cubierta. Se espera que superados los posibles inconvenientes, la evolución del ensayo sea la esperada, y se puedan aportar los primeros datos de los niveles de infestación de *A. palmeri* según el programa de GIMh implementado para la primera campaña de este ensayo.

Ya se ha constatado la presencia de poblaciones de *A. palmeri* con resistencia múltiple a diversos modos de acción herbicida. Dentro del marco de una tesis doctoral, ya se caracterizado la primera población europea con resistencia a cuatro modos de acción herbicida diferentes: inhibidores de la HPPD, inhibidores de la ALS, inhibidores de la síntesis de ácidos grasos de cadena larga, y a auxinas sintéticas (Joel Torra, comunicación personal). Además, estas poblaciones albergan tanto mecanismos ligados a la diana como mecanismos no ligados a la diana herbicida. Para estos últimos, ya hay datos preliminares que indican la presencia de metabolismo aumentado como el principal mecanismo no ligado a la diana. Este mecanismo de resistencia es muy peligroso porque puede dar resistencia cruzada a cualquier herbicida. Es, ante este escenario, que se ha planteado el primer ensayo de GIMh para *A. palmeri* en Europa para un horizonte de 3 años, con el objetivo de encontrar programas de control integrado que además de reducir la presión de selección con herbicidas, sean capaces de controlar esta mala hierba invasora.

4. Agradecimientos

Proyecto PID2024-155831OB-C22 financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

Referencias

CODINA-PASCUAL N, CANTERO-MARTÍNEZ C, ROMERO-FABREGAT MP, *et al.* (2025) Growth conditions but not the variety, affect the yield, seed oil and meal protein of camelina under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 162, 1161-0301.

CODINA-PASCUAL N, TORRA J, BARAIBAR B & ROYO-ESNAL A (2022) Weed suppression capacity of camelina (*Camelina sativa*) against winter weeds: The example of corn-poppy (*Papaver rhoeas*). *Industrial Crops and Products*, 184, 115063.

HOFFMAN ML & REGNIER EE (2006) Contributions to Weed Suppression from Cover Crops. In *Sustainable Weed Management*; SINGH P, BATISH DR, KOHLI RK, Eds.; Food Products Press: New York, NY, USA, 51-75.

LODDO D, SCARABEL L, SATTIN M, *et al.* (2020) Combination of herbicide band application and inter-row cultivation provides sustainable weed control in maize. *Agronomy*, 10, 20.

LOUREIRO I, ARIAS-MARTIN M, ESCORIAL MC, TORRA J & RECASENS J (2025) *Amaranthus palmeri* S. Watson, una amenaza emergente para los cultivos de verano en Castilla y León. *Tierras de Castilla y León*, 345, 34-39.

MCDONALD ST, STRIEGEL A, CHAHAL PS, *et al.* (2021) Effect of row spacing and herbicide programs for control of glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in dicamba/glyphosate-resistant soybean. *Weed Technology*, 35, 790-801.

PEREZ-RUIZ M, CARBALLIDO J, AGÜERA J & RODRÍGUEZ-LIZANA A (2013) Development and evaluation of a combined cultivator and band sprayer with a row-centering RTK-GPS guidance system. *Sensors*, 13, 3313-3330.

TEASDALE JR & MOHLER CL (2000) The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Science*, 48, 385-392.

VENCILL WK, NICHOLS RL, WEBSTER TM, *et al.* (2012) Herbicide resistance: Toward an understanding of resistance development and the impact of herbicide-resistant crops. *Weed Science*, 60, 2-30.

P3. Uso de lana como acolchado para el control de flora arvense en cultivos leñosos

P3. Use of wool as mulch for weed control in woody crops

PARDO G^{1,2}, PUEYO J¹, ABRIL B^{2,3}, LAZARO D⁴, CIRUJEDA A^{1,2}

¹Dep. de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, España; ²Instituto Agroalimentario de Aragón-IA2, CITA Universidad de Zaragoza, España; ³Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Teruel, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29293

Email (por orden de autoría): gpardos@aragon.es; jpueyo@aragon.es; babril@cita-aragon.es; dlazaro@cpifpmovera.es; acirujeda@aragon.es

La lana de oveja, antaño un ingreso importante para el ganadero, se considera hoy un simple residuo. El reto actual es encontrarle salida y revalorización. Un posible uso sería como acolchado para controlar arvenses en plantaciones de leñosos. En este sentido, se implantaron dos ensayos en 2025, uno en olivo en secano y otro en almendro con riego por goteo en Alcañiz (Teruel). En ambos cultivos, los tratamientos ensayados fueron: 1) testigo sin acolchar, 2) acolchado con lana, 3) acolchado con lana y rociado con hidrolato de lavanda, 4) acolchado con lana y colocación de hidroacolchado encima. En el olivo hubo 9 repeticiones (árboles) por tratamiento y los tratamientos con lana, cubriendo con ésta 3 m² alrededor del tronco y en almendro hubo 6 repeticiones (árboles) con la lana dispuesta en hilera de 1,5 m de ancho en toda la línea. El espesor de lana aplicado fue de 20 cm, unos 9 kg/m². En el cultivo de almendro se evaluó la cobertura de arvenses a los 13, 55 y 141 días después de la aplicación de la lana (DDA), 29 de mayo, y en el olivo las 2 últimas fechas. En almendro a los 141 DDA la cobertura media de arvenses de los tres tratamientos con lana fue de 4%, sin diferencias estadísticas ellos frente al 51% en el testigo (90% control). En olivo en esa misma fecha la cobertura media de los tres tratamientos de lana fue solo del 1,3%, también sin diferencias entre ellos. Las especies con mayor facilidad para atravesar la capa de lana fueron *Convolvulus arvensis* y *Cynodon dactylon*. Por tanto, se concluye que la lana aplicada en la cantidad de este ensayo ejerce un control satisfactorio de las malas hierbas hasta la fecha, sin que el añadido de hidrolato o de hidroacolchado supusiese una mejora adicional.

Palabras clave: Hidroacolchado, hidromulch, acolchado biodegradable, hidrolato, malas hierbas.

Sheep wool, once a significant source of income for livestock farmers, is nowadays considered a mere waste product. The current challenge is to find viable outlets and ways to upcycle it. One potential use is as mulch for weed control in woody crops. For this purpose, two trials were established in 2025 in Alcañiz (Teruel): one in a rainfed olive grove and another in a drip-irrigated almond orchard. In both crops, the tested treatments were: 1) non-mulched control, 2) wool mulch, 3) wool mulch moistened with lavender hydrolate, and 4) wool mulch covered with hydromulch. In the olive trial, 9 replicates (trees) were established per treatment, with wool covering 3 m² around the trunk. In the almond trial, there were 6 replicates (trees), with wool applied in a 1.5 m wide strip along the entire row. The applied wool thickness was 20 cm, approximately 9 kg/m². Weed cover was evaluated in the almond orchard at 13, 55, and 141 days after application (DAA) —starting May 29th— and in the olive grove on the last two dates. In the almond trial at 141 DAA, the average weed cover for the three

wool treatments was 4% (with no statistical differences between them), compared to 51% in the control (90% efficacy). On the same date in the olive grove the average cover for the three wool treatments was only 1.3%, also without differences between them. The species most capable of penetrating the wool layer were *Convolvulus arvensis* and *Cynodon dactylon*. Therefore, it is concluded that wool applied in the amounts used in these trials provides satisfactory weed control to date, and the addition of hydrolate or hydromulch did not offer any further improvement.

Keywords: Hydromulch, biodegradable mulch, hydrolate, weeds.

1. Introducción

Desde hace muchos años la lana de oveja viene perdiendo valor en el mercado, hasta tal punto que en los últimos tiempos los ganaderos no encuentran una salida comercial para ella, considerándola un residuo del que desprenderse (Marcos *et al.*, 2018). Una vía de aprovechamiento de la lana autorizada en Aragón es su mezcla con estiércol para aplicación posterior al suelo, siempre que ambos subproductos se generen en la misma explotación y se apliquen en terreno aragonés (Gobierno de Aragón, 2025). Otro posible uso para la agricultura sería como acolchado que sirviera de barrera a las malas hierbas en determinados cultivos, siendo su aplicación más factible en hortícolas o leñosos. Además de aportar lentamente algunos nutrientes y reducir la emergencia de arvenses, la lana de oveja perdura más en el suelo que otros acolchados orgánicos, y su efecto protector puede prolongarse hasta dos años dependiendo del espesor aplicado (Sharma *et al.*, 2019).

Por otra parte, como se conoce la eficacia de los hidroacolchados en el control de malas hierbas en los mismos tipos de cultivo (Cirujeda *et al.*, 2024), se puede plantear la hipótesis de que la aplicación de una capa de hidroacolchado sobre la lana, podría potenciar la capacidad supresora sobre las malas hierbas. Finalmente, también se sabe del potencial alelopático de los hidrolatos de plantas aromáticas, los cuales ejercen un efecto inhibitorio o retardante sobre la germinación y el desarrollo de las arvenses (Navarro *et al.*, 2024). Por ello, su rociado sobre la lana podría aportar un control adicional al efecto de barrera física del acolchado.

En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de lana como acolchado en dos cultivos leñosos y su efecto supresor sobre arvenses, aplicada sola, rociada con hidrolato de lavanda o colocando sobre ella una capa de hidroacolchado.

2. Material y métodos

2.1 Descripción de los ensayos y tratamientos aplicados

Los ensayos se desarrollaron en campos de Alcañiz (Teruel) donde la pluviometría anual es muy escasa e irregular (unos 380 mm y 14,3°C, de media en los últimos 20 años). Un ensayo se implantó en olivos de secano de 4 años y medio de edad y el otro en un campo de almendros de medio año en riego por goteo.

En ambos ensayos, el 29 de mayo de 2025, y sobre suelo limpio de malas hierbas se aplicaron los siguientes tratamientos: 1) testigo sin acolchar con desherbado mecánico periódico, 2) acolchado con lana sola, 3) acolchado con lana y rociado con hidrolato de lavanda, 4) acolchado con lana y encima colocación de hidroacolchado. Hubo 9 repeticiones (árboles) por tratamiento en olivo y 6 en almendro.

En los dos ensayos y en los tratamientos con lana, esta se aplicó a razón de 9 kg/m² y equivalente a un espesor aproximado de 20 cm, pero de distinta manera: en olivo se aplicó 3 m² de lana alrededor del tronco mientras que en almendro se aplicó una hilera de 1,5 m de ancho en toda la línea.

El hidroacolchado se aplicó en los dos cultivos en una superficie de 3 m² alrededor del tronco de los árboles sobre la lana anteriormente extendida. La composición del hidroacolchado fue, por m², de 833 g de paja de trigo picada, de 835 g de papel, 1 kg de yeso y 16,7 l de agua. Todos sus componentes fueron mezclados mediante una batidora industrial momentos antes de su colocación sobre la lana.

El hidrolato de lavanda (*Lavandula angustifolia*), caracterizado por un alto contenido en monoterpenos oxigenados como 1,8-cineol, linalool, linalool furanóxido y α-terpineol (Silha *et al.*, 2020) se aplicó sobre la lana en una cantidad total de 3 litros/árbol (1 l/m²).

2.2 Toma de datos y análisis estadístico

En el cultivo de almendro se evaluó la cobertura de arvenses a los 13, 55 y 141 días después de la aplicación de la lana (DDA), 29 de mayo, y en el olivo las 2 últimas fechas. En olivo las principales especies observadas en el testigo antes de desherbar fueron *Convolvulus arvensis* y *Cynodon dactylon* y, en menor presencia, *Diplotaxis erucoides* y *Sonchus tenerrimus*, entre otras. En almendro destacaron, en el testigo *Conyza* spp., *C. dactylon*, *Solanum nigrum* y *S. tenerrimus*. Al no alcanzarse los requisitos de normalidad de los datos y homogeneidad de las varianzas, a pesar de probar con varias transformaciones, el análisis se realizó a través de la prueba de Kruskal-Wallis en cada una de las fechas de muestreo (13, 55 y 141 DDA). En los casos donde se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) se procedió a realizar comparaciones múltiples mediante el test de post-hoc de Dunn. Todos los análisis se realizaron con el software R versión 4.3.2 (R Core Team, 2023), utilizando las librerías *FSA* y *multcompView*.

3. Resultados y discusión

Los resultados de la evolución de la cobertura de malas hierbas en el cultivo de olivo (figura 1) y almendro (figura 2) muestran, con matices, una tendencia muy similar. En cualquier cultivo y muestreo hay diferencias significativas entre todos los tratamientos que incluyen lana y el testigo antes de ser labrado, pero no las hay, en ningún caso, entre los distintos tipos de acolchados. El control general osciló entre el 56 y 89% a los 55 DDA en olivo (no se pudo evaluar a los 141 DDA, pues el agricultor había labrado los árboles testigo) y entre el 88 y el 96% en almendro a los 141 DDA.

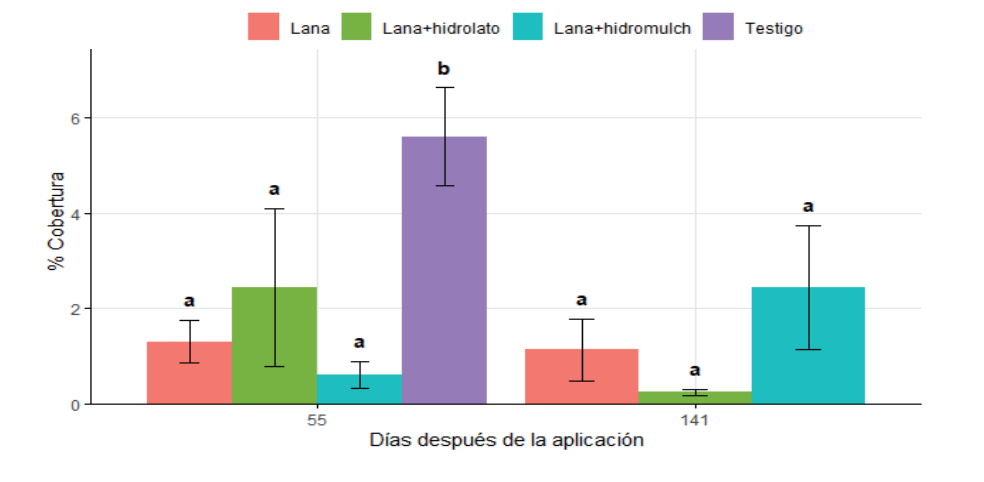


Figura 1. Cobertura del suelo por las malas hierbas en cultivo de olivo de los distintos tratamientos en distintas fechas. En cada fecha, barras con letras distintas difieren significativamente en el test de Dunn ($p < 0.05$).

Por tanto, el hecho de añadir hidroacolchado o hidrolato de lavanda no tiene un efecto supresor adicional significativo frente a las arvenses. En el caso del hidroacolchado resulta difícil colocar una capa continua sobre la lana y ello dificulta conseguir ese efecto de barrera adicional que teóricamente debería lograrse. Cabe preguntarse si se hubiera procedido a la inversa, es decir colocar el hidroacolchado primero, sobre el suelo, donde es más fácil conseguir una lámina continua y la lana sobre él, se hubiera conseguido ese control adicional. En el caso del hidrolato pudo ocurrir que la cantidad aplicada no atravesara la capa de lana o simplemente que en condiciones de campo es más difícil conseguir esa eficacia que se logra en condiciones controladas, en invernadero (Navarro *et al.*, 2024).

En cuanto a los cultivos hay que decir que el almendro (figura 2), que se gestiona en regadío, mostró, como era de esperar, una infestación mucho más severa (50-55 % de cobertura de malas hierbas en el testigo), que el olivo (figura 1) en secano (con una cobertura de solo un 6 %) a los 55 días de la colocación de los acolchados. Las escasas precipitaciones, sobre todo estivales, permiten poco desarrollo de la vegetación en periodo veraniego y en secano.

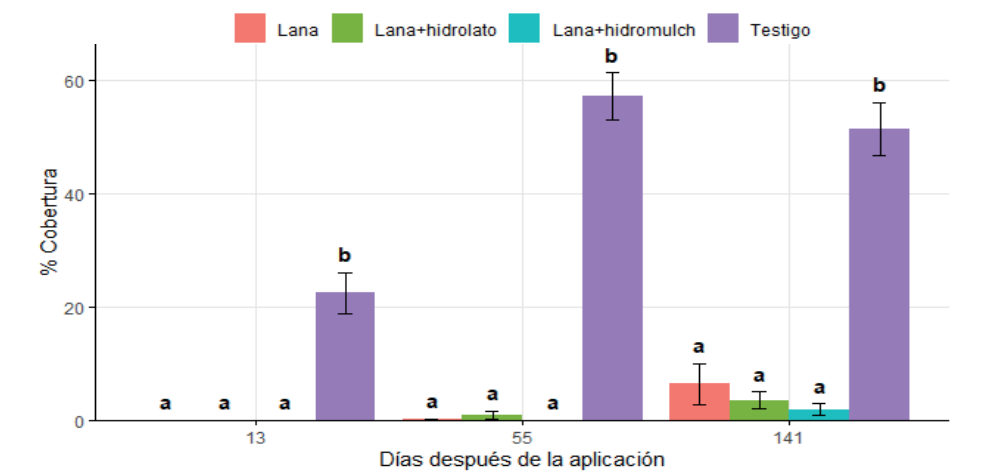


Figura 2. Cobertura del suelo por las malas hierbas en cultivo de almendro de los distintos tratamientos en distintas fechas. En cada fecha, barras con letras distintas difieren significativamente en el test de Dunn ($p<0.05$).

En ambos cultivos, la especie más difícil de controlar con la lana fue, con diferencia, *C. arvensis* tanto en olivo (tabla 1) como en almendro (tabla 2). En este último cultivo la correhuela llegó a presentar mayor cobertura en dos de los acolchados que en el testigo, donde había competencia por otras especies anuales, sobre todo con *Conyza* spp., que se controló muy bien con cualquiera de los acolchados. Otra especie perenne, *C. dactylon*, aunque con mucha menos presencia, también atravesó alguno de los acolchados, aunque en almendro hubo bastante buen control. De las anuales, en olivo solo *Hordeum murinum* consiguió atravesar los acolchados de manera muy ocasional. En almendro y en regadío además de las ya mencionadas plurianuales, *Polygonum aviculare* fue la única especie capaz de atravesar la lana con una cobertura superior al 1% (y no representada en las parcelas testigo). También aparecieron de manera aleatoria y testimonial atravesando algún tipo de acolchado ejemplares de *Sonchus tenerrimus* y de *Conyza* spp. Hubo otras especies anuales, *Bromus* spp., *Lolium rigidum*, etc. con muy escasa cobertura en cualquier tratamiento.

Tabla 1. Cobertura de suelo (%) de distintas especies de malas hierbas según tratamiento a los 55 días de la colocación de los acolchados (23 de julio de 2025) en cultivo de olivo.

ESPECIE/TRATAMIENTO	LANA	LANA+HIDROLATO	LANA+HIDROMULCH	TESTIGO
Convolvulus arvensis	1,2	0,3	0,5	3,1
Cynodon dactylon	0,0	2,1	0,0	0,4
Sonchus tenerrimus	0,0	0,0	0,0	0,3
Diploaxis erucoides	0,0	0,0	0,0	1,5
Hordeum murinum	0,2	0,1	0,0	0,0
Lolium rigidum	0,0	0,0	0,0	0,2

Se muestran todas las especies encontradas

Tabla 2. Cobertura de suelo (%) de distintas especies de malas hierbas según tratamiento a los 55 días de la colocación de los acolchados (23 de julio de 2025) en cultivo de almendro.

ESPECIE/TRATAMIENTO	LANA	LANA+HIDROLATO	LANA+HIDROMULCH	TESTIGO
Convolvulus arvensis	4,42	3,5	0,17	1,8
Cynodon dactylon	0	0	0,28	3,7
Conyza spp.	0	0	0,83	26,5
Solanum nigrum	0	0	0	7,9
Sonchus tenerrimus	0	0	0,28	3,0
Anacyclus clavatus	0	0	0	1,1
Chamaecybe reptans	0	0	0	1,0
Vicia peregrina	0	0	0	2,6
Polygonum aviculare	2	0	0	0,0

Solo se muestran especies que en algún tratamiento alcanzan $\geq 1\%$ de cobertura

4. Conclusiones

El acolchado de lana de unos 20 cm de espesor ejerce un control satisfactorio de malas hierbas tanto en olivo en secano, como en almendro en riego por goteo, sobre todo para especies anuales. Como se esperaba, especies plurianuales como *Convolvulus arvensis* y *Cynodon dactylon* presentan más dificultad para su control. La colocación de una capa de hidroacolchado sobre la lana o el rociado con hidrolato de lavanda no consigue en este período de tiempo una eficacia añadida.

5. Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto P26_065_FIT. “ENlanaTE- Desarrollo de Estrategias Novedosas y sostenibles para la revalorización de la lana de oveja en la provincia de Teruel”. Agradecemos a Juliana

Navarro la cesión de los hidrolatos, a Santiago Lorenzo y Sergio Serrano realizar los ensayos en sus fincas y a Raúl Ferrer la colocación de la lana.

Referencias

CIRUJEDA A, PUEYO J, MORENO M M, MORENO C, VILLENA J, LÓPEZ-MARÍN J, ROMERO-MUÑOZ M & PARDO G (2024) Weed control in perennial crops using hydromulch compositions based on the circular economy: field trial results. *Journal of Crop Health*, 76, 1101-1116.

GOBIERNO DE ARAGÓN (2025) Resolución de la Directora General de Calidad y Seguridad Alimentaria, por la que se autoriza la mezcla de lana con estiércol para su aplicación al terreno. *Boletín Oficial de Aragón*, 24 de febrero 2025.

MARCOS L, BRIZ ESCRIBANO J & KÖHLER S (2018) Analysis of the value chain of sheep wool in Spain and its possible use in greenhouse crops. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, 4, 109-116.

NAVARRO J, GIMENO D, PUEYO J, VILLAR MP, PARDO G & CIRUJEDA A (2024) Uso de hidrolatos de plantas aromáticas para el control de cuatro especies de malas hierbas. *Revista de Ciencias Agrarias*, 47, 128-132.

R CORE TEAM (2023) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: r-project.org.

SHARMA SC, SAHOO A & CHAND, R (2019) Potential use of waste wool in agriculture: An overview. *Indian Journal of Small Ruminants*, 25, 1-12.

ŠILHA D, ŠVARCOVÁ K, BAJER T, KRÁLOVEC K, TESAŘOVÁ E, MOUČKOVÁ K, PEJCHALOVÁ M & BAJEROVÁ P (2020). Chemical composition of natural hydrolates and their antimicrobial activity on *Arcobacter*-like cells in comparison with other microorganisms. *Molecules*, 25, 5654.

P4. Caracterización de la flora arvense de un agroecosistema cerealista de secano con diferentes estrategias de diversificación y biofertilización

P4. Initial characterization of weed flora in rainfed cereal agroecosystems with different diversification and biofertilization strategies

RIBES-BARGUES M^{1,2}, AGUADO P², NIETO-TALADRIZ MT¹, SANTÍN-MONTANYÁ MI¹

¹ Departamento de Medio Ambiente y Agronomía, INIA-CSIC, Madrid, España; ² ETSIAAB-Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29294

Email (por orden de autoría): marta.ribes@inia.csic.es; pl.aguado@upm.es; mtnieto@inia.csic.es; isantin@inia.csic.es

Los factores antropogénicos desempeñan un papel decisivo en la configuración de las comunidades de malas hierbas de los sistemas agrícolas. El agricultor, a través de la elección de cultivos, rotaciones, prácticas de laboreo, fertilización y métodos de control, actúa como uno de los agentes clave de dicha configuración. Como consecuencia, la comunidad de malas hierbas evoluciona continuamente en respuesta a estas prácticas. En el contexto de la agricultura de conservación, la intensificación multifuncional del agroecosistema se plantea como una estrategia eficaz para afrontar los retos de la agricultura sostenible y del actual sistema agroalimentario. Para ello, promueve la aplicación integrada de técnicas agrícolas orientadas a incrementar la productividad minimizando los efectos negativos sobre la biodiversidad. El objetivo general del proyecto BioCest, en el que se enmarca este estudio, es mejorar el conocimiento sobre la selección de prácticas y metodologías que incrementen la funcionalidad de los agroecosistemas cerealistas, mediante estrategias de diversificación de cultivos y manejo de la fertilización, con el fin de optimizar la producción y calidad del trigo en condiciones de secano. Asimismo, se pretende generar información que contribuya a reforzar la productividad del cultivo garantizando la sostenibilidad de la actividad agraria con el menor impacto agroambiental. En esta comunicación se presentan los resultados correspondientes al primer año del proyecto de investigación BioCest. Se determinó la abundancia, riqueza específica y los índices de diversidad de la comunidad de malas hierbas en dos ensayos de campo. En uno se evalúa la respuesta de las comunidades a tres estrategias de diversificación de cultivos y usos en rotación (incluyendo intercultivo trigo-garbanzo y cártamo). En el otro se comparan diferentes estrategias de fertilización: mineral estándar y distintas combinaciones con biofertilización. Los resultados del primer año del ensayo no mostraron un predominio de unas especies de malas hierbas sobre otras, excepto en el garbanzo. La fertilización íntegramente biológica en trigo y cebada favoreció la diversidad de malas hierbas.

Palabras clave: Gestión integrada, comunidades de malas hierbas, diversificación de cultivos, biofertilización, productividad.

Anthropogenic factors play a decisive role shaping weed communities in agricultural systems as farmers influence their composition through crop selection, rotation, tillage, fertilization, and control practices. Therefore, weed flora continuously evolves in response to these practices, generating changes in the composition of communities. In conservation agriculture, multifunctional intensification of the agroecosystem is proposed as an effective strategy that integrates agricultural techniques to increase productivity while minimizing negative impacts on biodiversity. This study is part of the BioCeST project, which aims to improve knowledge of practices and methodologies that enhance the functionality of rainfed cereal agroecosystems through crop diversification and fertilization management, to optimize wheat production and quality while generating information to support future on-farm decision-making. This communication presents the results corresponding to the first year of implementation of the BioCest research project. The weed community has been analyzed in two field trials, under an experimental design of randomized complete blocks, both with four replications. The first trial has been studied in order to assess the response of weed communities to three crop diversification strategies and rotational uses. The second one has been analyzed to compare different fertilization strategies. The results obtained during the first year of the trials did not show a predominance of some weed species over others, except in the case of chickpea. Fully biological fertilization in wheat and barley seems that favored weed diversity.

Keywords: Integrated management, weed communities, crop diversification, biofertilization, productivity.

1. Introducción

La intensificación agrícola a lo largo de los años ha tendido a simplificar los agroecosistemas, reduciendo la diversidad y favoreciendo comunidades de malas hierbas homogéneas y competitivas (Storkey & Neve, 2018). Promover sistemas de secano con una gestión integrada de las comunidades de malas hierbas que combinen distintas prácticas, es imprescindible para incrementar la multifuncionalidad del sistema y optimizar el uso de insumos, sin comprometer la productividad (Riemens *et al.*, 2022). Dentro de la gestión integrada, la diversificación de cultivos y la implementación de estrategias de fertilización alternativas pueden ser una herramienta eficaz para modular estas comunidades. Rotaciones más diversificadas pueden reducir la densidad de flora arvense cerca de un 50% (Weisberger *et al.*, 2019), resultado alineado con otros obtenidos en experimentos de larga duración (Adeux *et al.*, 2019). Por otro lado, Pautasso *et al.* (2025) reportaron que la aplicación de biofertilizantes incrementó el rendimiento de trigo en un 3,4, con aumentos de hasta 184 kg·ha⁻¹ en los escenarios más desfavorables. Sin embargo, existe poca literatura sobre el efecto combinado de ambas prácticas en relación con estas comunidades y el rendimiento de los cultivos en secano.

El proyecto BioCeST tiene como objetivo evaluar si aplicar estas prácticas, en un sistema de agricultura de conservación, incrementa la funcionalidad de sistemas agrícolas cerealistas en secano, en un clima semiárido. Nuestra hipótesis de trabajo aborda la idea de que la introducción de estas estrategias en la gestión integrada del sistema promueve comunidades de malas hierbas menos competitivas y más diversas, sin comprometer el rendimiento.

2. Material y métodos

2.1 Área de estudio

Dentro del proyecto BioCeST, en 2024 se iniciaron dos ensayos de campo en secano, uno de diversificación de cultivos (“rotaciones”) y otro de fertilización (“biofertilización”), en la Finca Experimental La Chimenea (Aranjuez, España; 40° 4'2.32"N, 3° 32'41.73"W). El clima es semiárido frío (BSk, clasificación Köppen), con una precipitación media anual de 368 mm y temperatura media de 14,7 °C, con una media de mínimas de 7,2 °C y de máximas de 23,1 °C. El suelo es de tipo Fluvisol de textura franca, con pH 8,2 y 0,87% de carbono orgánico.

2.2 Ensayo de rotaciones

El ensayo de rotaciones tiene un diseño experimental en bloques completos al azar (BCA), con 4 repeticiones y 3 estrategias (CD1, CD2 y CD3), con distintos niveles de intensificación y diversificación: CD1: cebada (B) – garbanzo (C) – trigo (W) – barbecho (F), CD2: B – C – W – intercultivo (IC) y CD3: cártamo (S) – C – W – IC. Cada cultivo se ubicó en parcelas de 57,6 m². W y B recibieron una fertilización de fondo con un complejo NPK (20-8-10), aportando 150 y 112 UF de N, 60 y 45 de P, y 75 y 56 de K, respectivamente, complementada con una fertilización de cobertera con un 26% de nitrógeno. El resto de los cultivos recibieron fertilización de fondo NPK (8-15-15). Las dosis de siembra, según especie: W: 400 s m²; C: 50 s m²; B: 350 s m². IC: 200 W + 25 C s m²; S: 45 s m².

2. 3 Ensayo de biofertilización

El ensayo de biofertilización se estableció en BCA con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos (FS0–FS3). En W y B: FS0 siguió un manejo convencional, con fertilización mineral 8-15-15 NPK en fondo, y nitrato amónico cálcico (NAC) 27% en cobertera; FS1 mantuvo 8-15-15 NPK en fondo, con biofertilización foliar (*Methylobacterium symbioticum*) en cobertera; FS2 combinó reducción al 50% de la dosis de 8-15-15 NPK más biofertilización a base de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) en fondo, y NAC 27% en cobertera; y FS3 integró la misma estrategia en fondo que FS2, y la biofertilización foliar en cobertera. En C e IC, la estrategia fue la misma en todos los tratamientos, fertilización 8-15-15 NPK en fondo, sin cobertera. Se emplearon las mismas dosis de siembra que en el ensayo de rotaciones.

2.4 Muestreo de malas hierbas

El muestreo se realizó tras finalizar los manejos previstos, colocando un marco de 0,1 m² en zigzag, identificando y contabilizando los individuos presentes. Se tomaron 3 repeticiones por parcela: 144 muestras en rotaciones y 192 en biofertilización. La tabla 1 muestra el listado de las especies encontradas en ambos ensayos:

Tabla 1. Listado unificado de especies.		
ESPECIES		
Anthemis arvensis (L.)	Fallopia convolvulus (L.) Á. Löve	Papaver dubium (L.)
Bassia scoparia (L.) A.J. Scott	Filago pyramidata (L.)	Papaver hybridum (L.)
Capsella bursa-pastoris (L.) Medik	Fumaria parviflora (Lam)	Papaver rhoeas (L.)
Chenopodium album (L.)	Galium tricornutum (Dandy)	Polygonum aviculare (L.)
Chenopodium vulvaria (L.)	Hypocoum procumbens (L.)	Roemeria hybrida (L.) DC
Convolvulus arvensis (L.)	Hypochaeris glabra (L.)	Salsola kali (L.)
Descurainia sophia (L.) Webb ex Prantl	Lactuca serriola (L.)	Sisymbrium irio (L.)
Diplotaxis erucoides (L.) DC	Lamium amplexicaule (L.)	Sonchus oleraceus (L.)
Eruca vesicaria (L.) Cav		

2. 5 Cálculo y análisis de datos

Para la caracterización de las comunidades de malas hierbas, se calcularon índices de diversidad. Los índices calculados: abundancia (N), riqueza (S), Shannon (H') (Shannon & Weaver, 1949), Simpson (1-D) (Simpson, 1949), dominancia (d) (Berger & Parker, 1970) y equitatividad (J') (Pielou, 1966). Para el análisis de datos se usa el software R versión 4.5.3 (R Core Team, 2026), empleando los paquetes: *vegan*, *ggplot2* y *corrplot*.

3. Resultados y discusión

3.1 Ensayo de rotaciones

El primer año del proyecto, como era esperable, los valores más elevados de H' y 1-D se observaron en las parcelas de barbecho (figura 1), donde la flora arvense pudo desarrollarse sin competencia.

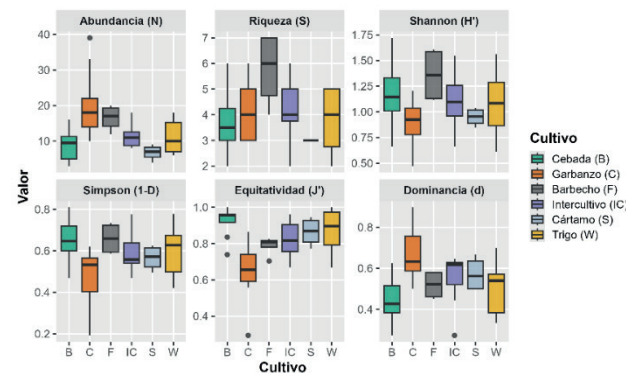


Figura 1. Boxplots de los índices de diversidad agrupados por cultivo del ensayo de rotaciones.

La cebada presentó una diversidad media H' y 1-D, elevada J' y baja d, lo que sugiere una comunidad con pocas especies, pero equilibrada. En el garbanzo, la comunidad fue poco diversa con bajos H' y 1-D, J' media, y la mayor d, representada por *Polygonum aviculare* (L.). IC presentó una H' y 1-D media, elevada J' y d moderada. El cártamo presentó baja H' , 1-D medio, alta J' y d media. Los valores más bajos de N y S se observaron en el cártamo, posiblemente debido a la proximidad temporal entre la siembra y el muestreo. Este resultado en este primer año es consistente con lo señalado por Cordeau *et al.* (2017), quienes destacaron el papel del momento de siembra en la estructuración de las comunidades arvenses, así como con la idea de que estas también responden al tipo de manejo del cultivo (Adeux *et al.*, 2019). El trigo mostró en general mayor variabilidad en los datos, moderados H' y 1-D, elevada J' y baja d. La N fue mayor en el garbanzo, y menor en el cártamo, respecto al resto de cultivos. La mayor S se observó en el barbecho, seguida del trigo, intercultivo y garbanzo. En general, la elevada J' en todos los cultivos salvo en el garbanzo, indicó una distribución equilibrada de las especies, posiblemente asociada al banco de semillas y las condiciones iniciales. Los cultivos no favorecieron unas especies frente a otras el primer año del ensayo. En referencia al análisis de correlaciones, H' y 1-D presentaron correlación positiva fuerte (0.92), así como también S y H' (0.75); d se correlacionó negativamente con 1-D (-0.93) y con H' (-0.76), así como N y J' (-0.83).

3.2 Ensayo de biofertilización

Los resultados agrupados por cultivo (figura 2) indicaron el mismo comportamiento esperable en el barbecho. La cebada mostró valores intermedios en todos los índices, destacando H' , 1-D y J' por encima del resto de cultivos. El garbanzo presentó valores bajos de H' y 1-D, y medios para J' y d, sugiriendo una comunidad poco diversa. Intercultivo obtuvo valores bajos de H' y 1-D, pero medios de J' y d, mostrando una población con diversidad reducida y dominancia moderada. Por último, el trigo mostró resultados medios en todos los índices. El mayor valor de N lo obtuvo el barbecho, seguido por garbanzo, intercultivo, trigo y cebada. La S fue similar en cebada, garbanzo y trigo, destacando el barbecho con el mayor valor, y intercultivo con el menor.

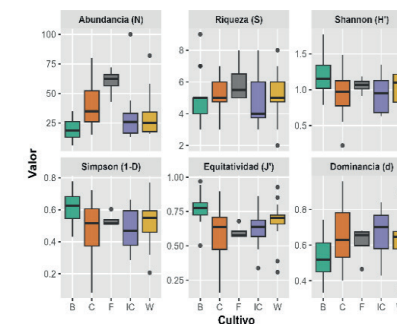


Figura 2. Índices por cultivo

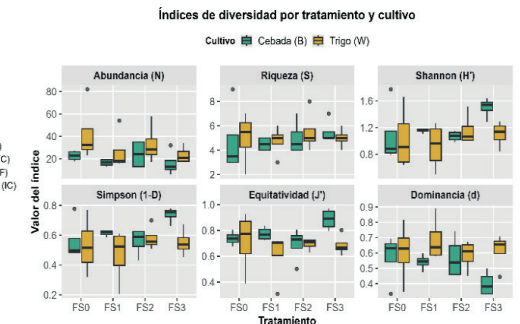


Figura 3. Índices por tratamiento y cultivo

En la figura 3 se muestran los índices agrupados por tratamiento. En FS0, el trigo presentó resultados ligeramente mayores en H' , 1-D, J' y d que en la cebada, así como también mayores N y S, mostrando una comunidad más diversa y abundante. En FS1, la cebada mostró un mayor H' , 1-D y J' , y menor d que en el trigo, al revés que en el tratamiento anterior, aunque N y S fueron menores en cebada que en trigo. En el caso de FS2, los valores de H' , 1-D y J' son ligeramente superiores en cebada que en trigo, aunque este último presentó una mayor d, N y S. Por último, en FS3, la cebada presentó una comunidad más diversa, destacando de forma considerable en H' , 1-D y J' . Esto, junto con una baja d, indicó que en cebada la comunidad arvense tuvo una distribución más equilibrada y menos dominada que en trigo, a igual S y similar N. En general, el trigo mostró mayor dispersión en los datos. Cabe destacar que ambos cultivos alcanzaron sus mayores valores de H' en FS3, lo que, podría sugerir que la fertilización íntegramente biológica favoreció comunidades más diversas. En este sentido, aunque el estudio de Naqqash *et al.* (2021) se centra en la interacción trigo-PGPR, y no en la comunidad arvense en general, sus conclusiones apoyan la interpretación de que los sistemas con mayor diversidad arvense pueden favorecer condiciones edáficas con mayor potencial biofertilizante, que a su vez puede incrementar el rendimiento del cultivo. El análisis de correlaciones mostró tendencias similares a las de rotaciones: H' y 1-D presentaron correlación positiva fuerte (0.94), así como también S y H' (0.75); d se correlacionó negativamente con 1-D (-0.93) y con H' (-0.76), así como N y J' (-0.83).

4. Conclusiones

Durante el primer año, no se observaron diferencias en el predominio de especies de malas hierbas entre los distintos cultivos, registrándose una alta equitatividad en la comunidad de malas hierbas en todos ellos, excepto en el garbanzo. La fertilización íntegramente biológica en W y B favoreció comunidades de malas hierbas más diversas.

5. Agradecimientos

Gracias al personal de la finca “La Chimenea”. Gracias a Juan Pablo del Monte por sus clases magistrales de identificación. Este estudio cuenta con la subvención número PID2023-150863OR-I00 (MICIU).

Referencias

- ADEUX G, MUNIER-JOLAIN N, MEUNIER D, FARCY P, CARLESI S, BARBERI P & CORDEAU S (2019) Diversified grain-based cropping systems provide long-term weed control while limiting herbicide use and yield losses. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 42.
- BERGER W H & PARKER FL (1970) Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments. *Science*, 168, 1345-1347.
- CORDEAU S, SMITH RG, GALLANDT ER, BROWN B, SALON P, DITOMMASO A & RYAN MR (2017) Timing of tillage as a driver of weed communities. *Weed Science*, 65, 504-514.
- NAQQASH T, FATIMA M, REHMAN S, BUKHAT S, SHAHID M, SHABIR G, TAHIR M, ARSHAD M & BABAR M (2021) Plant growth-promoting rhizobacteria significantly improves growth attributes and photosynthetic machinery in wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41.
- PAUTASSO JM, DÍAZ MD, ZAPATA LD & GIACINTI SA (2025) Eficacia agronómica de los bioestimulantes en cultivos extensivos. *Ciencias Agronómicas*, 46, e052-e052.
- PIELOU EC (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131-144.
- R Core Team. (2026) R: A language and environment for statistical computing (Versión 4.5.3) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- RIEMENS M, SONDESKOV M, MOONEN AC, STORKEY J & KUDSK P (2022) An integrated weed management framework: A pan-European perspective. *European Journal of Agronomy*, 133, 126443.
- SHANNON C & WEAVER W (1949) The Mathematical Theory of Communication.
- SIMPSON EH (1949) Measurement of Diversity. *Nature*, 163, 688-688.
- STORKEY J & NEVE P (2018) What good is weed diversity? *Weed Research*, 58, 239-243.
- WEISBERGER D, NICHOLS V & LIEBMAN M (2019) Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. *PLOS ONE*, 14, e0219847.

P5. Temperatura base de poblaciones de *Echinochloa crus-galli* europeas y de Oriente Medio

P5. Base temperature of European and Middle East populations of *Echinochloa crus-galli*

ROYO-ESNAL A¹, BINDER J², SOSTARCIC V³, ULBER L⁴, ADEUX G⁵, OSUNA MD⁶, PISKACKOVA T⁷, PANACCI E⁸, NECAJEVA J⁹, ULUDAG A¹⁰, SYNOWIEC A¹¹, CALHA IM¹², ABU-NASSAR J¹³, JENSEN PK¹⁴, UREMIS I¹⁵, KONSTANTINOVIC B¹⁶, CHACHALIS D¹⁷, TORRESEN KS¹⁸, NIKOLIC N¹⁹

¹DCEFA, ETSEAFIV, Universitat de Lleida, Agrotecnio, Lleida, España; ²Royal Holloway, University of London, Londres, Reino Unido; ³Dpt Weed Science, Faculty of Agriculture, University of Zagreb, Zagreb, Croacia; ⁴Weed Science Laboratory, Julius Kühn-Institut, Brunswick, Alemania; ⁵INRAE, Dijon, Francia; ⁶Weed Science Laboratory, CICYTEX, Don Benito, España; ⁷Dpt Agroecology and Crop Production, Czech University of Life Sciences Prague, Praga, República Checa; ⁸Dpt Agricultural, Food and Environmental Sciences, University of Perugia, Perugia, Italia; ⁹Institute for Plant Protection Research, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Letonia; ¹⁰Faculty of Agriculture, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Turquía; ¹¹Dpt Agroecology and Crop Production, University of Agriculture in Krakow, Cracovia, Polonia; ¹²Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, UEIS SAFSV, Lisboa, Portugal; ¹³Dpt Weed Science, Volcani Center, Neve Ya'ar Research, Ramat-Yishay, Israel; ¹⁴Dpt Agroecology, Aarhus University, Slagelse, Dinamarca; ¹⁵Dpt Plant Protection, Mustafa Kemal University, Hatay, Turquía; ¹⁶Dpt Environmental and Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia; ¹⁷BENAKI Phytopathological Institute, Kifisia, Grecia; ¹⁸Division for Biotechnology and Plant Health, Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO), Ås, Noruega; ¹⁹DAFNAE, University of Padova, Legnaro, Italia

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29295

Email (por orden de autoría): aritz.royo@udl.cat; Jonathan.Binder.2022@live.rhul.ac.uk; vsostarcic@agr.hr; lena.ulber@julius-kuehn.de; guillaume.adeux@inrae.fr; mariadolores.osuna@juntaex.es; tpiskackova@af.czu.cz; euro.pannacci@unipg.it; jevgenija.necajeva@lu.lv; ahuludag@gmail.com; agnieszka@synowiec.com; isabel.calha@iniav.pt; jackline@volcani.agri.gov.il; peterk.jensen@agrsci.dk; iuremis@yahoo.com; bojank@polj.ums.ac.rs; d.chachalis@bpi.gr; kirsten.torresen@nibio.no; nebojsa.nikolic@unipd.it

Este trabajo tiene como objetivo estimar la temperatura base (Tb) para la germinación de 32 poblaciones de *Echinochloa crus-galli*. Se recolectaron semillas de campos de maíz en 14 países europeos y del oriente medio en verano de 2023, y se enviaron a Lleida. Para cada población, se colocaron 50 semillas en placa de Petri con papel de filtro y agua destilada y se incubaron a temperaturas constantes de 5 a 29°C, a intervalos de 3°C, con un fotoperiodo de 12 h:12 h, con cuatro repeticiones. Después de realizar un seguimiento diario de la germinación, se representó la germinación acumulada en función del tiempo y se aplicó un modelo sigmoideal para estimar el tiempo hasta el 50 % de germinación (T50) a cada temperatura constante. La inversa de T50 se representó en base a la temperatura y se aplicó una regresión lineal. El punto donde la línea de regresión cruza el eje X representa la correspondiente Tb. Los resultados muestran que la mayoría de las Tb rondan los 10°C ± 1,5°C siendo, en general, más baja en las poblaciones de mayor latitud y más alta en poblaciones de menor latitud. A pesar de las diferencias de Tb de hasta 3°C, éstas sólo fueron estadísticamente significativas entre una población de

Letonia (8,2°C) y otra de Italia (12,0°C). Los resultados demuestran la capacidad de adaptación de esta especie a diferentes climatologías, pero también constatan la gran variabilidad que puede mostrar entre localidades de condiciones ambientales similares.

Palabras clave: Germinación, latitud, regresión lineal.

This study aimed to estimate the base temperature (T_b) for germination of 32 populations of Echinochloa crus-galli. Seeds were collected from maize fields in 14 European and Middle East countries in summer 2023 and were sent to Lleida, Spain. For each population, 50 seeds were placed in Petri dishes with filter paper and distilled water and incubated at constant temperatures from 5 to 29 °C, with 3 °C intervals, with a 12 h:12 h photoperiod, and with four replicates. After daily monitoring of germination, cumulated germination was plotted against time, and a sigmoidal model was applied to estimate the time to 50% germination (T₅₀) at each constant temperature. The inverse of T₅₀ was plotted against temperature, and a linear regression was applied. The point where the regression line crosses the x-axis represents the corresponding T_b. The results show that most T_b values are around 10 °C ± 1.5 °C and were generally lower in populations at higher latitudes and higher in populations at lower latitudes. Despite T_b differences of up to 3 °C, these were only statistically significant between a population from Latvia (8.2 °C) and another from Italy (12.0 °C). The results demonstrate the ability of this species to adapt to different climates but also highlight the considerable variability it can exhibit between locations with similar environmental conditions.

Keywords: Germination, latitude, lineal regression.

1. Introducción

Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv. es una especie considerada entre las malas hierbas económicamente más importantes a nivel mundial (Holm *et al.*, 1991). Su adaptabilidad le ha permitido establecerse en diversos cultivos (Bajwa *et al.*, 2015) y es una de las especies con más casos de resistencia a herbicidas (Heap, 2025). La adaptación a diversos ambientes implica la capacidad de ajustar el ciclo de vida a ciertas condiciones y cambiar los requerimientos biológicos para lograrlo (Munns & Millar, 2023). En el caso de las malas hierbas, el proceso de emergencia (germinación, emergencia) es la etapa más estudiada porque es cuando las malas hierbas son más vulnerables a los métodos de control. Por eso, los factores que regulan el proceso de emergencia de las plántulas, principalmente la temperatura y la humedad (Baskin & Baskin, 2014), son los más estudiados. En este sentido, la temperatura base (T_b) para la germinación y emergencia es clave para poder desarrollar modelos (Forcella *et al.*, 2000) que predigan la emergencia de la manera más precisa posible.

En este trabajo, el objetivo es el de estimar la T_b de 32 poblaciones de *E. crus-galli* recogidas en cultivo de maíz en diversos países de Europa y de Oriente Medio y plantearnos las razones de sus posibles diferencias.

2. Material y métodos

2.1. Ensayo en cámaras de germinación

Las semillas de *E. crus-galli* se recolectaron en verano de 2023 en las localidades indicadas en la tabla 1 y se enviaron a Lleida en otoño. Tras realizar pruebas preliminares de germinación y observar una

respuesta baja o nula en algunas poblaciones, las semillas se escarificaron con ácido sulfúrico al 98 % durante 7 minutos y se lavaron con agua destilada antes del ensayo. Posteriormente, se incubaron a temperaturas constantes de 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26 y 29 °C en placas de Petri de 9 cm con papel de filtro humedecido y un fotoperiodo de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. Para cada temperatura se emplearon cuatro repeticiones de 50 semillas y se contó la germinación diariamente durante un máximo de 21 días. A temperaturas superiores a 20 °C, durante los primeros cuatro o cinco días, el recuento se realizó dos veces al día.

El porcentaje de germinación acumulada en cada temperatura y placa de Petri se ajustó a un modelo logístico basado en los días transcurridos desde la siembra [1] utilizando el software SigmaPlot 11.0:

(1)
$$\bar{y}_t = \frac{G}{1 + \left(\frac{D_t}{D_{50}}\right)^b}$$

donde $\bar{y}_t$ es el porcentaje de germinación para cada placa de Petri en el tiempo t , expresado como porcentaje del total; G es el porcentaje máximo de germinación; D_t es el día (u hora) en el tiempo t ; D_{50} es el tiempo necesario para alcanzar el 50 % de germinación y b es la pendiente de la curva en el momento D_{50} , que se utilizó para estimar la tasa de germinación ($1/D_{50}$). Ésta se correlacionó con la temperatura de germinación para estimar la T_b, considerada como el punto donde la línea de regresión aplicada a estos valores intercepta el eje X (Bradford, 2002). Esta estimación se realizó para cada una de las cuatro repeticiones, de tal manera que se obtuvieron cuatro valores de T_b para cada población y que permitió el cálculo de los errores estándar.

2.2 Análisis estadístico

Los resultados de T_b se analizaron con una ANOVA de un factor, previa prueba de normalidad y homocedasticidad. Dado que algunas poblaciones no llegaron a germinar suficiente para tener repeticiones, sus valores se representan en los resultados, pero se excluyeron del análisis estadístico.

3. Resultados y discusión

De 32 poblaciones analizadas, sólo 22 tuvieron germinaciones suficientes para tener repeticiones y poder proceder al análisis estadístico (tabla 1). La T_b de estas 22 poblaciones varió, pero las diferencias fueron en su mayoría no significativas. Solo el valor de T_b más alto (12,0 °C de Italia) fue estadísticamente mayor que el de la población con valor más bajo (8,2 °C de Letonia). Once de las 22 poblaciones se encontraban dentro del rango de 9,0 a 11,0 °C, cifra que aumentó a 19 si se amplía el rango de 8,5 a 11,5 °C.

Tabla 1: Temperatura base (T_b) (± error estándar) para cada población. Se aporta el resultado del análisis estadístico donde las diferentes letras representan diferencias significativas a nivel de $P = 0.05$.

CÓDIGO	PAÍS	LOCALIDAD	TB (°C)	
CZ1	República Checa	Prague-Suchdol	9.6 ± 0.7	ab
CZ2	República Checa	Zelenec	8.4 ± 0.8	ab
DEN1	Dinamarca	Fuglsang	9.0 ± 0.1	ab
DEN2	Dinamarca	Tystofte	9.3 ± 0.1	ab
FR1	Francia	Broindon	11.5 ± 0.9	ab
FR2	Francia	Epernay sous Gevrey	8.5 ± 0.6	ab

FR3	Francia	Villebichot	8.8 ± 0.3	ab
GER1	Alemania	Sickte	9.6 ± 0.6	ab
GER2	Alemania	Sickte	14.8*	
GRC1	Grecia	Nikaia	11.0 ± 0.6	ab
GRC2	Grecia	Nikaia	8.8 ± 0.2	ab
ISR1	Israel	Fureidis	8.5*	
ISR2	Israel	Neve Ya'ar	9.2 ± 0.8	ab
IT1	Italia	Legnaro	10.7*	
IT2	Italia	Mira	12.0 ± 0.9	a
IT3	Italia	Papiano (comercial)	9.2*	
IT4	Italia	Papiano (experimental)	14.5*	
LAT1	Letonia	Jaunmārupe	9.7 ± 0.2	ab
LAT2	Letonia	Vēcauce	8.2 ± 0.5	b
NOR1	Noruega	Sem	8.6 ± 0.1	ab
POL1	Polonia	Prusy	9.4 ± 0.1	ab
POL2	Polonia	Skawina	10.4 ± 0.6	ab
PORT	Portugal	Golegã (Ribatejo)	8.5*	
SER1	Serbia	Futog (Novi Sad)	9.3*	
SER2	Serbia	Veternik (Novi Sad)	9.4 ± 0.6	ab
SP1	España	Lleida	10.1 ± 0.5	ab
SP2	España	Miajadas	11.3 ± 1.0	ab
SP3	España	Miajadas	10.8*	
SP4	España	Torres de Segre	11.4 ± 0.9	ab
TUR1	Turquía	Çanakkale	9.3 ± 1.7	ab
TUR2	Turquía	Kırkhán	8.3*	
TUR3	Turquía	Samsun	15.0*	

*No hay error estándar porque la T_b se estimó sumando la germinación obtenida en las cuatro repeticiones. Estos valores se excluyeron del análisis estadístico.

La figura 1 muestra la localidad de procedencia de las diferentes poblaciones analizadas con una valoración visual del valor de la T_b correspondiente, siendo colores azules más fríos y rojos más cálidos, y más oscuros cuanto más alejados de la media (11,5°C) entre los valores más extremos de la tabla 1 (8°C y 15°C).

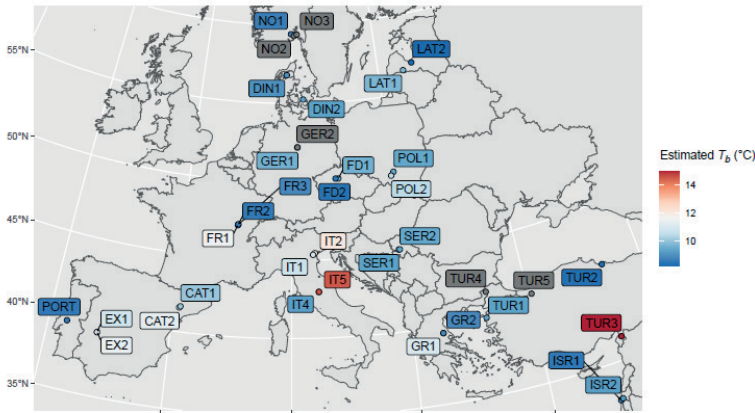


Figura 1. Mapa de las localidades de procedencia de las poblaciones de *Echinochloa crus-galli* con un gradiente de color que indica su valor de T_b , tomando como referencia los valores extremos de la tabla 1. Los colores azules indican valores por debajo de la media (11,5°C) y los rojos por encima de ella. Se incluyen los valores de las localidades con las que no se pudo realizar estadística. En gris, localidades que no germinaron.

Aparentemente, y aun siendo la mayoría de los valores de T_b no significativos entre sí, sí se observa una gradación latitudinal, sugiriendo una importancia considerable de los factores que acompañan a la localización geográfica: las condiciones de temperatura y de fotoperiodo. Está demostrado que las condiciones de crecimiento de la planta madre durante la maduración de los frutos influye sobre las características germinativas de la prole (Menegat *et al.*, 2018). Esto explicaría, en parte, esta gradación. Aun así, algunos valores de T_b escapan de esta hipótesis, sugiriendo que puede haber otros factores no incluidos, como el estado de maduración de las semillas en el momento de la recolección, al mismo tiempo que reflejan la dificultad de poder establecer una única T_b en cada localidad. Los resultados obtenidos confirman las observaciones realizadas por Royo-Esnal *et al.* (2022) en la que estimaron de manera indirecta diferentes T_b para 16 poblaciones de *E. crus-galli*.

4. Conclusiones

En este estudio se ha demostrado que uno de los aspectos que contribuyen a la adaptabilidad de *Echinochloa crus-galli* es su capacidad de variar el umbral térmico inferior: la temperatura base. Existe una tendencia a disminuir la T_b conforme aumenta la latitud, pero la variabilidad encontrada en poblaciones relativamente cercanas sugiere la presencia de otros factores bióticos o abióticos que necesitan ser explorados.

Referencias

BASKIN CC & BASKIN JM (2014) Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. 2nd Edition. Academic Press, San Diego.

BAJWA AA, JABRAN K, SHAHID M, ALI HH, CHAUHAN BS & EHSANULLAH (2015) Eco-biology and management of *Echinochloa crus-galli*. Crop Protection, 75, 151-162.

BRADFORD KJ (2002) Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science, 50, 248-260.

FORCELLA F, BENECH-ARNOLD RL, SANCHEZ R & GHERSA CM (2000) Modelling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67, 123-139.

HEAP I (2025) The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Disponible en: <http://www.weedscience.org> [Consultado el 21 de noviembre de 2025].

HOLM L, DOLL J, HOLM E, PANCHO JV & HERBERGER JP (1991) *TheWorld's Worst Weeds: Distribution and Biology*. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.

MENEGAT A, MILBERG P, NILSSON ATS, ANDERSSON L & VICO G (2018) Soil water potential and temperature sum during reproductive growth control seed dormancy in *Alopecurus myosuroides* Huds. *Ecology and Evolution*, 8, 7186-7194.

MUNNS R & MILLAR AH (2023) Seven plant capacities to adapt to abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, 74, 4308-4323.

ROYO-ESNAL A, ONOFRI A, TAAB A, LODDO D, NECAJEVA J, ULUDAG A, SYNOWIEC A, CALHA I, ANDERSSON L, JENSEN PK, UREMIS I, ECONOMOU G, MURDOCH AJ & TORRESEN KS (2022) Comparing the emergence of *Echinochloa crus-galli* populations in different locations. Part II: similarities and threshold parameters. *Weed Research*, 62, 203-214.

P6. Potencial fitotóxico de formulados de aceites esenciales y metabolitos secundarios de plantas sobre la germinación de *Lolium rigidum*

P6. *Phytotoxic potential of formulations based on essential oils and plant secondary metabolites on the germination of Lolium rigidum*

TORRES-PAGÁN N¹, PAZOOKI H¹, MARCO-GALIANO C¹, MALABOT KN¹, POBES-BAILO V¹, RODRÍGUEZ-GARCÍA D¹, CHORNET F², TORRES L², ESPINOSA-ESCRIG F², VERDEGUER M¹

¹Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universitat Politècnica de València, Valencia, España; ²SEIPASA S.A, Valencia, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29296

Email (por orden de autoría): natorpa@upv.es; hpazook@upv.es; cmargal@upv.es; vpob-bai@upv.es; drodrig3@upv.es; fchornet@seipasa.com; ltorres@seipasa.com; fespino@seipasa.com; merversa@eaf.upv.es

Lolium rigidum Gaud. es una arvense muy problemática en sistemas cerealistas mediterráneos por su capacidad competitiva y la creciente aparición de poblaciones resistentes a herbicidas sintéticos. En este contexto, el desarrollo de bioherbicidas basados en compuestos naturales de plantas representa una alternativa prometedora para su manejo integrado. El proyecto europeo AGROSUS (Agroecological strategies for sustainable weed management in key European crops) evalúa nuevas formulaciones bioherbicidas desarrolladas por la empresa SEIPASA a partir de aceites esenciales (AE) y metabolitos secundarios de plantas con potencial fitotóxico. En este trabajo, se estudió la actividad herbicida de cuatro formulados: Seifar, Lusei, Seila y Jarasei, sobre la germinación de *L. rigidum*. Seifar contiene farnesol, mientras Lusei, Seila y Jarasei están basados en AE de *Lavandula stoechas* subsp. *luisieri* (Rozeira) Rozeira, *Lavandula angustifolia* Mill. y *Cistus ladanifer* L., respectivamente. Se realizaron ensayos de inhibición de la germinación *in vitro*, aplicando los formulados a seis concentraciones: 3,125; 6,25; 12,5; 25, 50 y 100 µL mL⁻¹, incluyendo un tratamiento control (agua). Las semillas control presentaron los mayores porcentajes de germinación durante todo el periodo de evaluación, mientras que las semillas tratadas con los formulados bioherbicidas mostraron una reducción progresiva de la germinación a medida que aumentaba la concentración aplicada. Los resultados evidencian el potencial de estos formulados como herramientas bioherbicidas para el control de *L. rigidum*. Son necesarios estudios en condiciones de invernadero y campo para evaluar su eficacia en condiciones reales, la selectividad sobre diferentes cultivos y su posible integración en programas sostenibles de manejo de arvenses.

Palabras clave: Bioherbicidas, gestión integrada de arvenses, aceites esenciales, germinación, fitotoxicidad.

Lolium rigidum Gaud. is a highly problematic weed species in Mediterranean cereal cropping systems due to its strong competitive ability and the increasing occurrence of populations resistant to synthetic herbicides. In this context, the development

of bioherbicides based on natural plant compounds represents a promising alternative for integrated weed management. The European project AGROSUS (Agroecological strategies for sustainable weed management in key European crops) evaluates new bioherbicidal formulations developed by the company SEIPASA from essential oils (EOs) and plant secondary metabolites with phytotoxic potential. In this work, the herbicidal activity of four formulations (Seifar, Lusei, Seila, and Jarasei) was studied against the germination of *L. rigidum*. Seifar contains farnesol, whereas Lusei, Seila, and Jarasei are based on EOs from *Lavandula stoechas* subsp. *luisieri* (Rozeira), *Lavandula angustifolia* Mill., and *Cistus ladanifer* L., respectively. *In vitro* germination inhibition assays were performed by applying the formulations at six concentrations (3.125, 6.25, 12.5, 25, 50, and 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$), including a control treatment (water). Control seeds showed the highest germination percentages throughout the evaluation period, whereas seeds treated with the bioherbicidal formulations exhibited a progressive reduction in germination as the applied concentration increased. The results demonstrate the potential of these formulations as bioherbicidal tools for the control of *L. rigidum*. Further greenhouse and field studies are required to evaluate their efficacy under real conditions, crop selectivity, and potential integration into sustainable weed management programmes.

Keywords: Bioherbicides, integrated weed management, essential oils, germination, phytotoxicity.

1. Introducción

Lolium rigidum Gaud. es una mala hierba presente en numerosos cultivos, que puede causar grandes pérdidas económicas, ya que puede disminuir el rendimiento en un 45-55%, habiéndose descrito pérdidas de hasta un 85% en cebada (Izquierdo *et al.*, 2003; Lemerle *et al.*, 2013). Esta especie presenta una elevada capacidad de expansión y persistencia, debido a la interacción entre factores agronómicos, biológicos y ambientales. Además, factores como las propiedades del suelo, la fertilización o la aplicación de herbicidas, considerados de forma individual, no explican completamente su dispersión (Doulfi *et al.*, 2026). El control de esta arvense requiere estrategias integradas de manejo para reducir la evolución y propagación de resistencias.

La Unión Europea promueve el manejo integrado de plagas mediante la Directiva 2009/128/CE de uso sostenible de los productos fitosanitarios, y las estrategias incluidas en el Pacto Verde Europeo, como la estrategia “De la Granja a la Mesa”, que tiene como objetivo reducir el uso de herbicidas y fomentar estrategias sostenibles de manejo de malas hierbas. En este contexto, la integración de métodos no químicos resulta clave para proteger los cultivos y favorecer la biodiversidad (Tataridas *et al.*, 2022), ya que una única estrategia de control no es suficiente a largo plazo (Chauhan, 2020).

Los bioherbicidas, derivados de organismos naturales o de sus metabolitos secundarios, son reconocidos cada vez más como componentes prometedores dentro de las estrategias de manejo integrado de plagas (MIP). Estos ofrecen una alternativa ambientalmente sostenible a los herbicidas sintéticos, ya que permiten controlar especies arvenses minimizando los efectos sobre organismos no objetivo y los ecosistemas circundantes (Harding y Raizada, 2015; Hoagland, 2016). Los aceites esenciales (AE) y metabolitos secundarios de naturaleza lipofílica (como pueden ser terpenoides y fenilpropanoides volátiles, presentes en aceites esenciales), son inmiscibles en agua por lo que una adecuada formulación es esencial para garantizar la eficacia de los productos sobre las plantas objetivo (Pascual-Villalobos *et al.*, 2019). Este trabajo se engloba dentro del proyecto europeo AGROSUS (Agroecological strategies for sustainable weed management in key European crops, Estrategias Agroecológicas para el manejo sostenible de arvenses en cultivos clave europeos). Se evaluó la actividad fitotóxica de cuatro formulados desarrollados por la empresa SEIPASA en colaboración con la Universitat Politècnica de València y la Universidade de Vigo: Seifar, Lusei, Seila y Jarasei, sobre la germinación de *L. rigidum*. Seifar está formulado a partir

de farnesol, mientras que Lusei, Seila y Jarasei contienen aceites esenciales (AEs) de *Lavandula stoechas* subsp. *luisieri* (Rozeira), *L. angustifolia* Mill. y *Cistus ladanifer* L. respectivamente.

2. Material y métodos

Las semillas de *Lolium rigidum* Gaudin. fueron compradas en 2022 a la empresa Cantueso Natural Seeds, (Villarrubia, Córdoba, España). Los aceites esenciales y metabolitos secundarios utilizados fueron formulados por la empresa SEIPASA S.A. Los 4 formulados (Seifar, Lusei, Seila y Jarasei) fueron probados a seis concentraciones: 3,125; 6,25; 12,5; 25, 50 y 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ partiendo de una disolución de 50 mL de formulado en 1 L de agua.

Se realizaron ensayos de inhibición de la germinación *in vitro*, utilizando una cámara de germinación de Equitec (Madrid, España) con control de temperatura y fotoperiodo. Los ensayos se llevaron a cabo en placas Petri de 9 cm de diámetro, utilizando 4 discos de papel de filtro en cada placa, 2 como sustrato bajo las semillas y 2 por encima de ellas. Se dispusieron 10 semillas de *L. rigidum* en cada placa, y los discos se humedecieron con 5 mL de agua. Se prepararon 10 repeticiones para cada concentración de cada formulado, mas 10 placas control (100 semillas por tratamiento). La cámara de germinación se mantuvo en las siguientes condiciones: temperatura de 30°C durante 12h de luz alternada con 20°C durante 12h de oscuridad. Se evaluó el porcentaje de germinación los días 3, 5, 7, 10 y 14 tras la aplicación de los tratamientos en el caso de Lusei, Seila y Jarasei y los días 5,7,10 y 15 después de la aplicación para Seifar.

Para el análisis de los resultados, los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software Statgraphics® Centurion XVII (StatPoint Technologies Inc., Warrenton, VA, EE. UU.). Los porcentajes de germinación fueron transformados mediante la fórmula $y = \arccos(\sqrt{x})$, donde x era el porcentaje de germinación en tanto por uno. Las medias se compararon utilizando la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD), con $p < 0,05$.

3. Resultados y discusión

La figura 1 muestra el efecto de los formulados Seifar (figura 1A), Lusei (figura 1B), Seila (figura 1C) y Jarasei (figura 1D) sobre la germinación de *L. rigidum* durante los ensayos. Para los 4 formulados, se observó una disminución de la germinación conforme aumentó la concentración aplicada, aunque la intensidad de la respuesta fitotóxica fue distinta entre productos y concentraciones.

El formulado Seifar (figura 1A) fue el menos activo de los cuatro formulados ensayados. La concentración de 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ redujo la germinación en un 95,88 % con respecto al control a los 15 días después de la aplicación, mientras las concentraciones de 25 y 50 $\mu\text{L mL}^{-1}$ mostraron reducciones del 53,61 % y 61,86 %, respectivamente. Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con los descritos por Saad *et al.* (2019), quienes evaluaron la actividad herbicida de diferentes terpenos, fenilpropanos y sesquiterpenos sobre *Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv. En dicho estudio, farnesol redujo la germinación de *E. crus-galli* en un 76,9 %, aplicado a una concentración de 8 mM.

Lusei (figura 1B) consiguió la mayor inhibición de la germinación. Las concentraciones de 50 y 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ inhibieron completamente la germinación durante todo el periodo experimental. Asimismo, la concentración de 25 $\mu\text{L mL}^{-1}$ registró únicamente un 1 % de germinación a los 10 y 14 días después de la aplicación, lo que representó una reducción del 98,9 % respecto al control. No hemos encontrado otros trabajos *in vitro* realizados con este AE, por lo que se debería ensayar en otras especies y estudiar otras concentraciones y modos de aplicación para tener un mayor conocimiento sobre su comportamiento herbicida.

El formulado Seila (con base aceite esencial de *Lavandula angustifolia* L.) fue el formulado que mayor inhibición de germinación se obtuvo de los formulados probados (figura 1C). Las concentraciones de 25, 50 y 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ inhibieron completamente la germinación durante todo el ensayo. Además, la concentración de 12,5 $\mu\text{L mL}^{-1}$ registró un 5 % de germinación al final del ensayo, a los 14 días tras la aplicación, equivalente a una reducción del 94,12 % con respecto al control. Los resultados obtenidos para el formulado Seila concuerdan con los descritos por Ibáñez y Blázquez (2019), quienes observaron una elevada actividad fitotóxica del AE de *L. angustifolia* L. sobre diferentes especies arvenses. En dicho estudio, *Lolium multiflorum* Lam. fue la especie más sensible, mostrando reducciones del 87,8 % y 76,7 % en el crecimiento del hipocótilo y la radícula, respectivamente, al aplicar el AE a 1 $\mu\text{L mL}^{-1}$.

En el caso del formulado Jarasei (con base de aceite esencial de *Cistus Ladanifer* L.) (figura 1D), las concentraciones de 50 y 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ inhibieron completamente la germinación durante todo el periodo experimental, mientras que la concentración de 25 $\mu\text{L mL}^{-1}$ registró un 10 % de germinación a los 14 días después de la aplicación, lo que representó una reducción del 88,76 % respecto al control. La concentración de 12,5 $\mu\text{L mL}^{-1}$ registró un 37,08 % de germinación a los 15 días. Los resultados obtenidos para Jarasei coinciden con los resultados obtenidos para Jarasei coinciden con los descritos por Verdeguer *et al.* (2012), quienes evaluaron el aceite esencial de *C. ladanifer* L. frente a *Amaranthus hybridus* L., *Portulaca oleracea* L., *Chenopodium album* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist y *Parietaria judaica* L., observando inhibición completa de la germinación de *A. hybridus* y efectos fitotóxicos significativos sobre la germinación y/o el crecimiento de las demás especies.

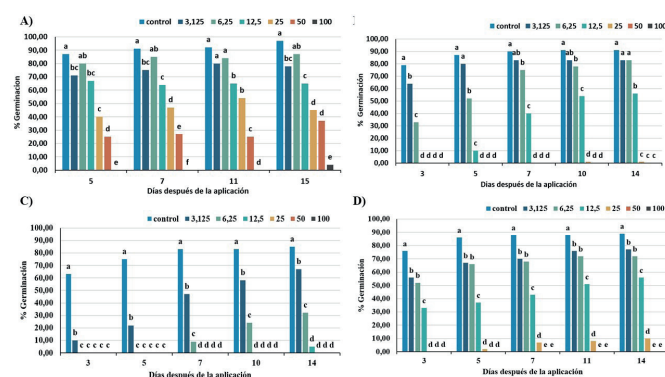


Figura 1. Porcentaje de germinación de semillas tratadas con los formulados Seifar (A), Lusei (B), Seila (C) y Jarasei (D) evaluado en diferentes días tras la aplicación de los tratamientos. Letras diferentes sobre las barras del mismo día indican diferencias significativas entre concentraciones ($p < 0,05$) según la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos evidenciaron que los cuatro formulados evaluados presentaron actividad fitotóxica sobre la germinación de *L. rigidum*, observándose en todos los casos un efecto dosis-respuesta, con una disminución progresiva de la germinación conforme aumentó la concentración aplicada.

Los formulados Lusei y Seila fueron los más eficaces, ya que inhibieron completamente la germinación a las concentraciones de 50 y 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ y mostraron una elevada actividad fitotóxica incluso en concentraciones intermedias. Jarasei presentó una eficacia más limitada, alcanzando una inhibición total únicamente a las concentraciones más altas, mientras que Seifar fue el formulado con la menor capacidad inhibitoria global.

Las diferencias observadas entre formulados indican que la composición de los mismos influye significativamente en su actividad herbicida. En conjunto, los resultados confirman el potencial de estos formulados como alternativas bioherbicidas para el control de *L. rigidum*. No obstante, son necesarios estudios adicionales en condiciones de invernadero y campo para determinar su eficacia en condiciones reales frente a diferentes especies arvenses, su persistencia y selectividad y la viabilidad de su aplicación dentro de estrategias sostenibles de gestión integrada de arvenses.

5. Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Programa Marco Horizonte Europa de la Unión Europea (HORIZON-CL6-2022-FARM2FORK-02-01), proyecto AGROSUS (Project ID: 101084084; AGRO-ecological strategies for SUSustainable weed management in key European crops).

Referencias

- CHAUHAN BS (2020) Grand challenges in weed management. *Frontiers in Agronomy*, 1, 3.
- DOULFI D, ECONOMOU G, KALIVAS D & ELEFTHEROHORINOS IG (2026) Effects of Environmental and Agronomic Factors on the Dispersal of Multiple Resistant *Lolium rigidum* in Malt Barley Fields of Northern Greece. *Agronomy*, 16, 728.
- HARDING DP & RAZADA MN (2015) Controlling weeds with fungi, bacteria and viruses: A review. *Frontiers in Plant Science*, 6, 659.
- HOAGLAND RE (2016) Microbial bioherbicides. En: Burleigh Dodds Science Publishing (Ed.). *Microbial Biopesticides*. Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 171-204.
- IBÁÑEZ MD & BLÁZQUEZ MA (2019) Phytotoxic effects of commercial *Eucalyptus citriodora*, *Lavandula angustifolia*, and *Pinus sylvestris* essential oils on weeds, crops, and invasive species. *Molecules*, 24, 2847.
- IZQUIERDO J, RECASENS J, FERNÁNDEZ-QUINTANILLA C & GILL G (2003) Effects of crop and weed densities on the interactions between barley and *Lolium rigidum* in several Mediterranean locations. *Agronomie*, 23, 529-536.
- LEMERLE D, VERBEEK B & COOMBES N (1995) Losses in grain yield of winter crops from *Lolium rigidum* competition depend on crop species, cultivar and season. *Weed Research*, 35, 503-509.
- PASCUAL-VILLALOBOS MJ, GUIRAO P, DÍAZ-BAÑOS FG, CANTÓ-TEJERO M & VILLORA G (2019) Oil in water nanoemulsion formulations of botanical active substances. En: *Nano-Biopesticides Today and Future Perspectives*. London, UK: Academic Press (Elsevier), pp. 223-246.
- SAAD MMG, GOUDA NAA & ABDELGALEIL SAM (2019) Bioherbicidal activity of terpenes and phenylpropanes against *Echinochloa crus-galli*. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 54, 954-963.
- TATARIDAS A, KANATAS P, CHATZIGEORGIOU A, ZANNOPOULOS S & TRAVLOS I (2022) Sustainable crop and weed management in the era of the EU Green Deal: A survival guide. *Agronomy*, 12, 589.
- VERDEGUER M, BLÁZQUEZ MA & BOIRA H (2012) Chemical composition and herbicidal activity of the essential oil from a *Cistus ladanifer* L. population from Spain. *Natural Product Research*, 26, 1602-1609.

P7. Identificación en Cataluña del ácaro eriófido *Aculus taihangensis* (Prostigmata), un potencial agente de control biológico del ailanto

P7. Identification in Catalonia of the eriophyid mite *Aculus taihangensis* (Prostigmata), a potential biological control agent of the tree of heaven

SOLER J¹, IZQUIERDO J¹

¹Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, UPC. Campus Baix Llobregat. Castelldefels, Barcelona, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29297

Email (por orden de autoría): jordi.soler.camprecios@upc.edu; jordi.izquierdo@upc.edu

El ailanto (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), incluido en la lista europea de especies invasoras, es un árbol de gran capacidad de propagación y de difícil control. Posee cinco características que lo hacen altamente invasivo: alta tolerancia a condiciones ambientales extremas, productor de sustancias alelopáticas, alta fertilidad, alta capacidad de dispersión y viabilidad de las semillas, alta capacidad de multiplicación vegetativa tras su corte y limitada afectación por parte de insectos. El control químico mediante la inyección del herbicida en el tronco es muy efectivo, aunque requiere un seguimiento de dos a tres años para asegurarse de su completa eliminación debido a la capacidad de rebrote de este árbol. La eficacia del control mecánico se limita a plántulas recién emergidas antes de que hayan desarrollado el sistema radicular. Los métodos químicos y mecánicos presentan limitaciones, lo que impulsa la búsqueda de alternativas biológicas. Entre los enemigos naturales descritos se encuentran varios ácaros eriófidos, entre ellos *Aculus taihangensis*, identificado en Asia y más recientemente en distintos países europeos. Los muestreos realizados en Cerdanyola del Vallès (Barcelona) confirman la presencia de este eriófido en Cataluña.

Palabras clave: *Ailanthus altissima*, árbol del cielo, manejo, especie invasora, enemigo natural.

The tree of heaven (Ailanthus altissima), included in the European list of invasive species, is a tree with a great spread capacity and difficult to control. It possesses five characteristics that make it highly invasive: high tolerance to environmental conditions, production of allelopathic substances, high fertility, high seed dispersal capacity and viability, strong vegetative regeneration after being cut, and limited impact from insects. Chemical control through herbicide injection into the trunk is highly effective, although it requires 2- to 3-year monitoring to ensure its complete elimination due to the tree's ability to resprout. The efficacy of mechanical control is limited to newly emerged seedlings before they have developed a root system. Both chemical and mechanical methods have limitations, which encourages the search for biological alternatives. Several eriophyid mites have been described as natural enemies, including Aculus taihangensis, identified in Asia and more recently in different European countries. Surveys conducted in Cerdanyola del Vallès (Barcelona) confirm the presence of this eriophyid in Catalonia, representing the first record of its presence in this territory, at least according to publications available at the time of its discovery.

Keywords: *Ailanthus altissima*, *tree of heaven*, *management*, *invasive species*, *natural enemy*.

1. Introducción

El ailanto (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) es un árbol extremadamente invasor que figura en las listas de especies invasoras de la Unión Europea, concretamente en el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/1262 de la Comisión, de 25 de julio de 2019. De acuerdo con Kashefi *et al.* (2022), presenta cinco características que lo hacen altamente invasivo: alta tolerancia a condiciones ambientales extremas, producción de sustancias alelopáticas, alta fertilidad, capacidad de dispersión y viabilidad de las semillas, elevada capacidad de multiplicación vegetativa después de ser cortado y limitada afectación por parte de insectos.

El control químico mediante la inyección de herbicida en el tronco es muy efectivo, aunque requiere un seguimiento durante 2 ó 3 años para asegurarse de su completa muerte debido a su capacidad de rebrote (Soler *et al.*, 2019). El control mecánico queda limitado a plántulas recién emergidas antes de que hayan establecido el sistema radicular por razones de efectividad.

Respecto al control biológico, en una revisión bibliográfica sobre enemigos naturales del ailanto, Ding *et al.* (2006) encontraron 46 artrópodos, 16 hongos y un virus que aparentemente causaban daños al árbol. Entre los hongos se citaban diferentes cepas de *Verticillium*, como *V. dahliae* y *V. nonalfalfae*, consideradas potenciales agentes de control biológico. Algunas de estas cepas citadas también se han encontrado en Cataluña (Moragrega *et al.*, 2021). La industria fitosanitaria se ha interesado por esta vía y actualmente existe un formulado basado en *V. nonalfalfae* bajo el nombre comercial Ailantex (Andermatt), disponible en diferentes países de la Unión Europea como Grecia y Austria. Recientemente, se ha identificado en Italia un nuevo hongo, *Neofusicoccum parvum*, agente causante del decaimiento de varios ejemplares de ailanto (Giubilei *et al.*, 2025).

Entre los artrópodos, Ding *et al.* (2006) mencionaban una única especie de eriófido, *Aculops ailanthi* Lin, Jin & Kuang, encontrada en China y también en Estados Unidos (Skvarla *et al.*, 2021). Posteriormente, otro eriófido, *Aculus mosoniensis* Ripka, fue descrito en Hungría (Ripka y Ersek, 2014) también como fitófago del ailanto. En Europa, *A. mosoniensis* ha sido detectado en Albania, Austria, Bulgaria, Croacia, Grecia, Italia, Macedonia, Montenegro, Rumanía, Serbia, Eslovenia y Francia (Marini *et al.*, 2021; de Lillo *et al.*, 2022). En Turquía se han encontrado árboles con el eriófido *A. taihangensis* (Ozman-Sullivan *et al.*, 2023). Sin embargo, estudios morfológicos y moleculares sugieren que *A. mosoniensis* es la misma especie que *A. taihangensis* (de Lillo *et al.*, 2022).

Estos ácaros abren una nueva posibilidad para el control biológico mediante artrópodos. Ya se han realizado diversos estudios sobre su comportamiento y se ha demostrado que presentan una elevada especificidad hacia este árbol y la capacidad de completar su ciclo biológico sobre él (Marini *et al.*, 2021; de Lillo *et al.*, 2022).

En mayo de 2025 observamos individuos de ailanto con deformidades en los brotes y hojas en el municipio de Cerdanyola del Vallès (Barcelona), compatibles con el eriófido *A. taihangensis*, sin ninguna notificación previa de su presencia en España. Estos síntomas ya los habíamos observado anteriormente en otros ailantos, pero no les habíamos dado importancia hasta que encontramos bibliografía que mencionaba la capacidad de especies de ácaros eriófidos de ser potenciales agentes de control biológico del ailanto. El objetivo de este artículo es determinar la existencia de poblaciones de *A. taihangensis* en Cataluña.

2. Material y Métodos

En junio de 2025 muestreamos varios árboles de una misma zona de Cerdanyola del Vallès (41.4878N, 2.1282E) con señales evidentes de la presencia de un ácaro eriófido, es decir, con hojas y brotes deformados. Se tomaron varias hojas de 10 árboles diferentes, se seleccionaron aquellas que contenían un mínimo de 20 individuos y se conservaron en viales con alcohol etílico del 70%. En coordinación con las doctoras Marini y Vidović, del centro BBKA (Roma) y la Universidad de Belgrado, respectivamente, se identificaron los ejemplares, que se realizó comparando nuestra muestra con otra previamente identificada.

3. Resultados y discusión

Los brotes afectados que detectamos en Cerdanyola del Vallès presentaban una deformación apical evidente (figura 1). Las hojas mostraban decoloraciones y también deformaciones visibles (figura 2). La fuerte afectación apical se considera uno de los rasgos relevantes de estos eriófidos (Marini *et al.*, 2021), así como las deformaciones en las hojas (de Lillo *et al.*, 2017).

En nuestras observaciones, los eriófidos se concentraban sobre todo en las partes más tiernas y, cuando se encontraban sobre las hojas, se localizaban mayoritariamente en el envés de estas, aunque se ha observado que, si existe una elevada concentración de ácaros, estos pueden encontrarse en cualquier parte de la hoja (de Lillo *et al.*, 2017). Otros síntomas observados por la presencia de eriófidos (*A. ailanthi*) son decoloraciones y lesiones necróticas en las hojas (Skvarla *et al.*, 2021; Bielski *et al.*, 2024).

Se confirma, por lo tanto, la presencia de *A. taihangensis* en nuestra región. Aun así, y a pesar de que hay muchos trabajos citando su presencia en varios países, todavía no existe una certeza de su efectividad para controlar las poblaciones establecidas de ailanto. Hay que ver cómo evolucionan sus poblaciones y analizar el grado de afectación que pueden ejercer sobre las poblaciones naturales de ejemplares de ailanto antes de recomendar su uso en programas de control biológico.



Figura 1. Brote apical afectado por *Aculus taihangensis* (izq.) y sin afectación (der).

Figura 2. Hojas de ailanto con deformaciones por la presencia de *Aculus taihangensis*.

Referencias

- BIELSKI J, PFEIFFER D, OCHOA R, BROWN A & ULSAMER A (2024) New state records of *Aculops ailanthi* (Lin, Jin, and Kuang) (Acariformes; Trombidiformes: Prostigmata: Eriophyidae), in USA; a pest or biological control agent of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle? Proceedings of the Entomological Society of Washington, 126, 1-7.
- DE LILLO E, PANZARINO O, LOVERRE P, VALENZANO D, MATTIA C, MARINI F, AUGÉ M & CRISTOFARO M (2017) New eriophyoid mites from Italy. IV. Mites associated with weed plants. Systematic and Applied Acarology, 22, 2256-2272.
- DE LILLO E, MARINI F, CRISTOFARO M, VALENZANO D, PETANOVIĆ R, VIDOVIĆ B, CVRKOVIĆ T & BON MC (2022) Integrative taxonomy and synonymization of *Aculus mosoniensis* (Acari: Eriophyidae), a potential biological control agent for Tree of Heaven (*Ailanthus altissima*). Insects, 13, 489.
- DING J, WU Y, ZHENG H, FU W, REARDON R & LIU M (2006) Assessing potential biological control of the invasive plant, tree-of-heaven, *Ailanthus altissima*. Biocontrol Science and Technology, 16, 547-566.
- GIUBILEI I, MI DRAIS, COS D & MAZZAGLIA A (2025) Occurrence of *Neofusicoccum parvum* Associated With Dieback of *Ailanthus altissima* in Italy. Forest Pathology, 55, e70038.
- KASHEFI J, VIDOVIĆ B, GUERMACHE F & CRISTOFARO C (2022) Occurrence of *Aculus mosoniensis* (Ripka, 2014) (Acari, Prostigmata, Eriophyoidea) on Tree of Heaven (*Ailanthus altissima* Mill.) is expanding across Europe. First record in France confirmed by barcoding. Phytoparasitica, 50, 391-398.
- MARINI F, PROFETA E, VIDOVIĆ B, PETANOVIĆ R, DE LILLO E, WEYL P, HINZ HL, MOF-FAT CE, BON MC, CVRKOVIĆ T, KASHEFI J, SFORZA RFH & CRISTOFARO M (2021) Field assessment of the host range of *Aculus mosoniensis* (Acari: Eriophyidae), a biological control agent of the Tree of Heaven (*Ailanthus altissima*). Insects, 12, 637.
- MORAGREGA C, CAROL J, BISBE E, FABREGAS E & LORENTE I (2021) First report of verticillium wilt and mortality of *Ailanthus altissima* caused by *Verticillium dahliae* and *V. albo-atrum sensulato* in Spain. Plant Disease, 105, 3754.
- OZMAN-SULLIVAN S, SULLIVAN G, CHETVERIKOV P & KAPLAN E (2023) *Aculus taihangensis* (Acari: Prostigmata: Eriophyidae), a potential biological control agent identified from the highly invasive pest plant, tree of heaven, in Türkiye. Acarological Studies, 5, 99-104
- RIPKA G & ÉRSEK L (2014) A new Aculops species (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea) on *Ailanthus altissima* from Hungary. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica, 49, 49-56.
- SKVARLA MJ, OCHOA R, ULSAMER A & AMRINE J (2021) The eriophyid mite *Aculops ailanthi* Lin, Jin, and Kuang, 1997 (Acariformes: Prostigmata: Eriophyidae) from tree-of-heaven in the United States - new state records and morphological observations. Acarologia, 61, 121-127.
- SOLER J, SOLER L, IZQUIERDO J & VILAMÚ J (2019) Control y capacidad de rebrote de «*Ailanthus altissima*». En XVII Congreso de la Sociedad Española de Malherbiología (8-10 octubre, Vigo, España) 408-413.

P8. Efecto de diferentes estrategias de riego en la abundancia de malas hierbas e impacto en el rendimiento del arroz

P8. Effects of water management strategies on weed abundance and rice yield

PLA E¹, CATALÀ-FORNER M¹, PÉREZ-MÉNDEZ N¹

¹IRTA Amposta, Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias, Amposta, Tarragona, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29298

Email (por orden de autoría): eva.pla@irta.cat; mar.catala@irta.cat; nestor.perez@irta.cat

En los arrozales mediterráneos, el manejo del agua es un factor determinante tanto para el rendimiento del cultivo como para la biodiversidad asociada. En el Delta del Ebro, el sistema tradicional de inundación continua genera condiciones anóxicas en el suelo que afectan diversos procesos agronómicos y ecológicos. En este contexto, las malas hierbas representan uno de los principales desafíos para el cultivo debido a la reducción de materias activas herbicidas disponibles y a la aparición de biotipos resistentes. La adopción de nuevas estrategias de manejo del agua, orientadas a hacer frente a escenarios de escasez hídrica, puede modificar las condiciones de inundación y aireación del suelo, influyendo sobre la emergencia, el establecimiento y la competencia de las malas hierbas y, en consecuencia, su efecto sobre la producción. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres estrategias de manejo hídrico —Convencional, Mid-Season Drainage (secado a mitad de ciclo) y Alternate Wetting and Drying (riego intermitente)— sobre la abundancia y composición de las malas hierbas, así como sobre el rendimiento del arroz. Para ello, se realizó un ensayo de campo en parcelas independientes del IRTA Amposta durante las campañas de 2022 y 2023. En cada parcela se estableció una zona sin aplicación de herbicidas con el fin de evaluar la infestación natural y su impacto. Los resultados mostraron que el manejo del agua influye significativamente en la abundancia y composición de las malas hierbas, generando respuestas diferenciadas en el rendimiento del cultivo.

Palabras clave: Arroz, malas hierbas, manejo de agua.

In Mediterranean rice fields, water management is a key factor influencing both crop yield and the dynamics of associated biodiversity. In the Ebro Delta, the conventional continuous flooding system creates anoxic soil conditions that affect multiple agronomic and ecological processes. In this context, weeds have become one of the main constraints to rice production in recent years due to the progressive restriction of herbicidal active ingredients and the emergence of resistant biotypes. The implementation of new water management strategies aimed at addressing potential drought scenarios may alter soil flooding and aeration conditions, directly affecting weed emergence and competition processes. These changes may favor or limit certain species, thereby modifying weed abundance and composition and, consequently, their impact on the crop. The aim of this study was to evaluate the effect of three water management systems—Conventional, Mid-Season Drainage, and Alternate Wetting and Drying—on weed abundance and composition, as well as their effect on rice yield. A field experiment was conducted in independent plots at IRTA Amposta during the 2022 and 2023 growing seasons. In each plot, a herbicide-free area was established to assess natural weed infestation and its impact on the crop. The results showed that water management significantly influenced weed abundance and composition, leading to differential effects on crop yield. This study provides relevant information to support decision-making in rice crop management, contributing to the selection of more suitable water management strategies under water-deficit scenarios, with the aim of minimizing weed impact and optimizing yield.

Keywords: *Rice, weeds, water management.*

1. Introducción

En el contexto de los arrozales mediterráneos, las prácticas de manejo del agua juegan un papel determinante tanto en la producción agrícola como en la configuración de la biodiversidad presente en el sistema. Tradicionalmente, el cultivo del arroz se ha basado en un sistema de inundación continua, manteniendo una lámina de agua de entre 5 y 20 cm durante prácticamente todo el ciclo fenológico. Este sistema genera condiciones anóxicas en el suelo que influyen en numerosos procesos agronómicos y ecológicos, incluyendo la disponibilidad de nutrientes, las emisiones de gases de efecto invernadero (Martínez *et al.*, 2022; Linqvist *et al.*, 2015) y el desarrollo de la flora arvense.

En un contexto de creciente escasez de recursos hídricos, se han propuesto estrategias de manejo alternativas como el riego intermitente (*Alternate Wetting and Drying*, AWD), promovido por la FAO, y el drenaje a mitad de ciclo (*Mid-Season Drainage*, MSD). El sistema AWD se basa en la alternancia de periodos de inundación y secado controlado del suelo en momentos concretos del ciclo del cultivo, especialmente antes y después del inicio de panícula, manteniendo la inundación en esta fase crítica para evitar estrés hídrico (Bouman, 2007). Por su parte, el MSD consiste en un drenaje temporal de las parcelas durante aproximadamente 12 días antes del inicio de panícula, seguido de la reinundación hasta el final del ciclo.

Más allá de su impacto sobre el uso del agua, estas estrategias modifican de forma sustancial las condiciones de oxigenación del suelo, lo que puede afectar directamente a los procesos de germinación, emergencia y competencia de las malas hierbas. En los últimos años, las malas hierbas se han consolidado como uno de los problemas más importantes del cultivo del arroz en sistemas mediterráneos, como el Delta del Ebro, debido a su elevada capacidad de adaptación y a la reducción de herramientas químicas disponibles. A esta problemática se suma la aparición de biotipos resistentes a herbicidas (Osuna *et al.*, 2021; Gómez de Barreda *et al.*, 2021; Damalas & Koutroubas, 2023).

En este contexto, la selección de la estrategia de manejo del agua más adecuada se presenta como una herramienta clave. No solo es necesario identificar aquellas estrategias que tengan un menor impacto negativo sobre el rendimiento del cultivo, sino también evaluar su efecto sobre la dinámica de las malas hierbas, dada su creciente relevancia agronómica. Los cambios en los regímenes de inundación y aireación del suelo pueden favorecer o limitar determinadas especies, alterando su abundancia y composición, y por tanto su impacto sobre el cultivo.

Por ello, el presente estudio tiene como objetivo analizar el efecto de tres manejos hídricos —inundación continua, AWD y MSD— sobre la abundancia y composición de malas hierbas, así como sobre el rendimiento del arroz, con el fin de contribuir al diseño de estrategias de manejo más sostenibles y eficaces en escenarios de limitación hídrica.

2. Material y métodos

El ensayo se llevó a cabo durante las campañas 2022 y 2023 en las instalaciones del IRTA en Amposta. Se estableció un diseño experimental con tres estrategias de manejo del agua y cinco repeticiones por tratamiento, distribuidas en un total de 15 parcelas de 10 × 11 m (110 m²). Cada parcela dispuso de un sistema de riego independiente, con entrada y salida de agua propias, así como elementos de separación que permitieron evitar interferencias hídricas entre parcelas contiguas. El cultivo se manejó siguiendo las prácticas agronómicas habituales de la zona (fertilización y control fitosanitario), utilizando la variedad JSendra.

En cada parcela elemental se delimitó una subparcela de 5 × 2 m (10 m²) sin aplicación de herbicidas, destinada a la evaluación de la infestación natural de malas hierbas. La abundancia y la composición de las malas hierbas se evaluaron tanto en la parcela elemental como en la subparcela sin tratamiento herbicida. En cada una de ellas se valoraron tres cuadrantes de 0,25 m² cada uno, en los que se registró el número de plantas o individuos de cada especie de malas hierbas presente. Asimismo, se determinó el rendimiento en grano tanto en las subparcelas sin aplicación de herbicidas como en las zonas de la parcela con manejo herbicida convencional, con el fin de cuantificar el impacto de las malas hierbas sobre la producción bajo cada estrategia de manejo del agua.

Se evaluaron tres estrategias de riego que se detallan a continuación (figura 1):

- **Riego convencional (CON):**
Inundación continua con una lámina de agua de 5-20 cm durante todo el ciclo del cultivo (mayo–septiembre).
- **Riego intermitente (AWD):**
Sistema basado en ciclos de inundación y secado, promovido por la FAO. En cada ciclo de secado las parcelas se drenaron hasta –15 cm respecto a la superficie del suelo (controlado mediante piezómetros) antes de re-inundar, manteniendo la inundación durante la fase de inicio de panícula (IP).
- **Drenaje a mitad de ciclo (MSD):**
Secado temporal de las parcelas durante aproximadamente 12 días antes del inicio de panícula, seguido de reinundación continua hasta el final del ciclo.

Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el software JMP® Pro 19 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE. UU.). Cuando el efecto del tratamiento fue significativo, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey HSD ($p \leq 0,05$).

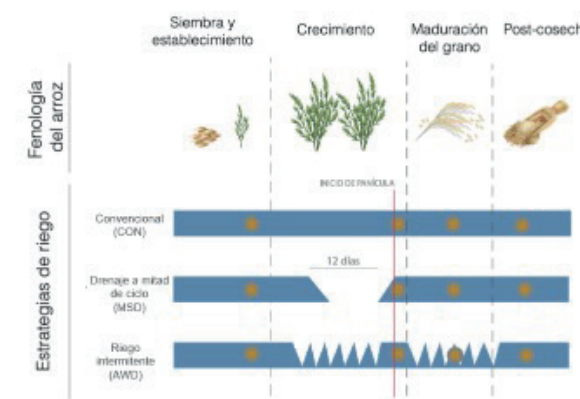


Figura 1. Estrategias de riego evaluadas en el ensayo.

3. Resultados y discusión

El análisis de la comunidad de malas hierbas evidenció que la respuesta de las distintas especies al manejo del agua no siguió un patrón homogéneo, sino que estuvo condicionada por sus rasgos ecofisiológicos y su grado de adaptación a las condiciones de inundación y drenaje, determinando diferencias en su establecimiento y competitividad. En este contexto, las ciperáceas mostraron una respuesta consistente, alcanzando las mayores abundancias bajo el sistema AWD (180-260 plantas m⁻²), mientras que en los

tratamientos CON y MSD las densidades se mantuvieron considerablemente inferiores (≈ 25 plantas m^{-2}) en ambas campañas (figura 2). Este comportamiento sugiere una mayor capacidad de adaptación de este grupo a las condiciones de alternancia hídrica, posiblemente debido a su elevada plasticidad ecológica (Rao *et al.*, 2007). Por el contrario, *Echinochloa* spp. presentó una respuesta dependiente de la campaña (figura 3), registrando una mayor abundancia en el tratamiento CON durante 2022 (125 plantas m^{-2}), mientras que en 2023 no se detectaron diferencias entre manejos, con densidades reducidas en todos los tratamientos (≈ 10 plantas m^{-2}), lo que refleja una marcada sensibilidad a la variabilidad agroclimática interanual (Chauhan & Johnson, 2011). *Heteranthera reniformis* mostró un comportamiento menos consistente. Su abundancia también estuvo influenciada por la campaña y el manejo del agua (figura 4). En 2022 no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (AWD: ≈ 38 ind/ m^2 , CON: ≈ 32 ind/ m^2 y MSD: ≈ 60 ind/ m^2). En 2023, el tratamiento CON presentó la mayor abundancia (≈ 150 ind/ m^2), significativamente superior a AWD (≈ 40 ind/ m^2), mientras que MSD mostró valores intermedios (≈ 90 ind/ m^2) sin diferir de los otros tratamientos. Por último, la abundancia de *Ammannia* spp. estuvo condicionada por el manejo del agua únicamente en 2022 (figura 5), siendo significativamente mayor en AWD (≈ 215 ind/ m^2) que en CON (≈ 48 ind/ m^2) y MSD (≈ 103 ind/ m^2), sin diferencias entre estos dos últimos. En 2023, la abundancia fue muy baja ($\approx 2-5$ ind/ m^2) y no se observaron diferencias entre tratamientos.

En conjunto, el manejo del agua actuó como un factor de selección de la comunidad de malas hierbas, favoreciendo a las ciperáceas y *Ammannia* spp. bajo AWD, mientras que la inundación continua (CON) promovió una mayor abundancia, de forma dependiente de la campaña, de *Echinochloa* spp. y *Heteranthera reniformis*. En contraste, el tratamiento MSD mostró un comportamiento generalmente intermedio, sin favorecer de forma consistente a ninguna de las especies evaluadas, lo que confirma la influencia del régimen hídrico en la composición de la flora arvense del arroz (Dharani *et al.*, 2025).

En condiciones de ausencia de herbicidas, la elevada presión de infestación de malas hierbas puede comprometer seriamente la competitividad del cultivo del arroz y traducirse en pérdidas significativas de rendimiento (Chauhan & Johnson, 2011). Esta tendencia se observó claramente durante la campaña de 2022 (figura 6), donde las parcelas sin aplicación de herbicida presentaron menores rendimientos y una mayor variabilidad entre tratamientos, especialmente bajo los manejos AWD y CON, en los que algunos valores descendieron por debajo de 2000 kg ha^{-1} . Por el contrario, las parcelas tratadas con herbicida mantuvieron rendimientos elevados, generalmente comprendidos entre 8000 y 10000 kg ha^{-1} , independientemente del sistema de manejo del agua aplicado.

En la campaña de 2023, el comportamiento de los tratamientos difirió respecto al año anterior (figura 7). El sistema AWD presentó diferencias significativas entre parcelas control y sin herbicida, mostrando una mayor sensibilidad a la competencia de las malas hierbas. Las parcelas AWD sin tratamiento herbicida registraron los rendimientos más bajos del estudio, lo que sugirió que la alternancia entre periodos de inundación y secado favoreció la emergencia y el desarrollo de especies arvenses. Por otro lado, los tratamientos CON y MSD no mostraron diferencias significativas entre parcelas con y sin herbicida, aunque la ausencia de control químico continuó asociándose a una mayor dispersión de los datos y a una reducción general del rendimiento. Esta respuesta sugirió una mayor estabilidad productiva de dichos sistemas frente a la competencia de malas hierbas, posiblemente debido al mantenimiento de condiciones de inundación menos favorables para la germinación y establecimiento de algunas especies arvenses.

En conjunto, los resultados sugieren que el manejo del agua modula el efecto de las malas hierbas sobre el rendimiento del arroz, siendo los sistemas AWD más sensibles a la competencia cuando no se realiza un control herbicida eficaz (Vitali *et al.*, 2024).

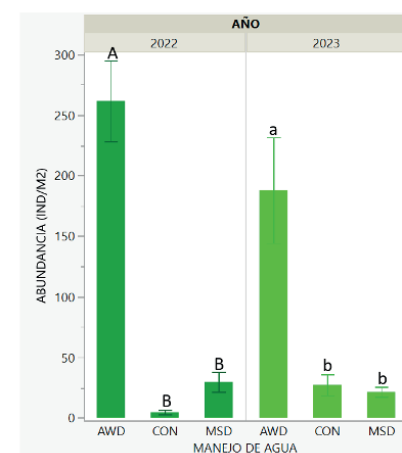


Figura 2. Abundancia de Cyperaceae (individuos m^{-2}) según el manejo hídrico en 2022 y 2023. Las barras representan la media $\pm$ error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según ANOVA y comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0,05$).

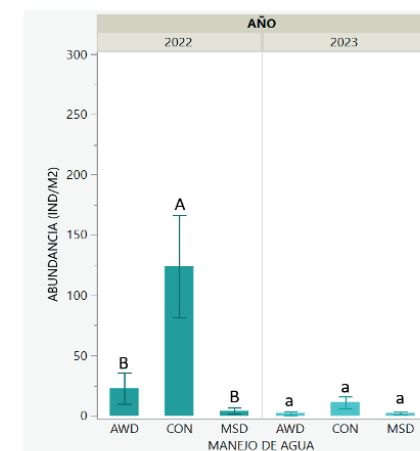


Figura 3. Abundancia de *Echinochloa* spp. (individuos m^{-2}) según el manejo hídrico en 2022 y 2023. Las barras representan la media $\pm$ error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según ANOVA y comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0,05$).



Figura 4. Abundancia de *Heteranthera reniformis* (individuos m^{-2}) según el manejo hídrico en 2022 y 2023. Las barras representan la media $\pm$ error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según ANOVA y comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0,05$).

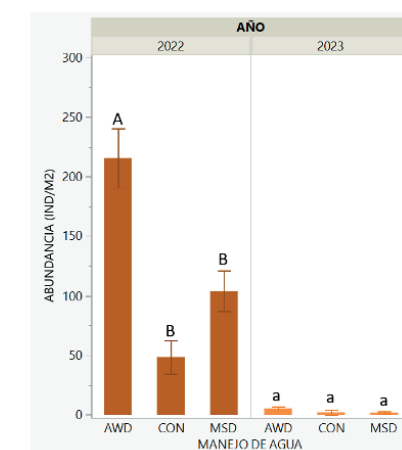


Figura 5. Abundancia de *Ammannia* spp. (individuos m^{-2}) según el manejo hídrico en 2022 y 2023. Las barras representan la media $\pm$ error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según ANOVA y comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0,05$).

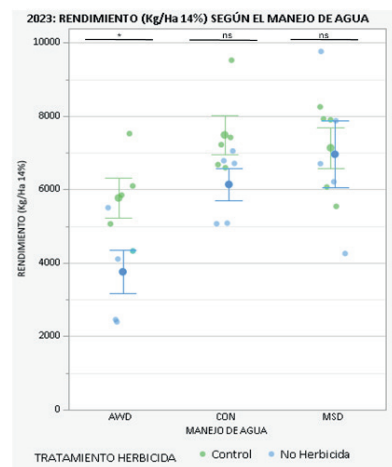


Figura 6. Rendimiento en grano del arroz (kg ha^{-1} al 14% de humedad) según el manejo hídrico y el tratamiento herbicida en 2022. Las diferencias entre control y no herbicida se evaluaron mediante ANOVA para cada manejo de agua. ns: diferencias no significativas ($p > 0,05$).

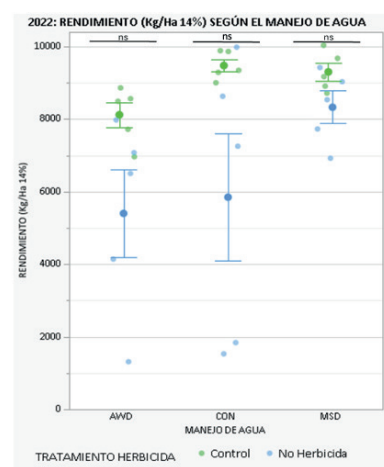


Figura 7. Rendimiento en grano del arroz (kg ha^{-1} al 14% de humedad) según el manejo hídrico y el tratamiento herbicida en 2023. Las diferencias entre control y no herbicida se evaluaron mediante ANOVA para cada manejo de agua. ns: diferencias no significativas ($p > 0,05$).

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que el manejo hídrico modifica significativamente la composición de la comunidad de malas hierbas y condiciona el rendimiento del cultivo de arroz. No obstante, la respuesta de las distintas especies depende de sus características ecofisiológicas y de las condiciones de cada campaña.

El sistema AWD favoreció de forma consistente el desarrollo de las ciperáceas y en menor medida *Amananthia* spp., mientras que el manejo convencional (CON) tendió a favorecer *Echinochloa* spp. y *Heteranthera reniformis*. Por su parte, el sistema MSD mostró un comportamiento intermedio, sin una dominancia clara de ningún grupo de malas hierbas. La ausencia de control herbicida redujo el rendimiento en todos los tratamientos, siendo AWD el sistema más afectado por la competencia de las malas hierbas, mientras que CON y MSD mostraron una mayor estabilidad productiva.

En conjunto, estos resultados ponen de manifiesto que la implantación de estrategias de ahorro de agua debe ir acompañada de un manejo integrado de las malas hierbas para mantener la productividad del cultivo, especialmente en sistemas AWD. Asimismo, antes de trasladar estas estrategias de manejo a los agricultores, es necesario continuar con la investigación mediante futuros estudios que aborden la variabilidad interanual y analicen la influencia de factores como la respuesta varietal, las características del suelo (especialmente la textura y la salinidad) y otros aspectos agronómicos que puedan condicionar su eficacia.

5. Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el proyecto “Mejora de la producción de cereales bajo estrés biótico y abiótico (CERESTRES)” (PID2020-118650RR-C31), en el marco de la convocatoria 2020 de

«Proyectos de I+D+i – Proyectos combinados» del Ministerio de Ciencia e Innovación y por el proyecto HERBESREG financiado por la “Actuació del Pla estratègic de la PAC 2023-2027” cofinanciada por el MAPA, la Unión Europea y la Generalitat de Catalunya.

Referencias

- BOUMAN BAM, LAMPAYAN RM & TUONG TP (2007) Water management in irrigated rice: Coping with water scarcity. Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute. ISBN 978-971-22-0219-3.
- CHAUHAN BS & JOHNSON DE (2011) Row spacing and weed control timing affect yield of aerobic rice. Field Crops Research, 121, 226-231.
- CHAUHAN BS & JOHNSON DE (2011) Ecological studies on *Echinochloa crus-galli* and the implications for weed management in direct-seeded rice. Crop Protection, 30, 1385-1391.
- DAMALAS CA & KOUTROUBAS SD (2023) Herbicide-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in global rice production. Weed Biology and Management, 23, 23-33.
- DHARANI DP, SUCHISMITA T, RABIRATNA D, RAY M, SETHY AK, DASH AC, PREKSHYA D & PRAMEELA G (2026) Study of weed growth and its interaction with direct-seeded rice (DSR) under different herbicides and irrigation conditions. Plant Science Today, 13(sp2).
- GÓMEZ DE BARREDA D, PARDO G, OSCA JM, CATALA-FORNER M, CONSOLA S, GARNICA I, LÓPEZ-MARTÍNEZ N, PALMERÍN JA & OSUNA MD (2021) An overview of rice cultivation in Spain and the management of herbicide-resistant weeds. Agronomy, 11, 1095.
- LINQUIST BA, ANDERS MM, ADVIENTO-BORBE MAA, CHANEY RL, NALLEY LL, DA ROSA EFF & VAN KESSEL C (2015) Reducing greenhouse gas emissions, water use, and grain arsenic levels in rice systems. Global Change Biology, 21, 407-417.
- MARTÍNEZ-EIXARCH M, BELTRÁN-MIRALLES M, GUÉRY S & ALCARAZ C (2022) Extended methane mitigation capacity of a mid-season drainage beyond the rice growing season: a case in Spain. Environmental Monitoring and Assessment, 194, 648.
- OSUNA MD, DE SANTIAGO A, QUILES JM & PALMERÍN JA (2021) Situación actual de las resistencias a herbicidas en el cultivo de arroz en España. Phytoma España, 328, 26-30.
- RAO AN, JOHNSON DE, SIVAPRASAD B, LADHA JK & MORTIMER AM (2007) Weed management in direct-seeded rice. Advances in Agronomy, 93, 153-255.
- SAS INSTITUTE INC (2025) JMP® Pro (Version 19) [Computer software]. SAS Institute Inc.
- VITALI A, MORETTI B, BERTORA C, MINIOTTI EF, TENNI D, ROMANI M, FACCHI A, MARTINA M, FOGLIATTO S, VIDOTTO F, CELI L & SAID-PULLICINO D (2024) The environmental and agronomic benefits and trade-offs linked with the adoption of alternate wetting and drying in temperate rice paddies. Agricultural Water Management, 295, 108783.



SESIÓN 4

Control químico y resistencia a herbicidas

O1. *Amaranthus viridis* desafía al glifosato: primer caso documentado en Europa

O1. *Amaranthus viridis* challenges glyphosate: first documented case in Europe

JIMÉNEZ-MARTÍNEZ C¹, MANICARDI A¹, MORA G¹, LOZANO-JUSTE J², GIL-MONREAL M³, TORRA J¹

¹Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, Universidad de Lleida-AGROTECNIO, Lleida, España; ²Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), Universitat Politècnica de València (UPV), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Valencia, España; ³Instituto de Investigación Multidisciplinar en Biología Aplicada (IMAB), Departamento de Ciencias, Universidad Pública de Navarra (UPNA), Campus de Arrosadía, Pamplona, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29299

Email (por orden de autoría): clara.jimenez@udl.cat; alfredo.manicardi@udl.cat; german.mora@udl.cat; lojujo@ibmcp.upv.es; mirian.gil@unavarra.es; joel.torra@udl.cat

Amaranthus viridis, especie nativa de América del Sur y Central, está presente en España en cultivos perennes, donde su manejo combina métodos mecánicos y el uso de glifosato. Este herbicida no selectivo inhibe la enzima EPSPS y su aplicación continuada puede favorecer la selección de poblaciones resistentes. En un campo de cítricos de Gandía (Valencia), sometido durante años a una elevada presión de selección por glifosato, se detectaron individuos capaces de sobrevivir al tratamiento. El objetivo de este trabajo fue (i) evaluar la respuesta al glifosato de poblaciones españolas de *A. viridis* sospechosas de resistencia e (ii) identificar el mecanismo implicado. Se realizaron ensayos de dosis-respuesta, cuantificación de siquimato y análisis moleculares en las poblaciones GAN y F1-GAN, procedentes del campo de cítricos, comparándolas con una población susceptible (VAL). Ante la ausencia de una población sensible de referencia de *A. viridis*, se utilizaron dos poblaciones de *A. palmeri* previamente caracterizadas: una sensible (USA) y otra resistente (MB). Los valores LD₅₀ de MB, GAN y F1-GAN superaron los 400 g e.a. ha⁻¹, mientras que USA y VAL presentaron valores de 196 y 194 g e.a. ha⁻¹. Los análisis moleculares en individuos supervivientes indican que la resistencia estaría asociada a un aumento del número de copias del gen *EPSPS*, sin detectarse mutaciones puntuales en la proteína diana. El contenido de siquimato aumentó significativamente en las poblaciones sensibles, mientras que en GAN y F1-GAN no se observó una acumulación significativa. Este trabajo constituye el primer caso de resistencia de *A. viridis* a glifosato descrito en Europa.

Palabras clave: *Amaranthus*, cítricos, inhibidores de la EPSPS, herbicida.

Amaranthus viridis, a species native to South and Central America, is present in Spain in perennial crops, where its management combines mechanical methods and the use of glyphosate. This non-selective herbicide inhibits the EPSPS enzyme, and its continued application can favor the selection of resistant populations. In a citrus field in Valencia, which had been subjected to high glyphosate selection pressure for years, individuals capable of surviving the treatment were detected. The objective of this study was to (i) evaluate the response to glyphosate of Spanish *A. viridis* populations suspected of resistance and (ii) identify the mechanism involved. Dose-response assays, shikimate quantification, and molecular analyses were per-

formed on the GAN and F1-GAN populations from the citrus crops, comparing them with a susceptible population VAL. In the absence of a reference sensitive *A. viridis* population, two previously characterized *A. palmeri* populations were used: one sensitive (USA) and one resistant (MB). The LD₅₀ values for MB, GAN, and F1-GAN exceeded 400 g a.e. ha⁻¹, while USA and VAL presented values of 196 and 194 g a.e. ha⁻¹. Molecular analyses in surviving individuals indicate that resistance is associated with an increase in the copy number of the EPSPS gen, with no point mutations detected in the target protein. Shikimate content increased significantly in the sensitive populations, whereas no significant accumulation was observed in GAN and F1-GAN. This study constitutes the first reported case of *A. viridis* resistance to glyphosate in Europe.

Keywords: *Amaranthus*, citrus crops, EPSPS inhibitors, herbicide.

1. Introducción

Los primeros casos documentados de resistencia a herbicidas se registraron en la década de 1960, marcando el inicio de un problema que persiste hasta la actualidad, con 541 casos de malas hierbas resistentes a nivel mundial (Heap, 2026). El glifosato es un herbicida de amplio espectro cuyo uso masivo ha generado una fuerte presión de selección, induciendo la evolución de biotipos resistentes (Duke & Powles, 2008). Inhibe la enzima EPSPS (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa), irrumpiendo en la biosíntesis de aminoácidos aromáticos. Como consecuencia, se produce una acumulación de siquimato, comúnmente utilizado como indicador bioquímico de la sensibilidad o resistencia al herbicida (Fernández-Escalada *et al.*, 2016). Entre las malas hierbas más problemáticas a nivel global destaca el género *Amaranthus*, con especies como *A. palmeri*, *A. tuberculatus* y *A. hybridus* (Braz & Takano, 2022). Los mecanismos implicados abarcan desde mutaciones puntuales y reducción de la translocación hasta la amplificación del gen *EPSPS* (Gaines *et al.*, 2020). En la península ibérica, *Amaranthus viridis* es una especie naturalizada en ambientes ruderales y regadíos mediterráneos (Carretero, 1990), representa una nueva amenaza tras detectarse individuos supervivientes a este herbicida en un cultivo de cítricos en Gandía (Valencia). El objetivo de este trabajo es evaluar la (i) respuesta al glifosato de poblaciones españolas sospechosas de resistencia e (ii) identificar los mecanismos implicados.

Material y métodos

2.1 Bioensayo dosis-respuesta

Las semillas germinaron en turba durante 14 días (16 h luz a 30 °C / 8 h oscuridad a 22 °C). Las plántulas se trasplantaron a una mezcla de suelo, perlita y turba (2:1:7), con riego diario. En estadio BBCH 14-15 se aplicó glifosato (Roundup Plus®, 36% p/v) (tabla 1), (3 repeticiones, 4-6 plantas/dosis). A los 21 días post-tratamiento, se determinó la supervivencia y la reducción del peso fresco (FW) y se calcularon los valores LD₅₀ (dosis que provoca el 50 % de mortalidad) y GR₅₀ (dosis que reduce el 50 % del peso fresco) y el factor de resistencia (RF) respecto población sensible de cada especie. Ante la falta de una población sensible estándar de *A. viridis*, se emplearon poblaciones caracterizadas de *A. palmeri* (sensible USA¹ y resistente MB²) (Bravo *et al.*, 2017; Manicardi *et al.*, 2025) como modelo de referencia para contrastar los patrones de susceptibilidad y resistencia.

Tabla 1. Descripción de las poblaciones de *Amaranthus* incluidas en este estudio.

ESPECIE	POBLACIÓN	LOCALIZACIÓN	PROCEDENCIA	RANGO DE DOSIS (G E.A. HA-1)
A. palmeri	USA1	Georgia (EE. UU.)	Vegetales orgánicos	0, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600
	MB2	Montblanc (España)	Margen de carretera	0,100, 200, 400, 800, 1600
A. viridis	VAL	Valencia (España)	Entorno urbano	0, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600
	GAN	Gandía (España)	Huerto de cítricos	0,100, 200, 400, 800, 1600
	F1-GAN	Gandía (España)	Huerto de cítricos	0,100, 200, 400, 800, 1600

2.2 Contenido de siquimato

Se tomaron tres discos foliares de 4 mm de diámetro de la hoja más joven, 72 h después de la aplicación de 400 g e.a. ha.⁻¹ de glifosato, al igual que de plantas no tratadas (n=5; plantas/población). Las muestras se congelaron a -80 °C. La extracción y cuantificación se realizaron según Koger *et al.* (2005) y Cromartie & Polge (2000) por espectrofotometría midiendo la absorbancia a una longitud de onda de 380 nm.

2.3 Extracción de ADN

Se recolectó tejido foliar de plantas supervivientes (MB, GAN, F1-GAN) tratadas con 400 g e.a. ha.⁻¹ y sin tratar (VAL, USA). El ADN se extrajo según el protocolo descrito por Fernández-Escalda *et al.* (2016). La concentración y pureza del ADN se evaluaron con NanoDrop Lite Plus y su integridad se verificó por electroforesis en gel de agarosa al 1 %.

2.4 Secuenciación región TAP y variación del número de copias (CNV)

Se amplificó un fragmento de 195 pb de la región Thr102-Ala103-Pro196 (TAP) del gen EPSPS con los primers EGF y EGR (Gaines *et al.*, 2010). Para la secuenciación y CNV se incluyó un total de 22 plantas, VAL, USA y MB (), GAN () y el grupo F1-GAN (). Los productos se verificaron en gel de agarosa (1,5 %), se purificaron mediante kit (FavorPrep™) y se secuenciaron (STAB VIDA). Las secuencias se alinearon en Geneious Prime® 2026.0.2 usando FJ861243.1 (*A. palmeri*) y KT833340.1 (*A. viridis*) como referencia. El número relativo de copias de *EPSPS* se determinó mediante qPCR (con tres réplicas técnicas) utilizando el método comparativo (Livak & Schmittgen, 2001). Los niveles se normalizaron frente al gen de actina (*ACT*) como referencia, amplificado con los primers act.a.1f y act.a.2r (Lorentz *et al.*, 2014) y se utilizó la población USA/VAL como calibrador interno.

2.5 Análisis estadístico

Se utilizó R (v. 4.4.1) y el paquete “drc” para ajustar modelos log-logísticos de cuatro parámetros a los datos de supervivencia y FW. Las poblaciones se compararon mediante la función “EDcomp” (test de Wald, método Delta, α = 0.05). Los niveles de ácido siquímico se evaluaron con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba t de Welch (α = 0.01).

3. Resultados y discusión

3.1 Respuesta fisiológica a inhibidores de EPSPS

Las curvas dosis-respuesta mostraron que VAL se comportó como USA, controlada completamente a 400 g e.a. ha.⁻¹. En contraste, MB, GAN y F1-GAN presentaron supervivencias del 72 %, 56 % y 58 % respectivamente, con LD₅₀ superiores a 400 g e.a. ha.⁻¹. Para la reducción de peso fresco, USA y VAL

alcanzaron 100 % a 400 g e.a. ha⁻¹, sin embargo, MB no llegó al 70 % y GAN y F1-GAN superaron el 80 %, indicando un impacto significativo en la biomasa (figura 1).

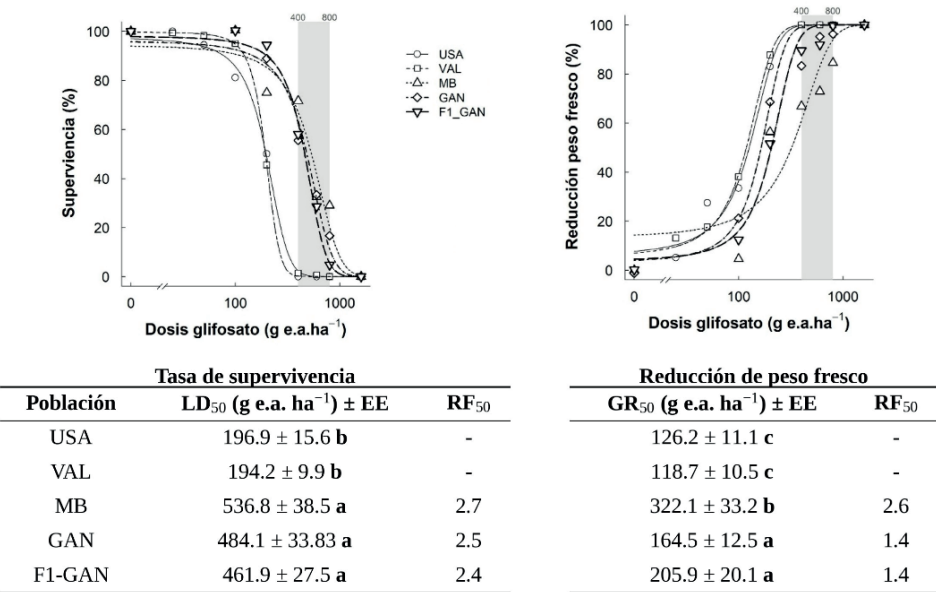


Figura 1. Respuesta a glifosato en las poblaciones USA, VAL, MB, GAN y F1-GAN: (izquierda) supervivencia (%) y (derecha) reducción del peso fresco (%). Las bandas verticales en gris indican la dosis mínima y máxima (400 y 800 g e.a. ha⁻¹) recomendadas en campo en España en 2025. La tabla inferior muestra los parámetros LD₅₀ y GR₅₀ (g e.a. ha⁻¹ ± EE) y RF₅₀. Letras distintas indican diferencias significativas entre poblaciones.

Las poblaciones de *A. viridis* siguieron el patrón de referencia de *A. palmeri*, con diferencias significativas en los LD₅₀ y GR₅₀, evidenciándose la sensibilidad de la población VAL y una resistencia emergente en las poblaciones GAN y F1-GAN. Todas las poblaciones presentaron un aumento en el contenido de siquimato tras la aplicación de glifosato; sin embargo, USA y VAL acumularon cantidades significativamente mayores en comparación con MB, GAN y F1-GAN, que no mostraron incrementos significativos (figura 2). La mayor acumulación de siquimato en USA y VAL confirma su sensibilidad al glifosato, ya que refleja una inhibición efectiva de la EPSPS. En contraste, los bajos niveles en MB, GAN y F1-GAN indican una menor inhibición de esta ruta, consistente con los mayores valores de LD₅₀ y GR₅₀ observados, por tanto, con el desarrollo de resistencia. En conjunto, los valores de GAN y F1-GAN sugieren una fase temprana de evolución de resistencia ya que son menores al estándar resistente (MB). Los bajos factores de resistencia son comparables con otros casos descritos en *Amaranthus* (Lorentz *et al.*, 2014; Alcántara-de La Cruz *et al.*, 2020; Schneider *et al.*, 2024). En sistemas mediterráneos irrigados, como los cultivos de cítricos, donde las condiciones favorecen el crecimiento continuo y la recuperación tardía de *A. viridis*, las plantas supervivientes podrían contribuir al banco de semillas y favorecer la selección progresiva de resistencia bajo presión continua de glifosato.

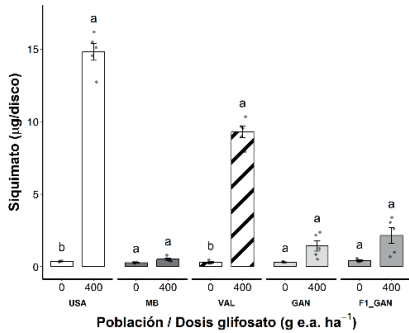


Figura 2. Contenido de siquimato (μg disco⁻¹) en las poblaciones USA, MB, VAL, GAN y F1-GAN a 0 y 400 g e.a. ha⁻¹ de glifosato. Las barras verticales representan la media ± EE. Letras distintas indican diferencias significativas entre dosis dentro de cada población.

3.2 Caracterización del mecanismo de resistencia

La secuenciación confirmó la ausencia de mutaciones en la región conservada del gen *EPSPS* (TAP), descartando la presencia de las sustituciones asociadas con resistencia (Gaines *et al.*; 2020). Los resultados de CNV mostraron amplificación del gen *EPSPS* en las poblaciones evaluadas en comparación con el estándar sensible. GAN y F1-GAN muestran una amplificación de entre 5 y 10 copias en casi la totalidad de los individuos analizados (figura 3).

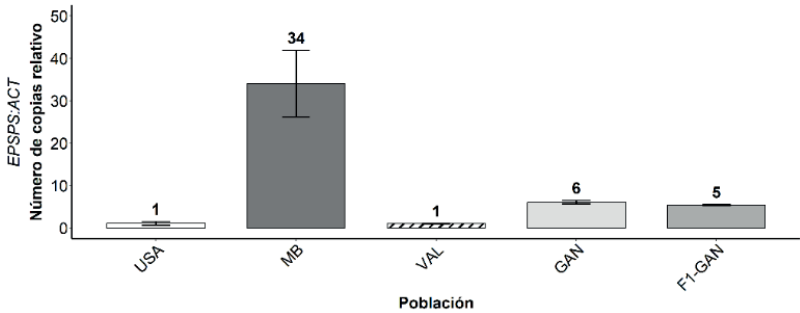


Figura 3. Variación del número de copias relativo del gen *EPSPS*. USA y MB (*A. palmeri*) y VAL, GAN y F1-GAN (*A. viridis*). Los valores representan la media por población (± EE).

El aumento en el número de copias del gen *EPSPS* es un mecanismo ampliamente distribuido en el género *Amaranthus*, descrito en *A. spinosus*, *A. palmeri* y *A. tuberculatus* (Gaines *et al.*, 2020). A diferencia de las elevadas magnitudes de copias de *EPSPS* documentadas en poblaciones europeas de *A. palmeri* (Manicardi *et al.*, 2025), *A. viridis* mostró una amplificación mucho más moderada. Este comportamiento se asemeja al de *A. tuberculatus*, donde la resistencia no es excepcionalmente alta (Chatham *et al.*, 2015). Estos hallazgos refuerzan que el incremento en las copias de *EPSPS* es un rasgo variable, específico y heredable en la progenie F1 bajo presión de selección. En este escenario, el aumento moderado en GAN y F1-GAN asegura la supervivencia a dosis de glifosato de 400 g e.a. ha⁻¹.

4. Conclusiones

Se reporta por primera vez en Europa la resistencia a glifosato en *A. viridis*. La amplificación del gen *EPSPS* es el mecanismo responsable, sin detectarse mutaciones en el dominio TAP, aunque no se descarta que estén involucrados mecanismos no relacionados con la diana. Debido a su carácter invasor y gran adaptabilidad a los sistemas de regadío mediterráneos, como los cítricos, el desarrollo de esta resistencia convierte a *A. viridis* en una amenaza agrícola creciente.

5. Agradecimientos

Proyecto PID2024-155831OB-C22 financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

Referencias

- ALCÁNTARA-DE LA CRUZ R, AMARAL GDS, OLIVEIRA GMD, *et al.* (2020) Glyphosate Resistance in *Amaranthus viridis* in Brazilian Citrus Orchards. *Agriculture*, 10, 304.
- BRAVO W, LEON RG, FERRELL JA, MULVANEY MJ & WOOD CW (2017) Differentiation of Life-History Traits among Palmer Amaranth Populations (*Amaranthus palmeri*) and Its Relation to Cropping Systems and Glyphosate Sensitivity. *Weed Science*, 65, 339-349.
- BRAZ GBP & TAKANO HK (2022) Chemical control of multiple herbicide-resistant *Amaranthus*: A review. *Advances in Weed Science*, 40(Spec2), e0202200062.
- CARRETERO JL (1990) *Amaranthus* L. En: CASTROVIEJO S (Ed.). *Flora Ibérica*, Vol. II. Madrid: CSIC.
- CHATHAM LA, WU C, RIGGINS CW, HAGER AG, YOUNG BG, ROSKAMP GK & TRANEL PJ (2015) EPSPS Gene Amplification is Present in the Majority of Glyphosate-Resistant Illinois Waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) Populations. *Weed Technology*, 29, 48-55.
- CROMARTIE T & POLGE N (2000) An improved assay for shikimic acid and its use as a monitor for the activity of sulfosate. *Proceedings Weed Science Society of America*, 40, 291.
- DUKE SO & POWLES SB (2008) Glyphosate: A once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science*, 64, 319-325.
- FERNÁNDEZ-ESCALADA M, GIL-MONREAL M, ZABALZA A & ROYUELA M (2016) Characterization of the *Amaranthus palmeri* physiological response to glyphosate in susceptible and resistant populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 95-106.
- GAINES TA, DUKE SO, MORRAN S, RIGON CAG, TRANEL PJ, KÜPPER A & DAYAN FE (2020) Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295, 10307-10330.
- GAINES TA, ZHANG W, WANG D *et al.* (2010) Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 1029-1034.
- HEAP I (2026) The International Herbicide-Resistant Weeds Database. Dataset.
- KOGER CH, SHANER DL, KRUTZ LJ *et al.* (2005) Rice (*Oryza sativa*) response to drift rates of glyphosate. *Pest Management Science*, 61, 1161-1167.

LIVAK KJ & SCHMITTGEN TD (2001) Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)) Method. *Methods*, 25, 402-408.

LORENTZ L, GAINES TA, NISSEN SJ *et al.* (2014) Characterization of glyphosate resistance in *Amaranthus tuberculatus* populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 8134-8142.

MANICARDI A, MORA G, SIMÕES ARAUJO AL, GAINES TA, LOZANO-JUSTE J & TORRA J (2025) Analysis of multiple-herbicide resistant *Amaranthus palmeri* populations from Spain points to an introduction of the eccDNA from America. *Pest Management Science*, 10.1002/ps.70034.

SCHNEIDER AB, PANIGO ES, DOTTO M, CORTÉS E, PERRETA MG & DELLAFERRA IM (2024) Growth form variations of *Amaranthus hybridus* L. biotypes with EPSPS mutations. *Weed Research*, 64, 467-475. Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press.

O2. Nuevos casos de *Bromus madritensis* resistente a glifosato en cultivos de cereal en España

O2. Increase in cases of glyphosate-resistant *Bromus madritensis* in cereal crops in Spain

MANICARDI A¹, MORA G¹, JIMÉNEZ-MARTÍNEZ C¹, MONTULL JM¹, LLENES JM², TORRAJ¹

¹Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, Centro Agrotecnio-CERCA Universidad de Lleida, Lleida, España; ²Unidad de Malherbiología, Servicio de Sanidad Vegetal, DARP, Generalitat de Catalunya, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29300

Email (por orden de autoría): alfredo.manicardi@udl.cat; german.mora@udl.cat; clara.jimenez@udl.cat, josemaria.montull@udl.cat; josepma.llenes@gencat.cat; joel.torra@udl.cat

El género *Bromus* spp. incluye diversas especies de malas hierbas ampliamente distribuidas tanto en cereales de invierno como en cultivos perennes. A nivel global, casi más de 40 especies de este género han desarrollado resistencia a diversos modos de acción herbicida incluyendo glifosato. *Bromus madritensis* L. es una especie anual, tetraploide, autopolinizada de la cual se ha descrito un solo caso de resistencia a los inhibidores de la EPSPS a nivel global en cultivos perennes. Sin embargo, el mecanismo de resistencia hasta ahora no se ha descrito y se sospecha que poblaciones resistentes puedan encontrarse también en otros tipos de cultivos como los cereales de invierno. En este trabajo se ensaya la respuesta a glifosato en cuatro poblaciones procedentes de campos de cereales en Cataluña. En un ensayo dosis-respuesta con glifosato tres de las cuatro poblaciones ensayadas sobreviven a la dosis recomendada de campo de 800 g ea ha⁻¹, con la presencia también de individuos supervivientes a 1600 g ea ha⁻¹. Dado el historial de presión de selección y la alta incidencia de plantas supervivientes, es razonable suponer que la resistencia en esta especie está en aumento en diferentes cultivos en España. Este escenario plantea un desafío importante para la agricultura española y europea, ya que supone una expansión y continua evolución de especies con resistencia a glifosato, una importante herramienta para el control de malas hierbas en campo.

Palabras clave: Bromo, inhibidores de la EPSPS, cereales de invierno, resistencia herbicida.

The genus Bromus spp. includes several important weed species widely distributed in both winter cereals and perennial crops. Globally, more than 40 species of this genus have developed resistance to some herbicide mode of action, including glyphosate. Bromus madritensis is an annual, tetraploid, self-pollinating species for which only one case of resistance to EPSPS inhibitors has been described globally in perennial crops. However, the resistance mechanism has not yet been described, and it is suspected that resistant populations may also be found in other types of crops, such as winter cereals. This study tested the response to glyphosate in four populations from cereal fields in Catalonia. In a dose-response trial with glyphosate, three of the four tested populations survived the recommended field dose of 800 g ae ha⁻¹, with some individuals also surviving at 1600 g ae ha⁻¹. Given the history of selection pressure and the high incidence of surviving plants, it is reasonable to assume that resistance in this species is increasing in various crops in Spain. This scenario poses a significant challenge for Spanish and European agriculture, as it implies an expansion and continuous evolution of glyphosate-resistant species, a crucial tool for weed control in the field.

Keywords: *Brome*, *EPSPS inhibitor*, *winter cereals*, *herbicide resistance*.

1. Introducción

Bromus madritensis L. es originaria del sur de Europa, de la región mediterránea, y se acepta como una especie distinta de *Bromus rubens* L. (Tutin *et al.*, 1980). Algunos taxónomos reconocen a ambas como dos subespecies de *B. madritensis*. Comparadas con las panículas muy sueltas, flexibles y colgantes de *Bromus diandrus* Roth. o las panículas condensadas, erectas y con forma de cepillo de *B. rubens*, las panículas de *B. madritensis* presentan características intermedias (Castroviejo *et al.*, 1993). Esto explica que a menudo *B. madritensis* se confunde con las otras dos especies, sobre todo *B. rubens*. La literatura a menudo no distingue entre *B. madritensis sensu stricto* y *B. rubens* en áreas donde sus distribuciones se superponen. De hecho, casi no hay estudios centrados en *B. madritensis* como mala hierba (Vázquez-García *et al.*, 2023).

La presencia de *B. madritensis* está aumentando en varios sistemas de cultivo. La implementación de la agricultura de conservación explicaría su propagación en Europa (Recasens *et al.*, 2016). En las últimas décadas, se han implementado técnicas como la siembra directa o los cultivos de cobertura, en cultivos perennes, pero también en cultivos de secano (Vázquez-García *et al.*, 2023). Debido a la falta de alteración del suelo en los sistemas de siembra directa, las malas hierbas presentes antes de la siembra se controlan con glifosato. Además, existen pocos herbicidas selectivos para especies de *Bromus* en cereales, siendo la mayoría no selectivos para la cebada (Royo-Esnal *et al.*, 2018).

Hasta 2018, el único caso de resistencia de *B. madritensis* a nivel mundial correspondía a poblaciones resistentes al glifosato en cultivos perennes españoles (Vázquez-García *et al.*, 2023). A partir de 2019, agricultores de Cataluña reportan falta de control con glifosato en cereales de invierno bajo siembra directa. La resistencia de estas poblaciones sería seleccionada por un largo historial de uso del glifosato en pre-siembra. Los objetivos del presente trabajo son confirmar y determinar los niveles de resistencia de cuatro poblaciones de *B. madritensis* de Cataluña, la mayoría de cereales de invierno sin laboreo.

2. Material y métodos

Se evaluaron cuatro poblaciones presuntamente resistentes, recolectadas en 2025 en Cataluña (tabla 1), que fueron comparadas con un estándar sensible (S) (Vázquez-García *et al.*, 2023).

Tabla 1. Poblaciones de *Bromus madritensis* empleadas en el estudio.

POBLACIÓN	LOCALIDAD	CULTIVO	AÑO RECOLECCIÓN
S	Lleida	Margen	2019
R1	Marcovau	Cereales*	2025
R2	Borges Blanques	Frutales	2025
R3	Torrefeta	Cereales*	2025
R4	Cervera	Cereales (margen)	2025

*siembra directa

Para evaluar la sensibilidad a glifosato (Roundup Plus®, Bayer, sal isopropilamina, 36% p/v), se realizó la aplicación con un pulverizador de precisión estático de banco a 200 L/ha y 215 kPa, con boquilla (amarilla) de abanico plano ISO 11002.

Las semillas fueron sembradas en bandejas de aluminio, con sustrato de turba humedecida. Después de 10 días, las plántulas se trasplantaron en bandejas de plástico de 24 cm x 30 cm x 9 cm, con un sustrato a base de tierra (textura limosa) y turba en una relación 1:1. Se dejaron en invernadero hasta BBCH 12-13, cuando se aplicó el herbicida.

Se aplicaron los siguientes rangos de dosis de glifosato, expresadas en equivalente ácido (ea): 0, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 y 3200 g ea ha⁻¹. Por cada dosis se estudiaron tres repeticiones (seis plantas por bandeja = una repetición), en un diseño completamente aleatorio. La determinación de porcentaje de supervivencia y peso fresco se realizó los 28 días después de tratamiento.

2.1 Análisis estadístico

Los datos de los experimentos de dosis-respuesta se analizaron utilizando un modelo de regresión no lineal de cuatro parámetros, utilizando SigmaPlot 11.0 (Systat Software, Inc., San José, CA, EE.UU.). Las dosis de herbicida necesaria para reducir en un 50% o 90% el crecimiento de las plantas (GR₅₀ y GR₉₀) o la mortalidad (LD₅₀ y LD₉₀), se estimó mediante la ecuación (ec. 1):

(1) $y = c + (d - c) / [1 + EXP(b(log(x) - log(GR_{50} o LD_{50})))]$

donde *c* = el límite inferior ajustado a 0, *d* = el límite superior ajustado a 100 y *b* = la pendiente alrededor de GR₅₀ o LD₅₀. La dosis de herbicida (g ea ha⁻¹) fue la variable independiente (*x*), la reducción del peso fresco y la mortalidad, expresadas como porcentaje (%) respecto al control no tratado, fueron las variables dependientes (*y*). El Factor de resistencia (FR₅₀) se calculó como GR₅₀: R/S o LD₅₀: R/S.

3. Resultados y discusión

En cuanto al estudio de supervivencia, la población S sobrevivió a dosis de glifosato inferiores a 200 g ea ha⁻¹ según LD₅₀, lo que demuestra gran sensibilidad a este herbicida (tabla 2). Sin embargo, todas las poblaciones resistentes mostraron supervivencia a la dosis mínima de registro de 800 g ea ha⁻¹, incluso a 1600 g ea ha⁻¹, con FR de 2,8 a 5,3. Para alcanzar el 90% de mortalidad se necesitaron de 879 a 3093 g ea ha⁻¹, dosis superiores a la de registro, explicando su falta de control en campo (figura 1).

Tabla 2. Parámetros (g ea ha⁻¹) de las curvas dosis-respuesta de cuatro poblaciones de *B. madritensis* potencialmente resistentes y un estándar sensible. FR: factor de resistencia.

Población	PESO FRESCO			SUPERVIVENCIA			
	GR50	FR50	GR90	b	LD50	FR50	LD90
S	113,7	-	156,1	n. e.*	<200	n. e.	n. e.
R1	396,4	3,5	585,1		554,0	>2,8	878,9
R2	593,0	5,2	1897,6		1060,0	5,3	3092,6
R3	564,5	5,0	1494,3		951,3	4,8	1421,0
R4	432,2	3,8	960,6	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.

*no estimada

Por otra parte, para el % de reducción del peso fresco, las GR_{50} y GR_{90} de la población sensible fueron 114 y 156 g ea ha⁻¹, respectivamente. Para las cuatro poblaciones resistentes las GR_{50} oscilaron entre 396 a 593 g ea ha⁻¹ (FR de 3,5 a 5,2) y GR_{90} de 585 a 1898 g ea ha⁻¹ (3,7 a 12,2).

Estos nuevos casos de resistencia a glifosato en *B. madritensis* procedente de Cataluña, presentan FR similares a las primeras poblaciones descritas en Europa, también de España (Vázquez-García *et al.*, 2023). La población R4 fue recogida en un margen de un campo de cereal, reflejando que los márgenes de los campos de cultivo también son tratados con glifosato. Cuando se acaba seleccionando resistencia a herbicidas, los márgenes pueden actuar como reservorio de alelos de resistencia.

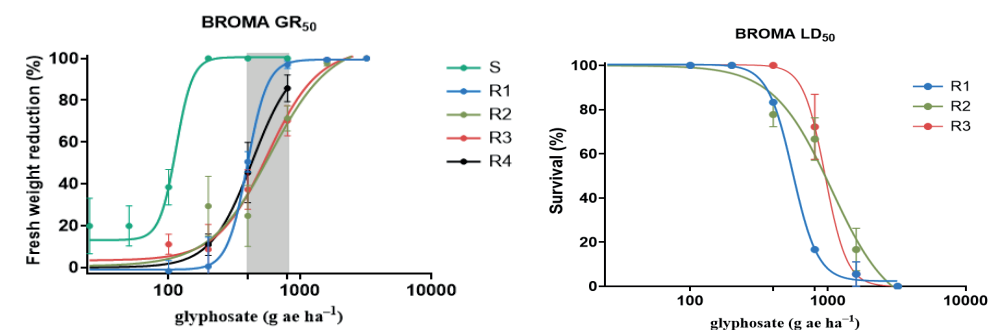


Figura 1. Curvas dosis-respuesta con los ajustes sigmoidales para el % de supervivencia y reducción de peso fresco respecto a controles no tratados en cuatro poblaciones presuntamente resistentes y una sensible de *Bromus madritensis* tratadas con glifosato.

4. Conclusiones

Basados en los ensayos de curvas dosis-respuesta, confirmamos la presencia de poblaciones de *B. madritensis* resistentes a glifosato en cereales bajo siembra directa en Cataluña. Los niveles de resistencia impiden un control efectivo de la especie a las dosis de registro en pre-siembra del cultivo. Dado que los herbicidas disponibles para el manejo de *Bromus* son limitados, la aparición de resistencia a glifosato representa una gran amenaza.

5. Agradecimientos

Proyecto PID2024-155831OB-C22 financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

Referencias

- VÁZQUEZ-GARCÍA JG, CASTRO P, ROYO-ESNAL A, *et al.* (2023) First report of a wide distribution of glyphosate-resistant compact brome (*Bromus madritensis*) in the Iberian Peninsula: confirmation and field management. *Weed Science*, 71, 95-103.
- CASTROVIEJO S, AEDO C, CIRUJANO S, *et al.*, eds (1993) *Flora Iberica* 19 (vol. I). Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC. 738 p.
- RECASENS J, GARCÍA AL, CANTERO-MARTÍNEZ C, *et al.* (2016) Long-term effect of different tillage systems on the emergence and demography of *Bromus diandrus* in rainfed cereal fields. *Weed Research*, 56, 31-40.

ROYO-ESNAL A, RECASENS J, GARRIDO J & TORRA J (2018) Rigput Brome (*Bromus diandrus* Roth.) Management in a No-Till Field in Spain. *Agronomy*, 8, 251.

TUTIN TG, HEYWOOD VH, BURGUES NA, *et al.*, eds (1980) *Flora Europaea*. Vol. 5, Alismataceae to Orchidaceae (Monocotyledones). Cambridge: Cambridge University Press. 452 p.

O3. Evolución temporal de resistencias tipo TSR en *Echinochloa* spp. en arroz en Extremadura (2019-2024)

O3. Temporal evolution of TSR resistance in *Echinochloa* spp. in rice crops in Extremadura (2019-2024)

MÉNDEZ GRANO DE ORO L¹, GARCÍA B¹, PAVÓN G¹, PÉREZ-ROSS FJ¹, GONZÁLEZ-VELÁZQUEZ MM¹, SANTOS M¹, PALMERIN JA², OSUNA MD¹

¹Área de Protección Vegetal, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICY-TEX), Guadajira, Badajoz, España; ²Servicio de Sanidad Vegetal, Junta de Extremadura, Don Benito, Badajoz, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29301

Email (por orden de autoría): laura.mendez@juntaex.es; bggrf@hotmail.com; guadalupe.pavon@juntaex.es; javier.perezr@juntaex.es; mariamar.gonzalez@juntaex.es; marina.santos@juntaex.es; jantonio.palmerinr@juntaex.es; mariadolores.osuna@juntaex.es

La resistencia a herbicidas en *Echinochloa* spp. en arroz es un problema creciente a escala mundial, principalmente a inhibidores de ALS y ACCasa, favorecidos por el uso reiterado de estos modos de acción y la escasa diversificación de prácticas de manejo. Extremadura se ha consolidado como una de las principales regiones arroceras de España, superando en la campaña 2025 las 20.000 hectáreas cultivadas. El objetivo de este trabajo fue analizar la evolución temporal de resistencias de tipo TSR (*Target Site Resistance*) en poblaciones de *Echinochloa* spp. procedentes de parcelas con fallos de control, así como evaluar la persistencia potencial de las poblaciones mediante estudios de germinación de semillas. Para ello se emplearon semillas recolectadas en muestreos dirigidos realizados en campos de arroz de Extremadura durante dos años: 2019 y 2024. Las poblaciones fueron sometidas a análisis moleculares para la detección de mutaciones puntuales en los genes ALS y ACCasa. Paralelamente, se evaluó la viabilidad de semillas almacenadas en esas fechas, mediante el porcentaje de germinación, para estimar la longevidad del banco de semillas. Los resultados evidenciaron cambios en el período estudiado, con alternancia en el predominio de mutaciones en los genes ALS o ACCasa según campaña analizada. Esta evolución se correlacionó con los distintos historiales de manejo de las parcelas, especialmente en relación con el uso de herbicidas, la implantación de variedades tolerantes y las prácticas culturales aplicadas. Además, los resultados mostraron porcentajes de germinación superiores al 85% en numerosas poblaciones estudiadas incluso en las semillas del 2019.

Palabras clave: Herbicida, ALS, ACCasa, mutación, germinación.

Herbicide resistance in Echinochloa spp. in rice is a growing global problem, primarily involving ALS and ACCase inhibitors, driven by the repeated use of these modes of action and a lack of diversification in management practices. Extremadura has established itself as one of Spain's leading rice-growing regions, with more than 20,000 hectares under cultivation in the 2025 growing season. The objective of this study was to analyze the temporal evolution of TSR (Target Site Resistance) in populations of Echinochloa spp. from fields with control failures, as well as to evaluate the potential persistence of these populations through seed germination studies. To this end, seeds collected during targeted sampling in rice fields in Extremadura over two years—2019 and 2024—were used. The populations were subjected to molecular analyses to

detect point mutations in the *ALS* and *ACCase* genes. Concurrently, the viability of seeds stored during those periods was assessed using germination rates to estimate the longevity of the seed bank. The results revealed changes over the study period, with alternating predominance of mutations in the *ALS* or *ACCase* genes depending on the growing season analyzed. This trend correlated with the different management histories of the plots, particularly regarding herbicide use, the introduction of tolerant varieties, and the cultural practices applied. Furthermore, the results showed germination rates exceeding 85% in numerous populations studied, including seeds from 2019.

Keywords: Herbicide; *ALS*; *ACCase*; mutation; germination.

Introducción

El cultivo del arroz se enfrenta actualmente a importantes desafíos relacionados con el manejo de malas hierbas. Esta situación se ha visto agravada por el uso continuado de herbicidas con los mismos mecanismos de acción, lo que ha favorecido la aparición y expansión de poblaciones resistentes y ha reducido progresivamente la eficacia de muchas de las herramientas químicas disponibles (Osuna *et al.*, 2026). Entre las malas hierbas más problemáticas en arroz destacan las especies pertenecientes al género *Echinochloa* spp., caracterizadas por su amplia distribución, elevada adaptación a ambientes arroceros y gran dificultad de control (Papapanagiotou *et al.*, 2025). En la actualidad, los herbicidas inhibidores de la acetolactato sintasa (*ALS*) y de la acetil-CoA carboxilasa (*ACCase*) constituyen las principales herramientas químicas empleadas para su manejo (MAPA, 2026). Sin embargo, la fuerte dependencia de estos modos de acción ha generado una elevada presión de selección, favoreciendo la evolución de poblaciones resistentes en numerosas regiones arroceras (Gómez de Barreda *et al.*, 2026; Heap, 2026). En Extremadura, los cambios en las estrategias de manejo ocurridos durante la última década, incluyendo la adopción de variedades tolerantes a determinados herbicidas, las limitaciones regulatorias y la reducción progresiva de materias activas disponibles, podrían haber modificado la dinámica evolutiva de las resistencias (Osuna *et al.*, 2026). En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue analizar la evolución de las resistencias de tipo TSR frente a herbicidas inhibidores de la *ALS* y de la *ACCase* en poblaciones de *Echinochloa* spp. procedentes de campos de arroz de Extremadura, mediante la comparación de muestras recolectadas en dos campañas diferentes (2019 y 2024) en localizaciones próximas, así como evaluar la persistencia potencial de dichas poblaciones a través de estudios de germinación de semillas.

2. Material y métodos

2.1 Muestreos y origen del material vegetal

En este trabajo se han incluido muestras de *Echinochloa* spp. procedentes de campos de arroz recogidas en las campañas 2019 y 2024 (figura 1). Se realizaron muestreos dirigidos de semillas en parcelas donde se habían observado fallos de control herbicida. Las muestras obtenidas fueron limpiadas y almacenadas en condiciones controladas hasta su análisis. Para cada población se registró información relativa al historial de manejo de la parcela, incluyendo herbicidas empleados, frecuencia de aplicación y prácticas culturales asociadas. En total, se analizaron 33 poblaciones de *Echinochloa* spp., de las cuales 13 correspondieron a la campaña de 2019 y 20 a la de 2024.

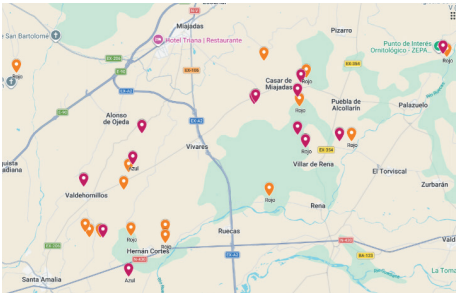


Figura 1. Distribución geográfica de poblaciones de *Echinochloa* spp. muestreadas en Extremadura. En rojo se indican las poblaciones recolectadas en 2019, en naranja las poblaciones muestreadas en 2024

2.2 Extracción de ADN, amplificación por PCR y secuenciación

El ADN se extrajo utilizando el kit *Speedtools Plant DNA Extraction Kit* (Biotools B&M Labs S.A., Valle de Tobalina, Madrid, España). La concentración de cada muestra se midió en un espectrofotómetro NANODROP ThermoScientific (ThermoFisher, Nano-Drop Products, Wilmington, DE). Se analizaron distintas regiones de los genes *ALS* y *ACCase* siguiendo el protocolo descrito en Gomez de Barreda *et al.*, 2021. A continuación, se purificaron las bandas de cada PCR utilizando el *Speed Tools PCR Clean-Up Kit* (Biotools, B&M Labs, Madrid, España). Las muestras se secuenciaron en un laboratorio externo (STABVIDA, Caparica, Portugal). Los resultados de la secuenciación se visualizaron con el software CHROMAS y se alinearon con los resultados de la PCR.

2.3 Germinación de semillas

La viabilidad de semillas almacenadas se evaluó mediante ensayos de germinación realizados en cámara de cultivo bajo condiciones controladas de temperatura y fotoperíodo. Para cada población se utilizaron un total de 30 semillas distribuidas sobre papel húmedo. El porcentaje de germinación se registró tras el periodo de incubación establecido y se utilizó como indicador de persistencia potencial del banco de semillas. Se realizaron 2 repeticiones por población.

3. Resultados y discusión

3.1 Evolución temporal de mutaciones TSR

La información obtenida a partir del análisis de los cromatogramas se resume en las figuras 2 (gen *ALS*) y 3 (gen *ACCase*), donde se recogen las poblaciones que presentaron mutaciones previamente descritas como responsables de resistencia a herbicidas.

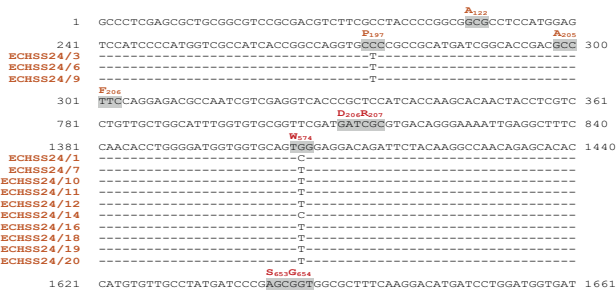


Figura 2. Secuencia parcial de nucleótidos del gen *ALS* en poblaciones de *Echinochloa* spp. incluidas en este estudio.

Los resultados obtenidos mostraron diferencias importantes entre ambas campañas. En las muestras de *Echinochloa* spp. correspondientes a 2019 no se detectaron mutaciones en el gen *ALS* relacionadas con resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS. Sin embargo, sí se identificaron seis poblaciones con mutaciones en el gen *ACCase* (Ile1781 y Trp2027). Por el contrario, en la campaña de 2024 se observó un incremento notable de mutaciones vinculadas a resistencia en el gen *ALS*. De las 20 poblaciones analizadas, 14 presentaron mutaciones asociadas a resistencia a herbicidas inhibidores de ALS, localizadas concretamente en las posiciones Trp574 y Pro197. En cambio, únicamente se detectaron cuatro casos con mutaciones en el gen *ACCase*, todos ellos localizados en la posición Trp2027. Las mutaciones detectadas en el gen *ACCase* en las muestras de 2019 podrían estar relacionadas con el uso intensivo y prolongado en años previos de herbicidas inhibidores de *ACCase*, como proflorfen y cihalofop-butil, empleados históricamente en arroz en Extremadura. La retirada progresiva de algunas de estas materias activas habría reducido las alternativas disponibles, favoreciendo una mayor dependencia de los inhibidores de ALS y de las variedades tolerantes asociadas a estos herbicidas en las parcelas estudiadas (MAPA, 2026). Diversos trabajos han descrito cómo la repetición continuada de estos modos de acción en arroz favorece la selección progresiva de biotipos resistentes de *Echinochloa* spp., especialmente en sistemas basados principalmente en tratamientos postemergentes y en el uso de variedades tolerantes a herbicidas (Bagavathiannan *et al.*, 2014). La coexistencia de mutaciones en los genes *ALS* y *ACCase* en determinadas poblaciones indicó además la posible acumulación de resistencias múltiples, lo que incrementa notablemente las dificultades de manejo. Los ensayos de germinación mostraron porcentajes de viabilidad elevados y relativamente similares entre las distintas anualidades analizadas. De forma aproximada, las poblaciones más antiguas presentaron porcentajes medios de germinación cercanos al 80-85%, mientras que las muestras correspondientes a 2024 alcanzaron valores próximos al 90%.

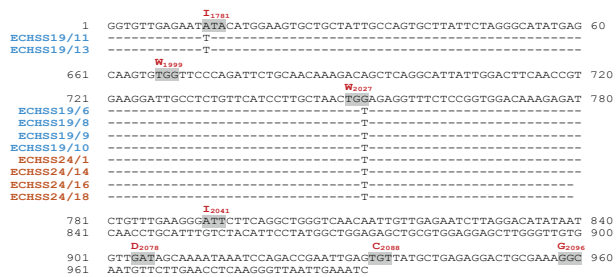


Figura 3. Secuencia parcial de nucleótidos del gen *ACCase* en poblaciones de *Echinochloa* spp. incluidas en este estudio.

Estos resultados coinciden con trabajos previos que describen una alta persistencia y capacidad de supervivencia de las semillas de *Echinochloa* spp. en el tiempo, favoreciendo la permanencia de poblaciones resistentes en campo (Tahir *et al.*, 2021). En este contexto, la incorporación de nuevas estrategias de manejo resulta fundamental para reducir la dependencia de un número limitado de modos de acción. Tres materias activas, con modo de acción alternativo a inhibidores de la ALS y *ACCase* han sido autorizados en los últimos años en el cultivo del arroz: floryprauxifen-benzyl (HRAC 4, año 2021), benzobencilón (HRAC 27, autorización excepcional desde el 2021) y napropamida (HRAC 15, año 2022). La expansión de la siembra en seco en Extremadura, actualmente predominante en gran parte de la superficie arrocería regional, ha permitido ampliar el uso de herbicidas de preemergencia. Asimismo, la introducción de tecnologías basadas en inhibidores de *ACCase*, como Provisia®, ha supuesto una alternativa para el manejo de poblaciones resistentes a ALS y ha permitido reforzar la rotación de modos de acción.

4. Conclusiones

Los resultados evidencian una evolución temporal en los mecanismos de resistencia tipo TSR de *Echinochloa* spp. en Extremadura, con un cambio desde el predominio de mutaciones en *ACCase* (2019) hacia mutaciones en *ALS* (2024). La elevada viabilidad de las semillas confirma la persistencia de estas poblaciones en el banco de semillas. En este contexto, la incorporación de nuevos modos de acción y la diversificación de las estrategias de control, combinando medidas químicas y culturales, resultan esenciales para retrasar la selección de nuevas resistencias y mejorar la sostenibilidad del cultivo del arroz.

5. Agradecimientos

El trabajo incluido en esta comunicación está financiado por los proyectos MIP3 y RIGORYZA (estos proyectos se enmarcan en el Programa Operativo FEDER Extremadura 2021-2027. Actuación 1A1103. Desarrollo de la capacidad de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación, cofinanciado al 85%) así como por la ayuda al grupo de investigación GR24025 (Junta de Extremadura). Agradecemos a los técnicos de la Cooperativa San Isidro de Miajadas por el apoyo con los muestreos.

Referencias

BAGAVATHIANNAN MV, NORSWORTHY JK, SMITH KL & NEVE P (2014) Modeling the simultaneous evolution of resistance to ALS- and ACCase-inhibiting herbicides in Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Clearfield® Rice. Weed Technology, 28, 89-103.

GÓMEZ DE BARREDA D, PARDO G, OSCAJM, CATALA-FORNER M, CONSOLA S, GARNICA I, LÓPEZ-MARTÍNEZ N, PALMERÍN JA & OSUNA MD (2021) An overview of rice cultivation in Spain and the management of herbicide-resistant weeds. Agronomy, 11, 1095.

HEAP I (2026) The International Herbicide-Resistant Weed Database. Disponible en: www.weed-science.org [consultado el 19 de abril de 2026].

MAPA: MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (2026) Registro de productos fitosanitarios. Disponible en: www.mapa.gob.es [consultado el 19 de abril de 2026].

OSUNA MD, MÉNDEZ L & PALMERÍN JA (2026) Evolución del manejo de malas hierbas en arroz frente al reto de las resistencias. Phytoma España, 377, 42-46.

PAPAPANAGIOTOU AP, LOUKOVITIS D & ELEFTHEROHORINOS IG (2025) Multiple resistance to ALS and ACCase inhibitors and auxin herbicides in late watergrass (*Echinochloa phyllopogon*) populations across rice production systems in northern Greece. Weed Science, 73, 1-10.

TAHIR H & ROMA-BURGOS N (2021) Fecundity and Seed Dormancy Variation Within and Among *Echinochloa* Species. Frontiers in Agronomy, 3, 623425.

O4. Separación de los cuatro estereoisómeros de profoxidim y evaluación de su actividad herbicida

O4. Separation of the four stereoisomers of profoxydim and evaluation of their herbicidal activity

CERVANTES-DIAZ A¹, SANTÍN-MONTANYÁ MI², ALONSO-PRADOS JL¹, SANDÍN-ES-PAÑA P¹

¹Unidad de Productos Fitosanitarios, INIA-CSIC, Madrid, España; ²Departamento de Medioambiente y Agronomía, INIA-CSIC, Madrid, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29302

Email (por orden de autoría): alvaro.cervantes@inia.csic.es; isantin@inia.csic.es; prados@inia.csic.es; sandin@inia.csic.es

Aproximadamente el 30% de los plaguicidas actualmente utilizados son compuestos quirales cuyos estereoisómeros pueden diferir significativamente en su actividad biológica, toxicidad y comportamiento ambiental. Sin embargo, la mayoría se comercializa como mezcla racémica debido a la complejidad de su separación. La identificación del estereoisómero con mayor actividad herbicida podría representar una estrategia prometedora para reducir las dosis de aplicación y el impacto medioambiental. Profoxidim es un herbicida ampliamente utilizado en el cultivo del arroz para el control de *Echinochloa crus-galli*. Su molécula presenta dos centros quirales, dando lugar a cuatro estereoisómeros y se comercializa como mezcla de los cuatro. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un método eficaz mediante HPLC para la separación y aislamiento de los cuatro estereoisómeros de profoxidim y evaluar su actividad herbicida frente a *E. crus-galli*. La separación quiral se optimizó evaluando distintos parámetros cromatográficos. Las condiciones óptimas se obtuvieron empleando una columna Chiralcel OJ-H y una fase móvil heptano/etanol (80:20, v/v) con 0,05 % de ácido fórmico, a un flujo de 0,7 mL min⁻¹ y 25 °C. La actividad herbicida del patrón y de cada estereoisómero aislado se determinó mediante bioensayos de germinación. Aunque todos los estereoisómeros mostraron actividad herbicida, se observaron diferencias entre ellos siendo el 1 y 3 los de mayor actividad. Este trabajo constituye un avance relevante en el análisis de plaguicidas quirales, proporcionando un método robusto para la separación y aislamiento de los estereoisómeros de profoxidim y facilitando futuros estudios sobre su comportamiento ambiental y toxicológico.

Palabras clave: Profoxidim, isómeros, actividad herbicida, cromatografía líquida, quiralidad.

Approximately 30 % of the pesticides currently in use are chiral compounds whose stereoisomers can differ significantly in terms of their biological activity, toxicity and environmental behaviour. However, most are marketed as racemic mixtures due to the complexity of separating them. Identifying the stereoisomer with the highest herbicidal activity could represent a promising strategy for reducing application rates. Profoxydim is an herbicide widely used in rice cultivation for the control of Echinochloa crus-galli. Its molecule has two chiral centres, giving rise to four stereoisomers. The aim of this study was to develop an effective HPLC method for the separation and isolation of the four stereoisomers and to evaluate their herbicidal activity against E. crus-galli. Chiral separation was optimised by evaluating different chromatographic parameters.

Optimal conditions were obtained using a Chiralcel OJ-H column and a heptane/ethanol mobile phase (80:20, v/v) with 0.05% formic acid, at a flow rate of 0.7 mL min⁻¹ and 25 °C. The herbicidal activity of the standard and of each isolated stereoisomer was determined using germination bioassays. Although all the stereoisomers exhibited herbicidal activity, differences were observed among them. This work represents a significant advance in the analysis of chiral pesticides, providing a robust method for the separation of profoxydim stereoisomers and ease future studies on their environmental and toxicological behavior.

Keywords: Profoxydim, isomers, herbicidal activity, liquid chromatography, chirality.

1. Introducción

Los plaguicidas desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de la productividad agrícola mundial, ya que previenen y controlan enfermedades, plagas y malas hierbas. Aproximadamente el 30 % de todos los plaguicidas que se utilizan actualmente son moléculas quirales, y sus enantiómeros suelen diferir notablemente en cuanto a actividad biológica, toxicidad y comportamiento ambiental. A pesar de ello, la mayoría de las formulaciones comerciales siguen comercializándose como mezclas racémicas, aunque la actividad biológica se asocie con frecuencia a solo uno o dos isómeros. La identificación de los enantiómeros más activos biológicamente puede aumentar la eficacia del herbicida al tiempo que reduce la cantidad total de plaguicida aplicado, lo que en última instancia reduce los riesgos ecológicos y mejora la sostenibilidad (Buerge *et al.*, 2019; Galán-Pérez *et al.*, 2022).

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) se ha convertido en la técnica preferida para el análisis quiral debido a su rapidez, precisión y compatibilidad con una amplia variedad de fases estacionarias quirales basadas en polisacáridos. Nuestro grupo ha optimizado recientemente la separación de estereoisómeros del profoxydim en condiciones de fase reversa (Cervantes-Díaz *et al.*, 2024), pero la fase normal facilita el aislamiento para estudios posteriores.

Profoxydim es uno de los herbicidas más empleados mundialmente en el cultivo del arroz para el control de *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., aunque actualmente no está autorizado en España. *E. crus-galli* es una mala hierba altamente competitiva y persistente que reduce significativamente el potencial de rendimiento del arroz. Con dos centros quirales, el profoxydim existe en forma de cuatro estereoisómeros (RR, SS, RS, SR), formulados comercialmente en proporciones iguales. A pesar de su uso generalizado, la actividad herbicida de cada estereoisómero individual no se ha evaluado anteriormente, debido principalmente a las dificultades analíticas asociadas a la separación y purificación de cada isómero a una escala suficiente.

En este contexto, el presente estudio aborda dos objetivos clave: (i) desarrollar y optimizar un método de HPLC en fase normal capaz de separar y aislar los cuatro estereoisómeros del profoxydim; (ii) evaluar y comparar su actividad herbicida contra la mala hierba objetivo *E. crus-galli*, mediante bioensayos de germinación de semillas.

2. Material y métodos

2.1 Separación cromatográfica de estereoisómeros

La separación cromatográfica se ha realizado mediante un cromatógrafo de alta presión de la serie 1200 de Agilent Technologies. Se evaluaron diversas columnas de fase estacionaria quiral para determinar el método más eficaz para la separación de estereoisómeros, celulosa tris(3,5-dimetilfenilcarbamato), la amilosa tris(3,5-dimetilfenilcarbamato) y la celulosa tris(4-metilbenzoato). La optimización de la sepa-

ración quiral se llevó a cabo utilizando diversas mezclas de fase móvil, compuestas por agua, acetoni-trilo, etanol e isopropanol. Para considerar una separación satisfactoria entre picos cromatográficos, es necesario estimar los parámetros cromatográficos. Cuando el factor de resolución (Rs) es superior a 1,5, se considera que se ha alcanzado una resolución completa.

2.2 Bioensayos de germinación con semillas

El estudio analizó los efectos de los ingredientes activos, los estereoisómeros aislados y el patrón analítico del profoxydim (mezcla de los cuatro estereoisómeros al 25 %) sobre la germinación de *E. crus-galli*. Los bioensayos de germinación de semillas se llevaron a cabo en una cámara de crecimiento distribuyendo aleatoriamente 50 semillas de la especie analizada en una placa de Petri de 13 cm de diámetro. El diseño experimental fue completamente aleatorio, y cada dosis de herbicida se realizó por duplicado.

Los efectos del herbicida se evaluaron basándose en los parámetros primarios de germinación de las semillas (longitud de la raíz), que se registraron siete días después de la siembra. La sensibilidad de la especie al herbicida se determinó en cada experimento mediante la construcción de curvas dosis-respuesta de la longitud de la raíz. Las dosis de herbicida necesarias para inhibir el crecimiento de la raíz en un 50 % (IC₅₀) se ha calculado mediante un análisis de regresión no lineal de los datos de dosis de herbicida frente al porcentaje de inhibición ajustando a la ecuación log-logística (ec. 1):

$$(1) \quad Y = C + \left(\frac{D-C}{1 + \exp[b \cdot \ln(X) - \ln(IC_{50} + 1)]} \right)$$

donde: Y es la longitud de raíz (cm); X la dosis de herbicida (mg L⁻¹); D es la asíntota superior (crecimiento máximo de la raíz en plantas); C es la asíntota inferior (crecimiento mínimo de la raíz en plantas); b es la pendiente de la curva en torno a IC₅₀ e IC₅₀ es la dosis que produce una inhibición del 50% en la longitud de la raíz.

3. Resultados y discusión

3.1 Optimización de las condiciones de separación estereoquímica

En las últimas décadas, la cromatografía quiral ha avanzado significativamente, impulsada por la importancia de estudiar el comportamiento óptico de los isómeros y sus propiedades. Entre las diversas técnicas empleadas, la cromatografía líquida se ha convertido en una herramienta crucial, especialmente con el desarrollo de columnas cromatográficas de fase estacionaria de polisacáridos (CSP), que facilitan las interacciones con compuestos quirales debido a sus propiedades estructurales únicas. Para lograr la separación de los cuatro estereoisómeros se evaluaron cuatro columnas de HPLC diferentes basadas en CSP.

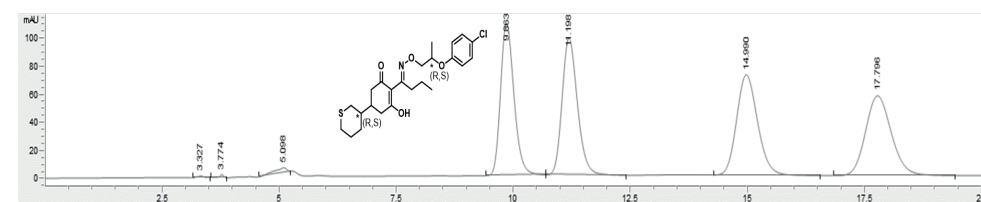


Figura 1. HPLC Cromatograma de la separación de los estereoisómeros de profoxydim.

Una vez elegida la columna, en este caso, Chiralcel OJ-H basada en celulosa tris(4-metilbenzoato), se ha realizado el estudio de diferentes condiciones cromatográficas, incluyendo variaciones en el flujo de la fase móvil, la temperatura de la columna y el uso de diferentes disolventes como modificadores, con el objetivo de mejorar la separación. La tabla 1 presenta los resultados de cada grupo experimental, donde cada fila de la tabla muestra un experimento en el que se mantiene constante una variable mientras que se varían las demás (tabla 1). La fase móvil heptano/EtOH (80/20) se identificó como la condición óptima, ya que presenta un $R_s > 1,5$ y tiempos de retención relativamente cortos (figura 1). La incorporación de ácidos a la fase móvil para aumentar la selectividad quiral se considera fundamental para el aislamiento de compuestos quirales ácidos. Estudios previos de nuestro grupo han demostrado que la adición de ácido fórmico mejora la forma de los picos de los herbicidas ciclohexanodiona en fases estacionarias acirales (Sevilla-Morán *et al.*, 2010; Sandín-España *et al.*, 2013). En resumen, los parámetros óptimos para analizar y cuantificar los estereoisómeros de profoxidim se obtuvieron con la adición de un 0,05 % de ácido fórmico, una fase móvil de heptano/etanol (80:20), un flujo de 0,7 mL/min y una temperatura de columna de 25 °C.

Tabla 1. Valores cromatográficos de la separación quiral del profoxidim con Chiralcel OJ-H en diferentes fases móviles, temperaturas de columna, flujo de fase móvil y modificadores. Se presentan las resoluciones (R_s) entre cada diastereoisómero. Los resultados indicados en negrita representan los resultados óptimos para cada variable.

VARIABLE		v/v	R_s 12	R_s 23	R_s 34
Proporción (%) Heptane/EtOH 20/80 30/70		10/90	1,30	2,97	2,01
		2,39	5,35	3,07	
		0,96	0,54	0,49	
Modificador (%)	Ácido Fórmico	0,05	2,39	5,62	3,18
		0,1	2,30	5,39	3,05
Temperatura (°C) 25		20	2,22	5,33	3,05
		2,39	5,35	3,07	
Flujo (mL min-1) 0,7		1,0	2,39	5,35	3,07
		2,61	6,00	3,40	

3.2 Bioensayos de germinación con semillas

Los bioensayos de germinación con semillas se utilizan ampliamente para evaluar el riesgo fitotóxico potencial de los residuos de herbicidas en cultivos posteriores, ya que proporcionan parámetros rápidos, reproducibles y sensibles, como el crecimiento de la raíz. Se utilizaron estándares analíticos de profoxidim disponibles comercialmente e isómeros de profoxidim aislados en el laboratorio. Según los valores de IC_{50} , la fitotoxicidad del profoxidim dependió claramente de la composición estereoisomérica, aunque todos los isómeros poseen actividad herbicida, los isómeros 2 y 4 exhibieron una menor eficacia contra *E. crus-galli* (figura 2).

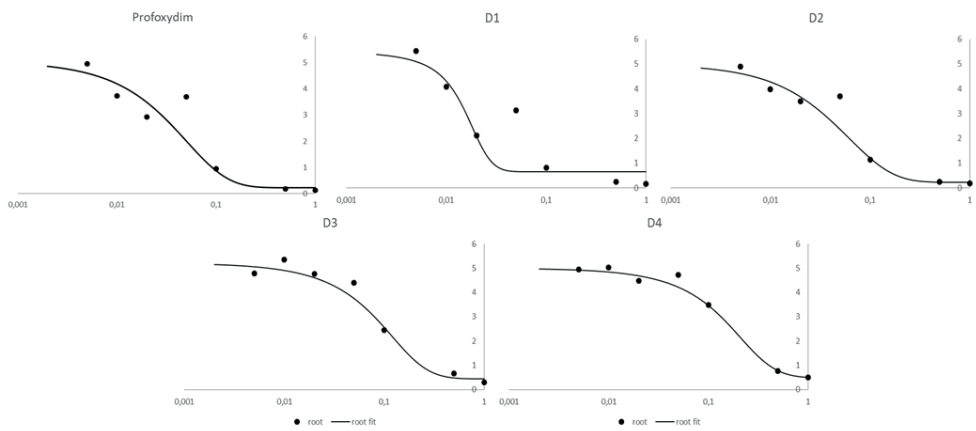


Figura 2. Curvas dosis-respuesta de profoxidim y sus estereoisómeros respecto al efecto producido en la raíz de *Echinochloa crus-galli*.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado la primera separación y aislamiento estereoselectivo de los cuatro estereoisómeros de profoxidim mediante un método optimizado de HPLC en fase normal. Los ensayos biológicos revelaron claras diferencias estereoselectivas en la actividad herbicida. Los isómeros 1 y 3 mostraron valores de inhibición al 50% sustancialmente más bajos contra *E. crus-galli* que la mezcla racémica, indicando que solo un subconjunto de estereoisómeros contribuye significativamente al control de malas hierbas.

Estos resultados sugieren que las formulaciones enriquecidas en los estereoisómeros más activos podrían reducir las dosis de aplicación manteniendo la eficacia, disminuyendo así los insumos químicos en el cultivo de arroz. Estos hallazgos indican que la composición de los estereoisómeros puede influir en los efectos de rendimiento, y que no se puede asumir que el comportamiento ambiental del profoxidim racémico represente el de sus componentes individuales. En general, este estudio demuestra que el perfil ambiental del profoxidim está fuertemente determinado por su composición estereoisomérica y contribuyen al debate científico más amplio sobre la regulación de los plaguicidas quirales.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto PID2022-139874OR-C21 del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y mediante el Proyecto Europeo POC7EP ATIDRAI-AGRO INTERREG.

Referencias

BUERGE IJ, BÄCHLI A, KASTEEL R, PORTMANN R, LÓPEZ-CABEZA R, SCHWAB, LF & POIGER T (2019) Behavior of the chiral herbicide imazamox in soils: pH-dependent, enantioselective degradation, formation and degradation of several chiral metabolites. *Environmental Science & Technology* 53, 5725-5732.

CERVANTES-DÍAZ A, MATEO-MIRANDA M, TORRADO-CUBERO NH, ALONSO-PRADOS JL & SANDÍN-ESPAÑA P (2024) Stereoisomeric separation of the chiral herbicide profoxidim and residue method development in rice by QuEChERS and LC-MS/MS. *Food Chemistry*, 443, 138536.

GALÁN-PÉREZ JA, GÁMIZ B, PAVLOVIC I & CELIS R (2022) Enantiomer-selective characterization of the adsorption, dissipation, and phytotoxicity of the plant monoterpene pulegone in soils. *Plants* 11, 1296.

SANDÍN-ESPAÑA P, SEVILLA-MORÁN B, CALVO L, MATEO-MIRANDA M & ALONSO-PRADOS JL (2013) Photochemical behavior of alloxydim herbicide in environmental waters. Structural elucidation and toxicity of degradation products. *Microchemical Journal*, 106, 212-219.

SEVILLA-MORÁN B, ALONSO-PRADOS JL, GARCÍA-BAUDÍN JM & SANDÍN-ESPAÑA P (2010) Indirect photodegradation of clethodim in aqueous media. byproduct identification by quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 58, 3068-3076.

O5. La resistencia múltiple en una población de *Lolium rigidum* de Navarra está vinculada a diferentes enzimas P450

O5. Multiple resistance in a *Lolium rigidum* population from Navarra is related to different P450 enzymes

TREBOL-AIZPURUA E¹, IBÁÑEZ L¹, GIL-MONREAL M¹, ROYUELA M¹, ZABALZA A¹

¹Institute for Multidisciplinary Research in Applied Biology (IMAB), Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadia, Pamplona, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29303

Email (por orden de autoría): eneko.trebol@unavarra.es; ibanez.148667@e.unavarra.es; mirian.gil@unavarra.es; royuela@unavarra.es; ana.zabalza@unavarra.es

Lolium rigidum Gaud. es una de las malas hierbas más problemáticas en los cereales de la península ibérica. En España se han descrito numerosas poblaciones resistentes a herbicidas inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS) y de la acetil-CoA carboxilasa (ACCase), dos grupos fundamentales en su control químico. La resistencia puede deberse a mutaciones en los genes diana o a mecanismos no asociados al sitio de acción (NTSR), como la metabolización del herbicida mediada por enzimas citocromo P450. En este estudio se evaluó una población de *L. rigidum* de Legaria (Navarra) para confirmar la resistencia múltiple y caracterizar los mecanismos implicados. Se evaluó el efecto sobre el crecimiento en bandejas, tubos de vidrio y macetas, y además se secuenciaron los genes ACCase y ALS. Los resultados confirmaron resistencia a herbicidas inhibidores de ALS (sulfonilureas) y ACCase (pinoxaden), evidenciando un claro patrón de resistencia múltiple. Además, se observó resistencia cruzada a inhibidores de ACCase del grupo FOP, mientras que la población resistente se comportó como sensible frente a los DIM y frente a la imidazolinona imazamox. La ausencia de mutaciones conocidas en los genes diana sugiere que la resistencia no está asociada al sitio de acción. En concordancia, los ensayos con inhibidores metabólicos mostraron una mayor sensibilidad de la población resistente a los herbicidas en presencia de piperonil-butóxido y malatión. Sin embargo, el efecto diferencial de ambos compuestos apunta a la implicación de distintas isoformas del citocromo P450 en la detoxificación, lo que sugiere la coexistencia de múltiples vías metabólicas dentro de la misma población, requiriendo estrategias de manejo diversificadas para evitar su expansión.

Palabras clave: Resistencia NTS, vallico, pinoxaden, sulfonilureas, malatión.

Lolium rigidum Gaud. is one of the most problematic weeds in cereal crops on the Iberian Peninsula. In Spain, many populations resistant to acetolactate synthase (ALS) and acetyl-CoA carboxylase (ACCase) inhibiting herbicides have been reported. These are two key groups in the chemical control of this weed. Resistance can be related to mutations in the target genes or from non-target site resistance (NTSR) mechanisms, such as herbicide metabolism, frequently mediated by cytochrome P450 enzymes. In this study, a population of *L. rigidum* collected in Legaria (Navarra) was studied to evaluate multiple resistance and to characterise the mechanisms involved. The effect on growth was evaluated in trays, glass tubes, and pots, and the ACCase and ALS genes were sequenced. The results confirmed resistance to ALS inhibitors (sulfonilureas) and ACCase inhibitors (pinoxaden), showing a clear pattern of multiple resistance. Furthermore, cross-resistance to ACCase inhibitors of the FOP group was observed, whilst the resistant population behaved as sensitive to DIMs and

to the imidazolinone imazamox. The absence of known mutations in the target genes suggests that resistance is not associated with the site of action. Consistent with this, experiments with metabolic inhibitors showed greater sensitivity of the herbicide-resistant population in the presence of piperonyl butoxide and malathion. However, the differing effects of the two compounds suggesting the coexistence of multiple metabolic pathways within the same population, thereby requiring diversified management strategies to prevent its spread.

Keywords: NTS resistance, ryegrass, pinoxaden, sulfonylureas, malathion.

1. Introducción

Las características biológicas de *Lolium rigidum* Gaud. favorecen una rápida adaptación de esta mala hierba a las prácticas agrícolas y potencian la evolución acelerada de resistencias a herbicidas, consolidando a *L. rigidum* como un gran problema en los cereales de invierno, especialmente en sistemas agrícolas intensivos (Suzukawa *et al.*, 2021). Entre los herbicidas más empleados para el control de *L. rigidum* destacan los inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS) y del acetil-CoA carboxilasa (ACCase), debido a su elevada eficacia y selectividad. Sin embargo, su uso prolongado ha favorecido la selección de poblaciones resistentes mediante distintos mecanismos evolutivos. Estos incluyen tanto la resistencia en el sitio de acción (TSR), generalmente asociada a mutaciones en el gen diana, como la resistencia no asociada al sitio de acción (NTSR), que abarca procesos como una mayor capacidad de detoxificación metabólica. La coexistencia de ambos mecanismos y resistencias múltiples a ambos tipos de herbicidas dentro de una misma población incrementa la complejidad del problema y dificulta su control (Anthimidou *et al.*, 2020).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es evaluar el perfil de resistencia de una población del *L. rigidum* procedente de Navarra, evaluando su posible resistencia múltiple a herbicidas inhibidores de ALS y de ACCase y los mecanismos de resistencia implicados.

2. Material y métodos

2.1 Material vegetal

Se evaluaron dos poblaciones de *L. rigidum* recolectadas en 2023 y cedidas por INTIASA. La población sensible procedía de Arguedas (Navarra), donde no se habían observado fallos de control, mientras que la población resistente procedía de Legaria (Navarra), donde se habían detectado fallos de control con herbicidas inhibidores de ALS (sulfonilureas) y ACCase (pinoxaden).

2.2 Crecimiento en bandejas y macetas

Durante el otoño de 2024 y 2025, las poblaciones se sembraron en bandejas (1300 semillas/m²; 4 bandejas por tratamiento y población) o macetas con una mezcla perlita:sustrato y se mantuvieron en invernadero hasta alcanzar una altura de 10 cm, momento en el que se aplicaron los tratamientos herbicidas. Los inhibidores de ALS aplicados fueron las sulfonilureas Hussar Plus (iodosulfuron-metil-sodio + mesosulfuron-metil, Bayer, 0,175 L ha⁻¹). Los inhibidores de ACCase aplicados fueron: Axial Pro (pinoxaden, Syngenta, 1 L ha⁻¹); Quilop (quizalofop-P-etil, Adama, 3,8 L ha⁻¹) y Centurion Plus (cletodim, Bayer, 2 L ha⁻¹). Para cada herbicida se aplicó la dosis recomendada (1x) y cuatro veces la misma (4x), además, en cada caso hubo un grupo de plantas sin tratar (control). Tras dos semanas de la aplicación de los tratamientos, se tomaron datos de crecimiento y fotografías. Además, se cosecharon hojas de diferentes individuos (10 sensibles y 30 resistentes) para secuenciar la ALS y la ACCase.

2.3 Crecimiento en tubos de ensayo

Se crecieron plantas en tubos siguiendo un protocolo adaptado de Yannicari *et al.* (2020). Se pregerminaron semillas (100) en placas Petri sobre papel de filtro húmedo, en condiciones controladas de germinador (25 °C y fotoperiodo 12 h luz/12 h oscuridad) y, una vez germinadas, se transfirieron a tubos de vidrio de 10 mL, añadiendo 1 mL de la solución de tratamiento correspondiente. Se realizaron tres ensayos: uno para evaluar el efecto del imazamox (herbicida inhibidor de la ALS) y otros para evaluar el efecto de dos inhibidores de las citocromo P450 (butóxido de piperonilo (PBO) y malatión, a 20 ppm) en el efecto de 25 µM de sulfonilureas y de 1 µM de pinoxaden. Tras 5-7 días de incubación, se midió la longitud de la parte aérea.

2.4 Secuenciación ALS y ACCase

Se extrajo el DNA genómico de las plantas con un kit comercial (Plant & Fungi DNA Purification Kit, Eur. Sp. z o.o., Gdansk, Polonia). La amplificación del gen ALS se hizo según lo descrito en Tavassoli *et al.* (2023) y de la ACCase según Yannicari *et al.* (2020). La secuenciación de ambos genes la llevo a cabo la empresa StabVida Lda. (Caparica, Portugal).

2.5 Análisis estadístico

Se analizaron las diferencias de los diferentes parámetros dentro de la misma población y el mismo herbicida mediante la prueba ANOVA de una vía, seguida de la prueba posthoc HSD Tukey o T3 Dunnet test según había o no homogeneidad de varianzas (p-valor < 0,05).

3. Resultados y discusión

En la figura 1 se evidencia un claro patrón de resistencia múltiple en la población resistente de *Lolium rigidum* frente a herbicidas inhibidores de ALS y de ACCase, como se ha detectado en otros casos también en España (Torra *et al.*, 2021). Mientras que la población sensible muestra reducciones significativas tanto en la altura del tallo como en el peso fresco tras la aplicación de sulfonilureas y pinoxaden, la población resistente mantiene valores de crecimiento elevados y significativamente superiores, incluso a la dosis 4 veces la recomendada (4x).

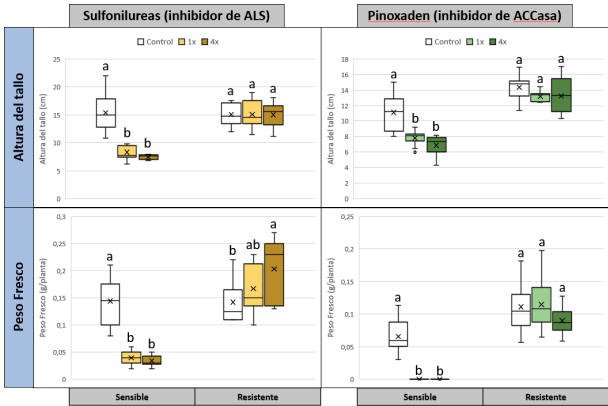


Figura 1. Efecto de los herbicidas en el crecimiento de las poblaciones sensible y resistente de *Lolium rigidum*, a dosis recomendada (1x) y cuatro veces la misma (4x). En cada población, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (p < 0,05) (n=10).

Se evaluó la resistencia cruzada a otros herbicidas con el mismo modo de acción. La población resistente no mostró resistencia a la imidazolinona imazamox, frente a la cual se comportó como sensible (figura 2A). En el caso de los inhibidores de ACCasa (figura 2B), presentó un perfil diferencial: fue sensible a Centurion (DIM), mientras que mostró falta de control con Quilop, evidenciando resistencia a los FOPs, lo que sugiere un patrón específico de resistencia dentro de este grupo químico.

El análisis de secuenciación de los genes diana ALS y ACCasa no reveló la presencia de mutaciones asociadas a resistencia, lo que descartó un mecanismo TSR (datos no mostrados). Este resultado sugirió que la resistencia observada podría estar mediada por mecanismos NTS. Para explorar esta hipótesis, se realizó un ensayo utilizando inhibidores metabólicos, evaluando el efecto de los herbicidas en presencia y ausencia de dos inhibidores del citocromo P450: PBO y malatión (figura 3), con el fin de determinar su influencia sobre la respuesta de la población resistente a los herbicidas estudiados.

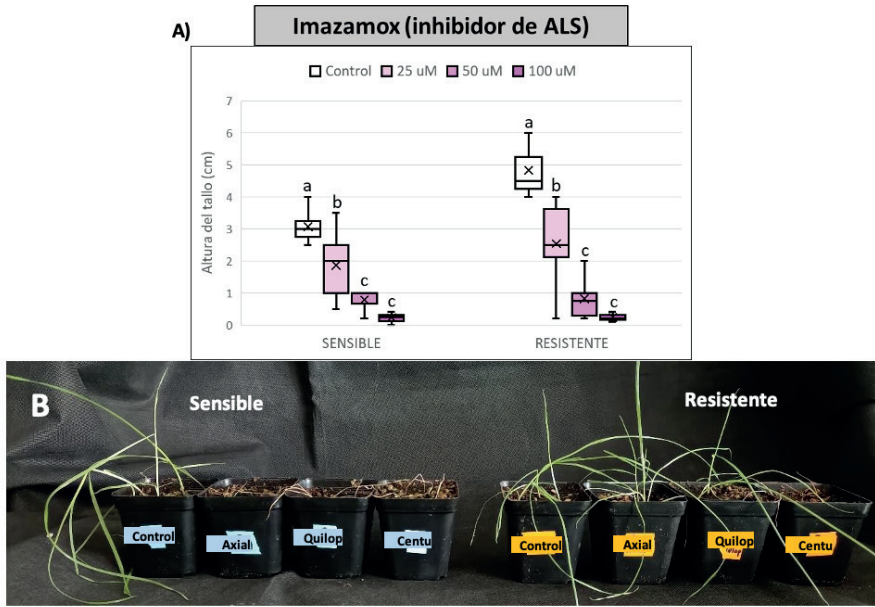


Figura 2. Resistencia cruzada. (A) Efecto del herbicida imazamox en el crecimiento en tubos. En cada población, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) ($n=10$). (B) Respuesta de las poblaciones a diferentes inhibidores de ACCasa a dosis recomendadas a las dos semanas del tratamiento.

La población sensible mostró un comportamiento consistentemente susceptible a ambos herbicidas, tanto en ausencia como en presencia de los inhibidores metabólicos, sin observarse modificaciones relevantes en su respuesta. Por el contrario, la población resistente presentó un patrón diferencial de respuesta: la adición de piperonil butóxido (PBO) restauró la sensibilidad a ambos herbicidas, mientras que el malatión solo incrementó la sensibilidad frente a pinoxaden. Este comportamiento sugiere que la resistencia observada está mediada por mecanismos de detoxificación metabólica (NTSR), probablemente asociados a la actividad de enzimas del citocromo P450. La respuesta diferencial entre inhibidores indica que podrían estar implicadas distintas isoformas de P450 en la metabolización de los herbicidas, tal y como se describió en poblaciones resistentes en Australia (Preston *et al.*, 1996), lo que refleja la complejidad y diversidad funcional de esta familia en *L. rigidum*.

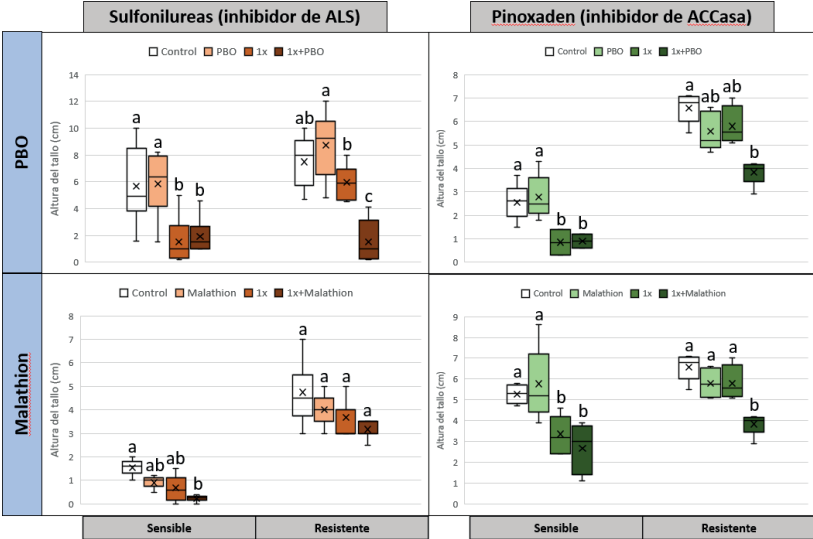


Figura 3. Efecto de los herbicidas 1x (25 μ M sulfonilureas y 1 μ M pinoxaden) en el crecimiento de las poblaciones sensible y resistente de *Lolium rigidum*, solos o en combinación con dos inhibidores de las P450: malatión y PBO. En cada población, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) ($n=10$).

4. Conclusiones

La población de *L. rigidum* evaluada presenta resistencia múltiple a sulfonilureas y a pinoxaden. La evidencia indica que esta resistencia es de tipo metabólico, mediada por diferentes citocromos P450, y muestra un complejo perfil de resistencia. La implicación de distintas isoformas metabólicas incrementa la complejidad del problema y dificulta su potencial control, haciendo necesario un manejo integrado y estrategias diversificadas para evitar la expansión de este tipo de resistencias.

5. Agradecimientos

Financiado por PID2024-155831OB-C21/MCIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER,UE

Referencias

ANTHIMIDOU E, NTOANIDOU S, MADESIS P & ELEFTHEROHORINOS I (2020) Mechanisms of *Lolium rigidum* multiple resistance to ALS- and ACCase-inhibiting herbicides and their impact on plant fitness. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 164, 65-72.

PRESTON C, TARDIF FJ, CHRISTOPHER JT & POWLES SB (1996) Multiple resistance to dissimilar herbicide chemistries in a biotype of *Lolium rigidum* due to enhanced activity of several herbicide degrading enzymes. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 54, 123-134.

SUZUKAWA AK, BOBADILLA LK, MALLORY-SMITH C & BRUNHARO CACG (2021) Non-target-site resistance in *Lolium* spp. globally: A review. *Frontiers in Plant Science* 11, 609209.

TORRA J, MONTULL JM, TABERNER A, ONKOKESUNG N, BOONHAM N & EDWARDS R (2021) Target-site and non-target-site resistance mechanisms confer multiple and cross-resistance to ALS and ACCase inhibiting herbicides in *Lolium rigidum* from Spain. *Frontiers in Plant Science* 12, 625138.

YANNICCARI M, GIGÓN R & LARSEN A (2020) Cytochrome P450 herbicide metabolism as the main mechanism of cross-resistance to ACCase- and ALS-inhibitors in *Lolium* spp. populations from Argentina: a molecular approach in characterization and detection. *Frontiers in Plant Science* 11, 600301.

P1. Caracterización de la sensibilidad a glifosato en poblaciones de *Eleusine indica* procedentes de viñedos en Cataluña, España

P1. Characterization of glyphosate sensitivity in *Eleusine indica* populations from vineyards in Catalonia, Spain

MORA G¹, MENÉNDEZ J², MANICARDI A¹, RECASENS J¹, TORRA J¹

¹Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, Universidad de Lleida - Centro CERCA Agrotecnio, Lleida, España; ²Departamento Ciencias Agroforestales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Huelva, Huelva, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29304

Email (por orden de autoría): german.mora@udl.cat; jmenend@dcaf.uhu.es; alfredo.manicardi@udl.cat; jordi.recasens@udl.cat; joel.torra@udl.cat

Eleusine indica (L.) Gaertn. es una gramínea C₄ cuya presencia ha aumentado en cultivos leñosos de España, favorecida por el riego localizado y por sistemas de manejo basados en control mecánico (siegas) y químico (tratamientos herbicidas) en la fila de cultivo. En 2021 se recolectaron semillas de dos poblaciones (R2 y R3) procedentes de viñedos de Raimat-Lleida (Cataluña), supervivientes a dosis de campo de glifosato (1.080 g ia ha⁻¹), y una población susceptible de referencia (S2), originaria de Lleida (Cataluña). Los ensayos de dosis-respuesta evidenciaron una reducción de la sensibilidad a glifosato en las poblaciones R2 y R3, que requirieron 8,3 y 6,9 veces más dosis, respectivamente, para reducir la biomasa aérea en un 50% (GR50 = 391,7 y 324,8 g ia ha⁻¹), en comparación con la población S2 (GR50 = 47,23 g ia ha⁻¹). Los valores de GR90 indicaron que la población S2 (995 g i.a. ha⁻¹) fue controlada eficazmente con la dosis recomendada en campo, mientras que R2 y R3 superaron este umbral (1.346 y 1.224 g ia ha⁻¹, respectivamente), comprometiendo el control a dosis comerciales. Los análisis moleculares no detectaron mutaciones ni amplificación del gen *EPSPS* asociadas a mecanismos de resistencia en el sitio de acción. En conjunto, los resultados sugieren una reducción incipiente de la sensibilidad a glifosato en las poblaciones R2 y R3, potencialmente asociada a mecanismos fuera del sitio de acción (NTSR), lo que refuerza la necesidad de estrategias de manejo integrado para limitar su intensificación.

Palabras clave: Dosis-respuesta, inhibidores de la EPSPS, resistencia incipiente, viñedos.

Eleusine indica (L.) Gaertn. is a C₄ grass whose occurrence has increased in woody crops in Spain, favored by localized irrigation and management systems based on mechanical control (mowing) and chemical control (herbicide applications) within the crop row. In 2021, seeds were collected from two populations (R2 and R3) from vineyards in Raimat, Lleida (Catalonia, Spain) that had survived the recommended field rate of glyphosate (1,080 g ai ha⁻¹), together with a susceptible reference population (S2) collected in Lleida (Catalonia, Spain). Dose-response assays revealed reduced sensitivity to glyphosate in populations R2 and R3, which required 7.6- and 6.4-fold higher doses, respectively, to reduce aboveground biomass by 50% (GR50 = 435.6 and 365.8 g ai ha⁻¹), compared with population S2 (GR50 = 57.4 g ai ha⁻¹). GR90 values indicated that population S2 was effectively controlled at the recommended field rate, whereas R2 and R3 exceeded this threshold (1,346 and 1,224 g ai ha⁻¹, respectively), thereby compromising control at commercial rates. Molecular analyses did not detect mutations or amplification of the *EPSPS* gene associated with target-site resistance mechanisms. Overall, these results suggest an incipient reduction in glyphosate sensitivity in populations R2 and R3, potentially associated with non-target-site resistance (NTSR) mechanisms, highlighting the need for integrated management strategies to limit further intensification.

Keywords: Dose-response, EPSPS inhibitors, incipient resistance, vineyards.

1. Introducción

Eleusine indica (L.) Gaertn. es una gramínea anual de origen tropical con metabolismo C₄, ampliamente distribuida en regiones cálidas del mundo y bien adaptada a ambientes perturbados y sistemas agrícolas intensivos. Su elevada eficiencia fotosintética, rápido crecimiento, alta fecundidad y ciclo biológico corto, junto con su notable plasticidad ecológica, favorecen su establecimiento, persistencia y expansión, especialmente bajo condiciones de temperaturas elevadas y disponibilidad de agua (Takano *et al.*, 2016).

En España, esta especie ha incrementado su presencia en cultivos perennes de regadío, particularmente en viñedos y frutales, donde el riego por goteo y las altas temperaturas estivales generan condiciones favorables para su emergencia y desarrollo. Además, el manejo de la vegetación en la línea de cultivo se basa con frecuencia en siegas mecánicas con desbrozadora y aplicaciones repetidas de glifosato. Este régimen ejerce una intensa presión de selección, favoreciendo la persistencia de individuos capaces de sobrevivir tanto al corte como al tratamiento herbicida y promoviendo así la evolución de poblaciones menos sensibles o resistentes (Recasens *et al.*, 2020).

A escala global, *E. indica* se encuentra entre las malas hierbas con mayor número de resistencias confirmadas, con casos descritos frente a ocho modos de acción herbicida. Predominan las resistencias simples a glifosato, aunque también se han registrado casos de resistencia múltiple de hasta cuatro modos de acción. En esta especie se han documentado once casos de resistencia a glifosato a nivel mundial, incluido el primero confirmado en Europa en el año 2019, en un biotipo italiano procedente de vivero (Heap, 2026).

En *E. indica*, la resistencia a glifosato se ha relacionado principalmente con mecanismos ligados al sitio de acción, como mutaciones y amplificación o sobreexpresión del gen *EPSPS*, aunque también se han descrito mecanismos no relacionados con el sitio de acción, especialmente una translocación reducida del herbicida y, de forma más reciente, procesos metabólicos (Alcántara-de La Cruz *et al.*, 2025).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la sensibilidad a glifosato de dos poblaciones de *E. indica* (R2 y R3) procedentes de viñedos de Raimat (Lleida, Cataluña), en comparación con una población sensible de referencia (S2), mediante ensayos de dosis-respuesta, y evaluar la posible implicación de mecanismos de resistencia asociados al sitio de acción, como mutaciones y cambios en el número de copias del gen *EPSPS*.

2. Materiales y métodos

2.1 Material vegetal

Se evaluaron dos poblaciones presuntamente resistentes (R2 – R3) de *E. indica*, recolectadas en 2021 en viñedos de Raimat-Lleida, con riego por goteo, y manejo de malas hierbas en la línea de cultivo, basado en glifosato. La población sensible de referencia (S2) fue recolectada en Lleida (ambiente urbano) y su carácter sensible fue comprobado mediante un ensayo preliminar con las dosis recomendadas en campo.

Las semillas fueron sembradas en bandejas de aluminio, con sustrato de turba (Klasman Tray Substrats, 50% turba negra - 50% turba rubia, pH: 6) humedecida. Las bandejas se colocaron en cámara de crecimiento, a 28/20 °C día/noche y un fotoperíodo de 12/12 horas. Después de cinco días, las plántulas se trasplantaron en macetas de plástico de 7 cm x 7 cm x 10 cm, con un sustrato a base de tierra (textura limosa) y turba en una relación 1:1 y se dejaron en invernadero a una temperatura constante de 30

°C y con un fotoperíodo de 16/8 h de luz/oscuridad, suministrando riego según demanda hasta que tuvieron 5 hojas (BBCH 15), estado fenológico en el que se aplicó el tratamiento herbicida.

2.2 Ensayo de dosis-respuesta

La sensibilidad de *E. indica* a glifosato (inhibidores de la EPSPS - HRAC 9), se evaluó con Roundup Plus® (Bayer; sal isopropilamina, 36% p/v). La aplicación se realizó con un pulverizador de precisión estático de banco que suministraba 200 L ha⁻¹ a una presión de 215 kPa, con boquilla HARDI Low-Drift, modelo ISO LD-02-110-CT. Para la población S, se evaluaron las dosis: 0, 13.7, 27.5, 55, 270, 540 (1/2x) g ia ha⁻¹, y para las poblaciones R: 0, 55, 270, 540, 1080 (1x). 1/2x equivale a la dosis mínima de campo (1.5 L ha⁻¹) y 1x a la dosis máxima (3 L ha⁻¹). Por cada población se estudiaron diez repeticiones (dos plantas por maceta = una repetición), en un diseño completamente aleatorio. El peso fresco de la biomasa aérea (corte a ras de sustrato) se realizó 28 días después del tratamiento.

2.3 Secuenciación y número de copias del gen EPSPS

Se recolectó tejido foliar de plantas supervivientes al tratamiento con glifosato de la población resistente, así como del control de la población sensible. Las muestras se pulverizaron en nitrógeno líquido y el ADN genómico se extrajo de ≈50 mg de tejido vegetal mediante el kit comercial Speedtools Plant DNA Extraction Kit (Bitools B&M Labs S.A., España). Su concentración y calidad se evaluaron mediante espectrofotometría y electroforesis en gel de agarosa al 1%, respectivamente. El material extraído se utilizó para la secuenciación y la determinación del número de copias del gen *EPSPS*, siguiendo la metodología previamente descrita para el estudio de mecanismos de resistencia a glifosato, con las adaptaciones específicas requeridas para *E. indica* (Mora *et al.*, 2025).

2.4 Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el programa GraphPad Prism 11.0.0 (GraphPad Software, Boston, MA, EE. UU., www.graphpad.com). La dosis de herbicida necesaria para reducir el peso fresco en un 50% (GR₅₀) se estimó con un modelo logístico de cuatro parámetros (4P) con pendiente variable (ec. 1):

$$(1) \quad Y = \text{Bottom} + \frac{(\text{Top} - \text{Bottom}) \cdot x^{\text{Hillslope}}}{\text{EC}_{50}^{\text{Hillslope}} + x^{\text{Hillslope}}}$$

donde *X* es la dosis de herbicida; *Y* es la variable de respuesta (reducción porcentual (%) del peso fresco con relación al control sin tratar); *Top* y *Bottom* son las asíntotas superior e inferior (restringidas a 100 y 0, respectivamente); EC₅₀ corresponde a GR₅₀; y *Hillslope* es la pendiente de la curva. Los valores de GR₉₀ se obtuvieron a partir del modelo logístico de 4P ajustado mediante la función *ECanything*. Las diferencias entre valores de GR₅₀ se evaluaron con la función *Compare models* y una prueba *F* de suma extra de cuadrados. El factor de resistencia (FR) se calculó como la relación entre los valores de GR₅₀ de las poblaciones R y S (FR₅₀ = R/S).

3. Resultados y discusión

Los ensayos dosis-respuesta basados en la reducción de la biomasa mostraron una menor sensibilidad a glifosato en las poblaciones R2 y R3 respecto a S2 (figura 1). Los valores de GR₅₀ en R2 (391,7 g ia ha⁻¹) y R3 (324,8 g ia ha⁻¹) fueron 8,3 y 6,9 veces superiores al de S2 (47,2 g ia ha⁻¹) (tabla 1). Estos FR₅₀ fueron similares al descrito para un biotipo italiano de *E. indica* resistente a glifosato (FR₅₀ = 5,8; Loddo *et al.*, 2020) y se encuentran dentro del rango reportado para biotipos brasileños resistentes a este herbicida (FR₅₀ = 3-11; Alcántara-de la Cruz *et al.*, 2025).

Aunque S2 presentó un GR₉₀ elevado (995 g ia ha⁻¹), este valor no equivale necesariamente a supervivencia funcional ni a capacidad competitiva o reproductiva, sino que indica la persistencia de tejido

vivo tras el tratamiento. En cambio, en R2 y R3 los valores de GR₉₀ (1346 y 1224 g ia ha⁻¹) superaron la dosis máxima de campo (1080 g ia ha⁻¹), lo que indica que el glifosato no alcanzaría ese nivel de reducción de biomasa con las dosis recomendadas en campo. Desde un punto de vista agronómico, los resultados indican una mayor probabilidad de escapes, aumentando la presión de selección en viñedo, comprometiendo su manejo en campo.

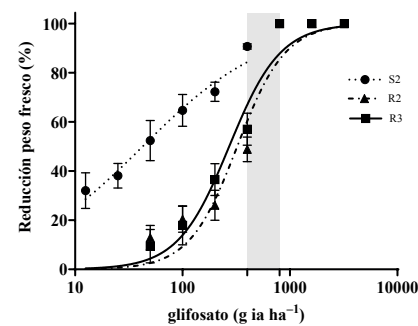


Figura 1. Curvas dosis-respuesta para la reducción del peso fresco (%) de las poblaciones de *Eleusine indica* susceptibles (S2) y resistentes (R2 – R3) tratadas con glifosato. Los puntos representan las medias de los tratamientos, las barras verticales indican $\pm$ SE, y la banda gris es la dosis mínima y máxima de campo (del herbicida).

Tabla 1. Valores estimados para la reducción de la biomasa aérea de dos poblaciones de *Eleusine indica*.

POBLACIÓN	GR50 G IA HA-1 (IC 95%)	FR50	GR90 G IA HA-1
S2	47.2 (36.5-57.9)	-	995.0
R2	391.7 (220.7-562.6)	8.3	1346.0
R3	324.8 (217.6-432.0)	6.9	1224.0

IC 95%: intervalo de confianza, FR: factor de resistencia.

Por otra parte, la secuenciación parcial del gen *EPSPS* no detectó sustituciones en los codones Thr102, Ala103 ni Pro106 en ninguna de las poblaciones evaluadas, posiciones previamente asociadas con resistencia a glifosato. Del mismo modo, la determinación del número relativo de copias de *EPSPS* mostró valores similares entre S2, R2 y R3 (figura 2). En conjunto, estos resultados indican que la menor sensibilidad a glifosato observada en R2 y R3 no estaría asociada con los mecanismos ligados al sitio de acción analizados en este estudio. Por tanto, no se descarta la participación de mecanismos no relacionados con el sitio de acción, como la translocación reducida o el metabolismo incrementado del herbicida, previamente descritos en *E. indica* (Alcántara-de la Cruz *et al.*, 2025).

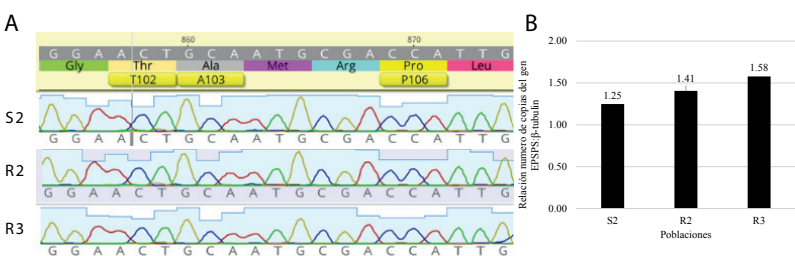


Figura 2. (A) Cromatogramas parciales de la región del gen *EPSPS* que comprende los codones Thr102, Ala103 y Pro106, (B) número relativo de copias del gen *EPSPS* de las poblaciones S2, R2 y R3.

4. Conclusiones

Las poblaciones R2 y R3 mostraron una menor sensibilidad al glifosato que S2, con niveles de resistencia bajos, pero con relevancia agronómica en campo. La ausencia de sustituciones en los codones Thr102, Ala103 y Pro106 del gen *EPSPS*, junto con la falta de amplificación génica, indica que la respuesta observada no estaría asociada con los mecanismos ligados al sitio de acción, lo que sugiere la posible participación de mecanismos no relacionados con el sitio de acción (NTSR), hipótesis que deberá confirmarse en estudios posteriores mediante ensayos de absorción, translocación y metabolismo del herbicida. Por tanto, es necesario implementar estrategias de manejo integrado que reduzcan la dependencia del glifosato y limiten la selección de nuevos biotipos resistentes.

5. Agradecimientos

Proyecto PID2024-155831OB-C22 financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

Referencias

ALCÁNTARA-DE LA CRUZ R, SILVA LBX, TAKANO HK, BARCELLOS JÚNIOR LH & MENDES KF (2025) The rise of *Eleusine indica* as Brazil’s most troublesome weed. *Agronomy*, 15, 1759.

LODDO D, IMPERATORE G, MILANI A, PANOZZO S, FARINATI S, SATTIN M & ZANIN G (2020) First report of glyphosate-resistant biotype of *Eleusine indica* (L.) Gaertn. in Europe. *Agronomy*, 10, 1692.

HEAP I (2026) The International Herbicide-Resistant Weed Database. Disponible en: <http://www.weedscience.org> [Consultado el 16 de abril de 2026].

MORA G, GIL-MONREAL M, OSUNA MD, VIJAYARAJAN VBA, MONTULL JM, LLENES JM, RECASENS J, CIRUJEDA A, MARÍ AI & TORRA J (2025) First case of triple resistance to EPSPS, ALS, and synthetic auxin herbicides in *Bassia scoparia* (L.) Voss in Europe. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 213, 106529.

RECASENS J, CONESA JA & JUÁREZ-ESCARIO A (2020) Las invasiones vegetales en sistemas agrícolas. Retrospectiva de los últimos 40 años en Cataluña. *Información Técnica Económica Agraria*, 116, 1-20.

TAKANO HK, OLIVEIRA JR RS, CONSTANTIN J, BRAZ GBP & PADOVESE JC (2016) Growth, development and seed production of goosegrass (*Eleusine indica*). *Planta Daninha*, 34, 249-258.

P2. Evaluación de la respuesta a herbicidas en poblaciones de *Echinochloa crus-galli* procedentes de campos de maíz de Extremadura

P2. Evaluation of the response to herbicides in populations of *Echinochloa crus-galli* from maize fields in Extremadura

MÉNDEZ GRANO DE ORO L¹, DE SANTIAGO A¹, PALMERIN JA², OSUNA MD¹

¹Área de Protección Vegetal, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICY-TEX), Guadajira, Badajoz, España; ²Servicio de Sanidad Vegetal, Junta de Extremadura, Don Benito, Badajoz, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29305

Email (por orden de autoría): laura.mendez@juntaex.es; anarosario.santiago@juntaex.es; jantonio.palmerinr@juntaex.es; mariadolores.osuna@juntaex.es

El maíz es un cultivo estratégico en Extremadura por su extensión y relevancia económica, ocupando en la actualidad unas 27000 ha. Aunque desde el 2019 se ha producido una disminución en la superficie debido, entre otros motivos a la caída de precios, así como al aumento de costes de producción. *Echinochloa crus-galli* es una de las malas hierbas más problemáticas en diferentes cultivos debido a su elevada plasticidad ecológica y capacidad para adaptarse a distintos manejos. En Europa se han documentado resistencias a inhibidores de ALS, ACCasa y fotosistema II, y en España se confirmó en 2019 el primer caso de resistencia a ALS en zonas de maíz. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de veintinueve poblaciones de *E. crus-galli*, muestreadas aleatoriamente en campos de maíz en Extremadura, frente a los herbicidas S-metolacoloro, dimetenamida-P e isoxaflutol (preemergencia) y nicosulfuron (postemergencia). El ensayo se realizó en invernadero bajo condiciones controladas. Seis semanas tras la aplicación, se determinó la biomasa fresca de las plantas supervivientes, expresada como porcentaje respecto al testigo. La reducción de biomasa fresca se empleó como indicador de resistencia. Todas las poblaciones mostraron susceptibilidad a los herbicidas de preemergencia. Sin embargo, la respuesta a nicosulfuron fue variable: dieciocho poblaciones fueron susceptibles, ocho presentaron resistencia en desarrollo, dos mostraron resistencia moderada y una de ellas fue clasificada como altamente resistente. Este estudio constituye la primera caracterización de malas hierbas resistentes en maíz en Extremadura. Los resultados evidencian la necesidad de implementar programas de monitorización continua y estrategias de manejo integrado.

Palabras clave: Pre-emergencia, resistencia, nicosulfuron, manejo integrado de malas hierbas.

Maize is a strategic crop in Extremadura due to its extent and economic importance, currently covering some 27,000 hectares. However, since 2019, there has been a decline in the area planted, due, among other reasons, to falling prices and rising production costs. Echinochloa crus-galli is one of the most problematic weeds in various crops due to its high ecological plasticity and its ability to adapt to different management practices. In Europe, resistance to ALS, ACCase, and photosystem II inhibitors has been documented, and in Spain, the first case of ALS resistance in corn-growing areas was confirmed in 2019. The objective of this study was to evaluate the response of twenty-nine populations of E. crus-galli, randomly

sampled from corn fields in Extremadura, to the herbicides S-metolachlor, dimethenamid-P and isoxaflutole (pre-emergence) and nicosulfuron (post-emergence). The experiment was conducted in a greenhouse under controlled conditions. Six weeks after application, the fresh biomass of the surviving plants was determined, expressed as a percentage relative to control. The reduction in fresh biomass was used as an indicator of resistance. All populations showed susceptibility to the pre-emergence herbicides. However, the response to nicosulfuron varied: eighteen populations were susceptible, eight showed developing resistance, two exhibited moderate resistance, and one was classified as highly resistant. This study represents the first characterization of resistant weeds in maize in Extremadura. The results highlight the need to implement continuous monitoring programs and integrated management strategies.

Keywords: Pre-emergence, resistance, nicosulfuron, integrated weed management.

1. Introducción

El cultivo de maíz constituye uno de los sistemas agrícolas más importantes de España, tanto por su relevancia económica como por su papel en la producción de alimento animal, materias primas para la industria agroalimentaria y bioenergía. Las principales regiones productoras de maíz en España son Castilla León, Valle del Ebro y Extremadura (MAPA, 2026) En la siguiente gráfica se muestra la evolución de la superficie de maíz en Extremadura en los últimos años (Servicio de Sanidad Vegetal de la Junta de Extremadura, comunicación personal) (figura 1).

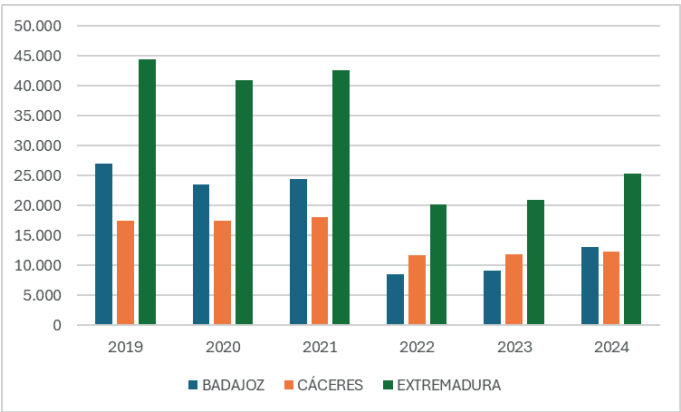


Figura 1. Evolución de la superficie cultivada (has) de maíz en Extremadura (diferenciada por provincias) durante el periodo 2019-2024.

Sin embargo, la rentabilidad y sostenibilidad de este cultivo se ven seriamente condicionadas por la competencia de las malas hierbas, especialmente durante las primeras fases de desarrollo del cultivo. Entre los diferentes grupos de especies infestantes, *E. crus-galli* representa uno de los principales problemas (Loureiro *et al.*, 2025). Su elevada producción de semillas, capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales y prolongado periodo de emergencia favorecen tanto su persistencia en el agroecosistema como la rápida evolución de resistencias (Loureiro *et al.*, 2025). En el control de gramíneas en maíz, aunque existen diversas materias activas autorizadas para aplicaciones en preemergencia, el control en postemergencia ha dependido tradicionalmente de los herbicidas inhibidores de

la acetolactato sintasa (ALS), especialmente del nicosulfurón. A nivel mundial existen 13 casos de *E. crus-galli* resistentes en maíz (Heap, 2026). En España se ha confirmado la presencia de poblaciones resistentes a inhibidores ALS asociadas a mutaciones en el gen *ALS* (Torra *et al.*, 2025).

En este contexto, resulta fundamental monitorizar la evolución de la resistencia, evaluar el estado actual de las poblaciones presentes en las principales áreas productoras y generar información que permita optimizar los programas de manejo integrado de malas hierbas. Actualmente se está desarrollando el proyecto REGRAMA (Herbicide REsistance in GRAss weeds in MAize cultivation; PID2022-136920OR-C41), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, con el objetivo de evaluar la situación actual y caracterizar los mecanismos de resistencia a herbicidas en las principales gramíneas arvenses asociadas al cultivo de maíz en España. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta de 29 poblaciones de *E. crus-galli* recolectadas en explotaciones maiceras de Extremadura frente a herbicidas de uso habitual en maíz, con el fin de detectar posibles casos de resistencia a S-metolachloro (esta sustancia activa dejó de estar autorizada en la Unión Europea en 2024), dimetenamida-P e isoxaflutol (preemergencia) y a nicosulfurón (postemergencia).

2. Material y métodos

Las poblaciones de *E. crus-galli* incluidas en este trabajo se recolectaron en el 2024 en diferentes zonas productoras de maíz de Extremadura mediante un muestreo sistemático georreferenciado (figura 2). En cada población se recolectaron entre 25 y 50 panículas maduras procedentes de diferentes individuos.

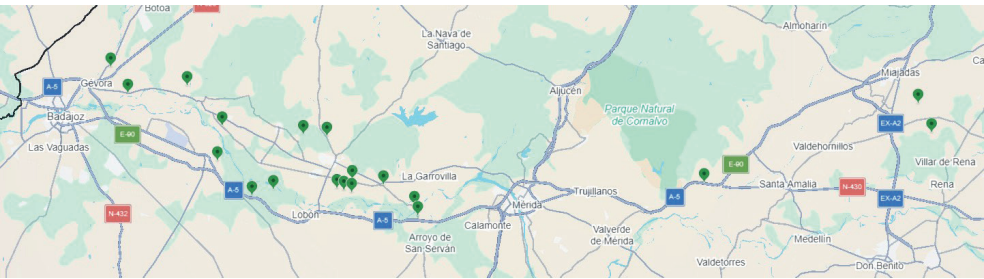


Figura 2. Localización geográfica de las poblaciones de *E. crus-galli* muestreadas en las principales zonas productoras de maíz de Extremadura.

Los ensayos se realizaron en condiciones controladas de invernadero utilizando tres repeticiones por tratamiento y 100 semillas por repetición, utilizando macetas (11 × 11 × 12 cm) con un sustrato compuesto por tierra, mantillo y arena (1:1:1 v/v/v). Los tratamientos herbicidas se aplicaron utilizando una cabina de laboratorio equipado con una boquilla de abanico plano TeeJet 8002 EVS, calibrado para aplicar 250 L ha⁻¹. Se aplicaron las dosis comerciales recomendadas para cada herbicida. Los tratamientos herbicidas de preemergencia consistieron en aplicaciones de S-metolachloro (1440 g m.a. ha⁻¹), dimetenamida-P (1008 g m.a. ha⁻¹) e isoxaflutol (96 g m.a. ha⁻¹), efectuadas 24 horas después de la siembra. El tratamiento de postemergencia con nicosulfurón se aplicó a una dosis de 45 g m.a. ha⁻¹ cuando las plantas se encontraban en el estado fenológico de 2-3 hojas. Seis semanas después de la aplicación de los tratamientos, las plantas supervivientes fueron cortadas a nivel del suelo y se determinó su biomasa fresca. La respuesta de cada población se clasificó siguiendo la escala de resistencia propuesta por Moss *et al.* (1999) basada en porcentajes de peso fresco respecto al control: susceptible (S) si <10 %; con resistencia en desarrollo (DR) con valores entre el 10 % y el 19 %, resistencia intermedia (RR) entre el 20 % y el 59 %, y altamente resistentes (RRR) con valores >60 %.

Tras obtener los datos del screening, se realizó la secuencia del gen *ALS* en aquella población clasificada como altamente resistente (RRR) siguiendo la metodología descrita en Torra *et al.* (2024).

2. Resultados y discusión

Todas las poblaciones de *E. crus-galli* evaluadas en este estudio mostraron susceptibilidad a los herbicidas aplicados en preemergencia (datos no mostrados). De las 29 poblaciones evaluadas, 18 (62,1 %) fueron clasificadas como susceptibles a nicosulfurón, mientras que los 11 restantes (37,9 %) mostraron algún grado de reducción de sensibilidad al herbicida. En concreto, ocho poblaciones (27,6 %) fueron clasificadas como poblaciones con resistencia en desarrollo, dos (6,9 %) como resistentes y una (3,44 %) como altamente resistentes (tabla 1). Estos resultados indican que existe una proporción significativa de poblaciones en las que la eficacia de nicosulfurón podría verse comprometida. Se realizó la secuencia del gen *ALS* en la población clasificada como altamente resistentes (RRR), encontrándose la presencia de una mutación en la posición Trp574 (figura 3). Sustituciones en esta posición (Trp574) están asociadas con resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS (Torra *et al.*, 2024; Sun *et al.*, 2026).

Tabla 1. Clasificación de las poblaciones de *E. crus-galli* en función de su respuesta a nicosulfurón. S: susceptibles; DR: resistencia en desarrollo, RR: moderadamente resistentes y RRR: altamente resistentes.

PESO FRESCO (% RESPECTO AL CONTROL)				
	<10 %	10-19 %	20-59 %	>60 %
	S	DR	RR	RRR
Poblaciones (n)	18	8	2	1
Media (min- max)	5,24 (0-9,99)	15,42 (10,89-27,13)	51,48 (46,09-56,88)	77,95

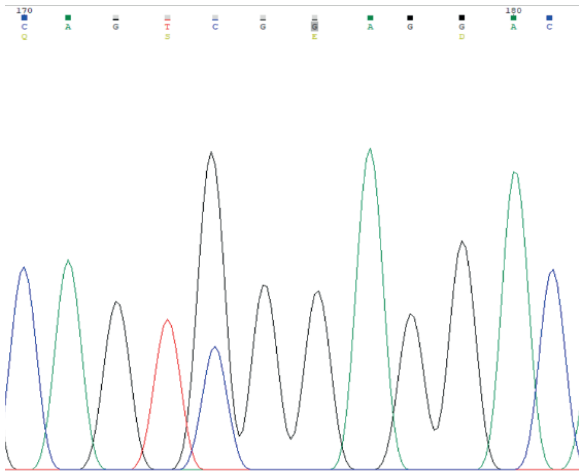


Figura 3. Secuencia del gen *ALS* en la población 102 (clasificada como RRR), donde se muestra un cambio de nucleótido (doble pico C/G) dando lugar a un cambio Trp por Ser en la posición 574.

3. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que las poblaciones de *E. crus-galli* muestreadas en Extremadura mantienen una elevada susceptibilidad a los herbicidas de preemergencia evaluados. Sin embargo, el 37,9 % de las poblaciones presentó algún grado de reducción de sensibilidad a nicosulfurón, incluyendo una población altamente resistente en la que se detectó una mutación en la posición Trp574 del gen *ALS*. Estos resultados evidencian que la resistencia a inhibidores de la ALS ya está presente en las zonas maiceras de Extremadura y ponen de manifiesto la necesidad de establecer programas de monitorización continuada e implementar estrategias de manejo integrado que reduzcan la presión de selección y contribuyan a retrasar la evolución y dispersión de nuevas resistencias.

4. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto REGRAMA (PID2022-136920OR-C42, “Herbicide REsistance in GRAss weeds in MAize cultivation”), financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE. Los autores agradecen igualmente la colaboración de los agricultores y entidades participantes en la recogida de muestras y en el desarrollo de los ensayos.

Referencias

HEAP I (2026) The International Herbicide-Resistant Weed Database. Disponible en: www.weed-science.org [consultado el 19 de abril de 2026].

LOUREIRO I, BRIEGA I, ARIAS-MARTÍN M & ESCORIAL MC (2025) Resistencia de malas hierbas gramíneas de verano a herbicidas inhibidores de ALS en cultivos de maíz en Castilla y León. *Phytoma España*, 380, 32-36.

MAPA: MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (2026) Registro de productos fitosanitarios. Disponible en: www.mapa.gob.es [consultado el 19 de abril de 2026].

MOSS SR, CLARKE JH, BLAIR AM, CULLEY TN, READ MA & RYAN PJ (1999) The ‘R’ rating system for identifying herbicide-resistant weed populations. *Brighton Crop Protection Conference – Weeds*, 179-184.

SUN P, NIU L, HE P, YU H, CHEN J, CUI H & LI X (2024) Trp-574-Leu and the novel Pro-197-His/Leu mutations contribute to penoxsulam resistance in *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1488976.

TORRA J, RECASENS J, MONTULL JM, TABERNER A, RIERA N & OSUNA MD (2024) A 4-year field study monitoring the evolution of Trp574Leu-resistant plants in an *Echinochloa crus-galli* population under different crop rotation and herbicide programs in maize. *Pest Management Science*, 80, 5678-5689.

P3. Comparación de la aptitud biológica de un biotipo de *Digitaria sanguinalis* resistente a herbicidas inhibidores de la ALS y otro sensible

P3. Comparison of the fitness between two biotypes of *Digitaria sanguinalis*, one resistant and the other sensitive to ALS-inhibiting herbicides

MAS MT¹, VERDÚ AMC¹

¹*Departament d'Enginyeria Agrolimentària i Biotecnologia, Escola d'Enginyeria Agrolimentària i de Biosistemes de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Castelldefels, Barcelona España*

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29306

Email (por orden de autoría): maite.mas@upc.edu; amc.verdu@upc.edu

Digitaria sanguinalis es una gramínea anual de verano, frecuente en cultivos de regadío, de la que se conocen biotipos con diferentes mecanismos de resistencia a herbicidas inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS). El objetivo del estudio fue comparar la aptitud biológica de dos biotipos de *D. sanguinalis*, uno con resistencia no debida al sitio de acción y uno sensible a los herbicidas inhibidores de la ALS. Para ello en 2024 se llevó a cabo un experimento en invernadero que partió de plántulas con dos hojas situadas en macetas. El experimento tuvo un diseño de 3 bloques aleatorizados con dos efectos principales: el biotipo (resistente o sensible) y la densidad de plantas por maceta (1 ó 2). Se obtuvo el día de floración, la biomasa aérea producida por individuo y el número de inflorescencias. El biotipo resistente tuvo una biomasa media mayor al sensible a densidad baja, pero menor a densidad alta, de manera que la pérdida media atribuible al efecto de la competencia fue de un 37 % en el biotipo resistente y de un 23 % en el sensible. La pérdida en peso de la fracción reproductiva fue de un 38 % y de un 5 %, y en número de inflorescencias de un 34 % y un 11 %. Los resultados permiten concluir que el biotipo resistente tendría menor capacidad competitiva que el sensible. Si se debiera al hecho de ser resistente, ello podría tener implicaciones en el manejo de las poblaciones de esta especie en campo.

Palabras clave: DIGSA, garranchuelo, capacidad reproductiva, competencia intraespecífica.

Digitaria sanguinalis is a summer annual grass, common in irrigated crops, for which biotypes with different resistance mechanisms to acetolactate synthase (ALS) inhibitor herbicides are known. The objective of this study was to compare the fitness of two *D. sanguinalis* biotypes: one non-target site resistant to ALS-inhibiting herbicides, and one sensitive. A greenhouse experiment was conducted in 2024, starting with two-leaf seedlings planted in pots. The experiment followed a randomized block design with two main effects: biotype (resistant or sensitive) and plant density (1 or 2 plants per pot). The flowering date the aboveground biomass produced per individual and the number of inflorescences were obtained. The resistant biotype had a higher mean biomass than the sensitive biotype at low density, but lower at high density, such that the average loss attributable to competition was 37 % in the resistant biotype and 23 % in the sensitive biotype. Weight loss in the reproductive fraction was 38 % and 5 %, respectively, and in the number of inflorescences was 34 % and 11 %, respectively. The results suggest that the herbicide-resistant biotype has lower competitive ability than the sensitive biotype. If this is due to its resistance, it could have implications for managing populations of this species in the field.

Keywords: DIGSA, large crabgrass, reproductive capacity, intraspecific competition.

1. Introducción

Digitaria sanguinalis (L.) Scop. es una planta cosmopolita muy frecuente en cultivos de verano, de la cual se conocen varias poblaciones resistentes a herbicidas (Areces-Berazain, 2022). De hecho, el uso de herbicidas sintéticos durante las últimas décadas ha conllevado que cientos de especies de malas hierbas presenten resistencia a distintos herbicidas (Délye *et al.*, 2013; Gaines *et al.*, 2020). Las mutaciones que confieren resistencias a herbicidas no siempre van acompañadas de un coste para las plantas; pero si así fuera, y las plantas resistentes tuvieran una aptitud biológica inferior a las sensibles, se podría pensar en prácticas de manejo que retrasaran la dispersión y disminuyeran las frecuencias de esta resistencia (Vila-Aiub, 2019).

El objetivo del trabajo fue conocer y comparar el crecimiento y la capacidad reproductiva de plantas *D. sanguinalis* de dos biotipos distintos, uno sensible a los herbicidas inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS) y otro resistente a este tipo de herbicidas, con resistencia no debida al sitio de acción (NTSR en sus siglas en inglés).

2. Material y métodos

Las espiguillas se obtuvieron multiplicando dos biotipos cedidos por C. Délye. Inicialmente las del biotipo resistente se recolectaron en un campo de maíz cerca de Saint Georges de Pointindoux, al Sur de Nantes (Francia), y las del biotipo sensible de un campo de soja cerca de Dijon (Francia) (C. Délye, comunicación personal).

Las espiguillas se dispusieron en placas de Petri, previo lavado de 10 minutos con NaClO al 5 %, con papel humedecido con agua destilada hasta la protrusión de la radícula. Las plántulas se trasladaron a bandejas de aluminio con sustrato universal CompoSana®, también humedecido con agua destilada, hasta que tuvieron dos hojas desplegadas. Todo ello se llevó a cabo en cámara, con un 60 % HR, 20 °C 12 h oscuridad / 30 °C 12 h luz a 4000 Lux. Luego se llevaron a invernadero y se trasplantaron a contenedores de 1,3 L que contenían el mismo sustrato con riego por goteo de 0,5 L/h anti drenante NETA-FIM que proporcionó, en promedio, un riego de 125 mL/día por contenedor. El experimento comenzó el 17 de septiembre y finalizó el 15 de noviembre de 2024. La temperatura promedio del aire fue de 24,3 °C, la máxima registrada fue de 38,7 °C y la mínima de 14,6 °C; en promedio la humedad relativa del aire fue de 49,9 % y la intensidad lumínica de 103,5 W/m².

Los contenedores se dispusieron siguiendo un diseño experimental de 3 bloques aleatorizados con dos repeticiones por bloque contemplando dos efectos principales: el biotipo, con dos niveles (resistente y sensible) y la densidad de plantas por contenedor, también con dos niveles (1 y 2 plantas). En cada réplica de cada bloque se dispuso de 12 macetas por biotipo y densidad. Las variables obtenidas en cada planta fueron el día de floración, y, ya en la madurez, la biomasa aérea. De las plantas de un bloque también se obtuvieron del número de inflorescencias y la fracción de biomasa reproductiva.

Los datos se trataron utilizando estadística descriptiva con el procedimiento MEANS del paquete estadístico SAS (SAS, 2013). La biomasa total se analizó mediante un modelo lineal generalizado mixto de la distribución Normal y la función enlace Identidad, mediante el procedimiento GLIMMIX del SAS de acuerdo al diseño contemplado, esto es, considerando efectos fijos el biotipo, la densidad y su interacción, y tomando el bloque como efecto aleatorio. Los datos obtenidos en un solo bloque se analizaron mediante modelos lineales generalizados con el procedimiento GENMOD del SAS considerando el efecto biotipo, el efecto densidad, y su interacción. Para la biomasa reproductiva se trabajó

con la misma distribución, mientras que el número de inflorescencias se analizaron con la distribución de Poisson y la función de enlace logarítmica. Las medias estimadas de los niveles de cada factor se compararon empleando el método de Tukey utilizando los mismos procedimientos GLIMMIX y GENMOD.

3. Resultados y discusión

La floración de las plantas de los dos biotipos comparados siguió una pauta muy similar (figura 1).

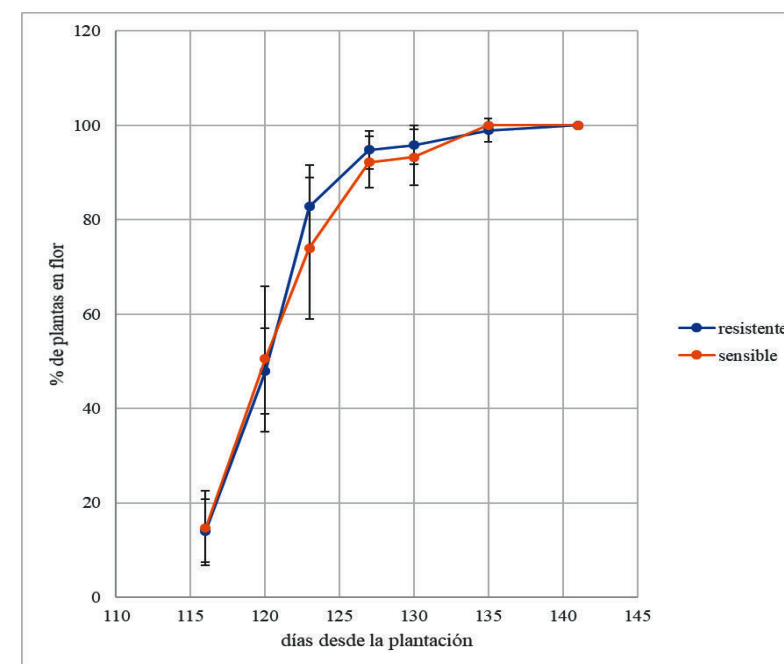


Figura 1. Promedios e intervalos de confianza al 95% del porcentaje de plantas en flor de los dos biotipos estudiados, resistente a los herbicidas inhibidores de la ALS y sensible, en función de los días desde la plantación.

Tanto el factor biotipo, como el factor densidad, como su interacción, fueron significativos ($p < 0,05$) en el análisis estadístico realizado del peso seco de las plantas maduras; el bloque aportó muy poca variabilidad. Los dos factores principales y la interacción también fueron significativos en el análisis de la biomasa reproductiva y en el del número de inflorescencias maduras por individuo. Las medias estimadas de los distintos niveles y su intervalo de confianza se muestran en la tabla 1.

Cuando sólo hubo una planta por contenedor el biotipo resistente presentó un peso seco individual y un peso seco reproductivo medios mayores que el sensible, mientras que los valores medios del número de inflorescencias maduras por individuo fueron similares (tabla 1). Sin embargo, la significación de la interacción indica que las plantas resistentes y sensibles no tienen el mismo comportamiento en las distintas densidades, y ello se refleja al comparar los valores medios en las dos densidades (tabla 1). En promedio, la pérdida de biomasa total por individuo a densidad 2 es de un 36,6 % en el biotipo resistente, mientras que es del 21,4 % en el sensible.

Tabla 1. Medias estimadas y sus intervalos de confianza al 95 % de los caracteres peso seco por individuo (g/ind), peso reproductivo por individuo (g/ind), y número de inflorescencias maduras por individuo (n/ind) en función de si las plantas eran del biotipo resistente a los herbicidas inhibidores de la ALS o sensible y de si estaban a densidad (D) 1 planta por contenedor o 2 plantas por contenedor.

		PESO SECO (G/IND)		PESO REPRODUCTIVO (G/IND)		INFLORESCENCIAS (N/IND)	
		n=432		n=144		n=144	
Biotipo	D	media	intervalo de confianza 95%	media	intervalo de confianza 95%	media	intervalo de confianza 95%
Resistente	1	1,374	(1,097-1,651)	0,707	(0,610-0,804)	20,7	(17,7-24,3)
	2	0,871	(0,611-1,131)	0,435	(0,367-0,504)	13,6	(11,9-15,6)
Sensible	1	1,106	(0,829-1,383)	0,423	(0,326-0,52)	21,3	(18,3-24,8)
	2	0,869	(0,609-1,130)	0,400	(0,332-0,469)	19,1	(17,0-21,3)

Los efectos de la competencia intraespecífica aún son más acusados en la biomasa reproductiva por individuo; en el biotipo resistente la pérdida es del 38,5 % y en el sensible de sólo el 5,4 %. En el número de inflorescencias por individuo, que se puede relacionar con la capacidad de dispersar semillas, la pérdida fue del 34,4 % en el biotipo resistente frente a un 10,6 % en el sensible.

La penalización en la aptitud biológica es debida al impacto adverso sobre la reproducción de las plantas resistentes, lo que llevaría a una reducción en la frecuencia de estas plantas (Cousens & Fournier-Level, 2018). Aunque los dos biotipos comparados son de localidades distintas y es posible que no compartan el mismo fondo genético, y por lo tanto las diferencias no pueden atribuirse sólo a la condición de resistencia o sensibilidad, los resultados indican que en situación de competencia y sin aplicación de herbicida los biotipos tendrían comportamientos distintos. Mientras que la fracción de biomasa reproductiva del biotipo resistente prácticamente no varía con el nivel de competencia, el biotipo sensible muestra la capacidad de aumentar en un 20 % la partición de la biomasa hacia reproducción cuando se pasa de densidad 1 a densidad 2. Así pues, estos resultados indican que el biotipo resistente tendría menor capacidad competitiva que el sensible.

Estos dos mismos biotipos se compararon en otro ambiente particular, en interacción con el hongo patógeno *Ustilago syntherismae*; en ese caso resultó que el biotipo resistente presentaba un porcentaje de plantas enfermas, con inflorescencias transformadas en esporas, del 75,2 %, casi el doble que las del biotipo sensible (Urzúa *et al.*, 2025). Se conocen, pues, dos situaciones particulares en las que el biotipo resistente tiene una penalización significativa e importante en la aptitud biológica con respecto al biotipo sensible.

Desde hace una década se están documentado resistencias a nicosulfurón en numerosas poblaciones de *D. sanguinalis* que conciernen tanto a mecanismos de resistencia en el sitio de acción como de resistencia no debida al sitio de acción (Li *et al.*, 2017; Mei *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2023). Ello es motivo de creciente preocupación, ya que representa una amenaza significativa para la eficacia y la sostenibilidad de las estrategias químicas actuales de control de malezas. Para comprenderla es necesario trabajar tanto en los mecanismos bioquímicos implicados (por ejemplo, Huang *et al.*, 2026) como en las características poblacionales de los distintos biotipos en los ambientes agrícolas, particularmente en la capacidad reproductiva.

4. Conclusiones

La aptitud reproductiva del biotipo resistente a los herbicidas inhibidores de la ALS se ve penalizada respecto a la del biotipo sensible en situación de competencia intraespecífica, tanto en términos de biomasa total, como de biomasa reproductiva, como de número de inflorescencias por planta, como de asignación de recursos a la reproducción. No obstante, estas diferencias no pueden ser atribuidas directamente a la resistencia o sensibilidad al herbicida, puesto que es posible que el fondo genético de las dos poblaciones no sea el mismo.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Estatal de Investigación, PID2022-136920OR-C43/AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE.

Referencias

ARECES-BEZARAIN F (2022) *Digitaria sanguinalis* (large crabgrass). CABI compedium datasheet. Disponible en <https://www.cabi.org/isc/datasheet/18916> [Consultado el 02/05/2026].

COUSENS RD & FOURNIER-LEVEL A (2018) Herbicide resistance costs: What are we measuring and why? *Pest Management Science*, 74, 1539-1546.

DÉLYE C, JASIENTUK M & LE CORRE V (2013) Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends in Genetics*, 29, 649-658.

GAINES TA, DUKE SO, MORRAN S, RIGON CAG, TRANEL PJ, KÜPPER A, *et al.* (2020) Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry*, 295, 10307-10330.

HUANG Y, LI J, LI Z, ZHANG S, GAO X, XIE L, *et al.* (2026) *Digitaria* genome analyses indicate introgression may drive local adaptation and herbicide resistance. *Nature Communications*, 17, 2669.

LI J, LI M, GAO X. & FANG F (2017) A novel amino acid substitution Trp574Arg in acetolactate synthase (ALS) confers broad resistance to ALS-inhibiting herbicides in crabgrass. *Pest Management Science*, 73, 2538-2543.

MEI Y, SI C, LIU M, QIU L & ZHENG M (2017) Investigation of resistance levels and mechanisms to nicosulfuron conferred by non-target-site mechanisms in large crabgrass (*Digitaria sanguinalis* L.) from China. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 141, 84-89.

SAS (2013) Statistical Analysis Systems, Software Version 9.4. Cary, North Carolina, USA: SAS Institute Inc.

URZÚA C, VERDÚ AMC, ARIAS-MARTÍN M, ESCORIAL C, LOUREIRO I & MAS MT (2025) Can herbicide resistance have fitness costs when plants coexist with biotrophic pathogens? The case of large-crabgrass-smut infection. En 20th European Weed Research Society Symposium (1-4 July 2025, Lleida, Spain). 90.

VILA-AIUB MM (2019) Fitness of herbicide-resistant weeds: current knowledge and implications for management. *Plants*, 8, 469.

ZHAO B, XU X, LI B, QI Z, HUANG J, HU A, *et al.* (2023) Target-site mutation and enhanced metabolism endow resistance to nicosulfuron in a *Digitaria sanguinalis* population. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 194, 105488.

P4. Resistencia cruzada por metabolismo a distintos herbicidas inhibidores de ALS en *Amaranthus palmeri* y papel de las enzimas P450 y GSTs

P4. Cross resistance to different ALS-inhibiting herbicides due to metabolism-based mechanisms and role of P450 and GST enzymes

TREBOL-AIZPURUA E¹, ROYUELA M¹, ZABALZA A¹, GIL-MONREAL M¹

¹*Institute for Multidisciplinary Research in Applied Biology (IMAB), Universidad Pública de Navarra, Campus Arrosadia, Pamplona, España*

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29307

Email (por orden de autoría): eneko.trebol@unavarra.es; royuela@unavarra.es; ana.zabalza@unavarra.es; mirian.gil@unavarra.es

La resistencia no relacionada con la diana (NTSR) en *Amaranthus palmeri* constituye un desafío creciente para la gestión de herbicidas. En las resistencias a herbicidas inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS), los mecanismos dependientes de la diana (TSR) suelen originarse por mutaciones puntuales en el gen ALS. Por el contrario, los mecanismos de resistencia no relacionados con la diana (NTSR), asociados a la metabolización del herbicida, implican procesos de detoxificación enzimática —principalmente mediados por citocromos P450 monooxigenasas (P450) y glutatión S transferasas (GSTs)— capaces de transformar o inactivar las moléculas antes de que alcancen su sitio de acción. Estos mecanismos NTSR pueden conferir resistencias de amplio espectro. Los objetivos del estudio fueron caracterizar la resistencia cruzada de una población (KSR) ya caracterizada como resistente a nicosulfuron por metabolización a través de P450 y GSTs frente a otros herbicidas inhibidores de ALS, incluyendo distintas familias químicas, y evaluar la participación de P450 y GSTs en la resistencia. La metodología combinó bioensayos en placas Petri, evaluando el crecimiento radicular tras tratamientos con tifensulfuron-metil e imazamox, con y sin inhibidores de P450 y GSTs, junto con ensayos hidropónicos. Los resultados mostraron que KSR es resistente también a otra sulfonilurea, tifensulfuron-metil. La aplicación de malatión, un inhibidor de P450 redujo de manera consistente la resistencia a tifensulfuron-metil, confirmando una fuerte implicación de este tipo de enzimas. La población KSR mostró una moderada resistencia a la imidazolinona imazamox, evidenciando resistencia cruzada entre familias químicas de inhibidores de ALS y basada en mecanismos NTS.

Palabras clave: Metabolización, imazamox, tifensulfuron-metil, nicosulfuron, P450.

*Non-target-specific resistance (NTSR) in *Amaranthus palmeri* poses a growing challenge for herbicide management. In resistance to acetolactate synthase (ALS)-inhibiting herbicides, target-specific resistance (TSR) mechanisms are usually related to point mutations in the ALS gene. In contrast, non-target-site resistance (NTSR) mechanisms, associated with herbicide metabolism, involve enzymatic detoxification processes—primarily mediated by cytochrome P450 monooxygenases (P450) and glutathione S-transferases (GSTs)—capable of transforming or inactivating the herbicide before they reach their site of action. These NTSR mechanisms can confer broad-spectrum resistance. The objectives of the study were to*

characterise the cross-resistance of a population (KSR) (already characterised as resistant to nicosulfuron via metabolism by P450 and GSTs) against other ALS-inhibiting herbicides, including different chemical families, and to evaluate the involvement of P450 and GSTs in resistance. The methodology combined Petri dish bioassays, evaluating root growth following treatments with thifensulfuron-methyl and imazamox, with and without P450 and GST inhibitors, alongside hydroponic assays. The results showed that KSR is also resistant to thifensulfuron-methyl, another sulfonylurea herbicide. The application of malathion, a P450 inhibitor, consistently reduced resistance to thifensulfuron-methyl. The KSR population showed moderate resistance to the imidazolinone imazamox, indicating cross-resistance between the chemical classes of ALS inhibitors due to NTS-based mechanisms.

Keywords: Metabolism, imazamox, thifensulfuron-methyl, nicosulfuron, P450.

1. Introducción

Los inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS), introducidos a principios de la década de 1980, se han convertido en uno de los grupos de herbicidas post-emergencia más utilizados a nivel mundial. Su mecanismo de acción se basa en la inhibición de la enzima ALS, clave en la biosíntesis de los aminoácidos de cadena ramificada (Zhou *et al.*, 2007). Este grupo incluye ingredientes activos distribuidos en seis familias químicas, destacando las sulfonilureas y las imidazolinonas.

No obstante, el uso intensivo de estos herbicidas ha favorecido la aparición de poblaciones de malas hierbas resistentes. De hecho, los inhibidores de ALS constituyen el grupo herbicida con mayor número de casos de resistencia, con al menos 176 especies afectadas (Heap, 2026). Entre ellas, *Amaranthus palmeri* S. Watson destaca por su elevada capacidad para desarrollar resistencia, atribuida a sus características biológicas y ecológicas. En esta especie se han descrito poblaciones resistentes a múltiples mecanismos de acción, incluidos los inhibidores de ALS, frente a los cuales se han documentado al menos 34 poblaciones resistentes.

La resistencia a herbicidas se divide en dos grandes tipos de mecanismos: resistencia por alteración del sitio de acción (TSR, *target-site resistance*), relacionada directamente con la enzima diana, y resistencia por mecanismos ajenos al sitio de acción (NTSR, *non-target-site resistance*). En el caso de los inhibidores de ALS, el mecanismo de resistencia más frecuente consiste en un mecanismo TSR por mutaciones puntuales en el gen ALS (Murphy & Tranel, 2019), las cuales reducen o impiden la unión del herbicida sin afectar a la funcionalidad de la enzima. Este es también el mecanismo de resistencia predominante descrito en las diferentes poblaciones resistentes de *A. palmeri*.

Por el contrario, los mecanismos NTSR asociados a la resistencia a inhibidores de ALS en *A. palmeri* son considerablemente menos frecuentes. No obstante, en 2017 se describió una población de Kansas resistente al clorsulfuron cuya resistencia se atribuyó a la implicación de enzimas del citocromo P450 monooxigenasas (Nakka *et al.*, 2017). Estudios posteriores demostraron que esta población presentaba resistencia a otras sulfonilureas, con la participación no solo de las P450, sino también de las glutatión S-transferasas (GSTs) (Eceiza *et al.*, 2026).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es profundizar en el perfil de resistencia NTS de dicha población, evaluando su respuesta frente a otras sulfonilureas y frente a otro grupo de inhibidores de ALS, las imidazolinonas.

2. Material y métodos

2.1 Material vegetal

Se compararon dos poblaciones de *A. palmeri*. La población resistente (KSR) es originaria de Kansas, y presenta resistencia NTS a clorsulfuron (Nakka *et al.*, 2017) y nicosulfuron (Eceiza *et al.*, 2026). La población sensible es originaria de North Carolina (NCS) y se usa como sensible de referencia en los estudios del grupo.

2.2 Crecimiento en cultivo hidropónico y macetas

Las plantas fueron crecidas en cámaras de crecimiento bajo condiciones controladas, en cultivo hidropónico puro con aireación forzada como (Fernández-Escalada *et al.*, 2016) o en macetas que contenían mezcla turba:perlita (1:1). En el ensayo con tifensulfuron-metil, 1,5 horas antes de aplicar el herbicida, se aplicó malatión, un inhibidor de los enzimas P450 en una dosis de 2000 g ai ha⁻¹ junto con el adyuvante Biopower (Bayer). Se aplicó la dosis recomendada en campo (1x) (15 g ha⁻¹) del herbicida tifensulfuron-metil (Harmony 50 SX, FMC) de manera individual o con el inhibidor. Todos los tratamientos se aplicaron con un aerógrafo conectado a un compresor. Asimismo, se dejaron plantas sin tratar (control, C) y plantas solo tratadas con el inhibidor. A los siete días de la aplicación del herbicida, se determinó el peso fresco de la parte aérea. Imazamox (Pulsar⁴⁰, BASF) fue aplicado a las plantas en maceta a la dosis recomendada en campo (40 g ha⁻¹) (1x).

2.3 Germinación y crecimiento en placas Petri

Las semillas, previamente esterilizadas y estratificadas durante 24 h a 4 °C, se pusieron a germinar sobre papel de filtro en placas de Petri, con 15 semillas por placa, en presencia de diferentes concentraciones de herbicidas: imazamox (20, 100 y 200 µM) y tifensulfuron-metil (5, 25 y 50 µM). Tras siete días de incubación (16/8 h L/O; 26/18 °C, se determinó el porcentaje de germinación y la longitud del tallo de las plántulas.

2.4 Crecimiento radicular en placas de agar

Se crecieron plántulas de ambas poblaciones en placas verticales de agar (figura 1) para evaluar el efecto del imazamox en el crecimiento radicular (Trébol-Aizpurua *et al.*, 2025). Las placas se escanearon cuando las raíces del control alcanzaron el extremo. El crecimiento radicular se expresó como porcentaje relativo respecto a las plantas no tratadas de cada población.

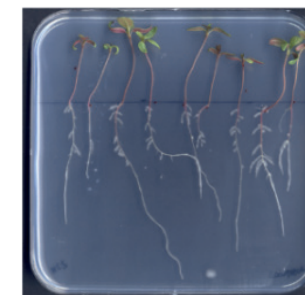


Figura 1. Crecimiento de las plántulas de *Amaranthus palmeri* en las placas de agar.

2.5 Análisis estadístico

Se analizaron las diferencias dentro de la misma población mediante la prueba ANOVA de una vía, seguida de la prueba post hoc HSD Tukey o T3 Dunnet test según había o no homogeneidad de varianzas (p -valor $<0,05$).

3. Resultados y discusión

El efecto del herbicida tifensulfuron-metil se evaluó en condiciones hidropónicas (figura 2).

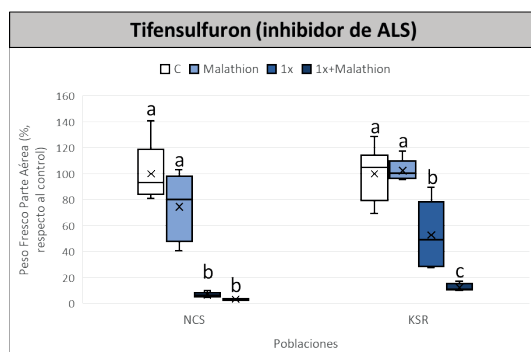


Figura 2. Efecto de la dosis recomendada de tifensulfuron-metil (1x) y/o malatión sobre la biomasa de las poblaciones de *Amaranthus palmeri* sensible (NCS) y resistente (KSR). En cada población, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) ($n=5$).

La dosis recomendada en campo provocó una reducción significativamente mayor del crecimiento en la población sensible que en la población resistente. Con el objetivo de explorar el mecanismo de resistencia implicado, se realizó un pretratamiento con malatión, un inhibidor de las citocromo P450 monooxigenasas. La presencia de malatión incrementó la sensibilidad de la población resistente al herbicida, observándose una mayor reducción del crecimiento en comparación con el tratamiento con herbicida solo. Este resultado sugiere la participación de enzimas P450 en la resistencia observada.

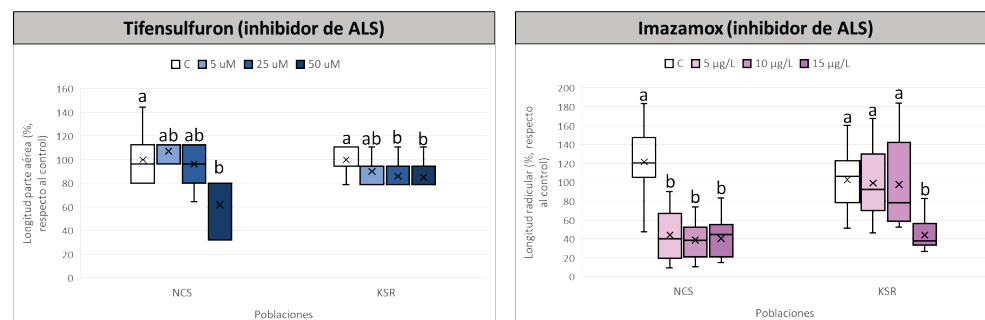


Figura 3. Efecto de diferentes dosis de herbicidas en la longitud de la parte aérea de plántulas crecidas en placas Petri de *Amaranthus palmeri* de las poblaciones sensible (NCS) y resistente (KSR). En cada población, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) ($n=30$).

Posteriormente, se evaluó el efecto del tifensulfuron-metil en plántulas cultivadas en placas de Petri. El herbicida no afectó al porcentaje de germinación en ninguna dosis ensayada (datos no mostrados). No obstante, la población NCS mostró mayor sensibilidad que la KSR en el crecimiento de la parte aérea de las plántulas (figura 3).

Con el fin de evaluar la respuesta a otro inhibidor de ALS, se utilizó imazamox como herbicida de referencia. Los ensayos realizados en placas de Petri mostraron que ninguna de las dosis evaluadas afectó al porcentaje de germinación en ninguna de las poblaciones estudiadas (datos no mostrados). No obstante, se observaron diferencias en el crecimiento de las plántulas, ya que la longitud del tallo se redujo en mayor medida en la población sensible en comparación con la población resistente (figura 3).

Para validar los resultados obtenidos con imazamox, se realizó otro ensayo en el que se evaluó la elongación de la raíz de plántulas crecidas en agar, un parámetro previamente descrito como un método fiable para detectar resistencia a herbicidas en *A. palmeri* (Brabham *et al.*, 2019; Trébol-Aizpurua *et al.*, 2025). Se aplicaron tres dosis de imazamox y se observaron claras diferencias entre poblaciones (figura 4A). La población sensible mostró una fuerte inhibición del crecimiento radicular desde la dosis más baja, con una elongación muy reducida. Por el contrario, la población resistente presentó una respuesta más variable y no mostró una inhibición clara del crecimiento de la raíz hasta la dosis más elevada ensayada.

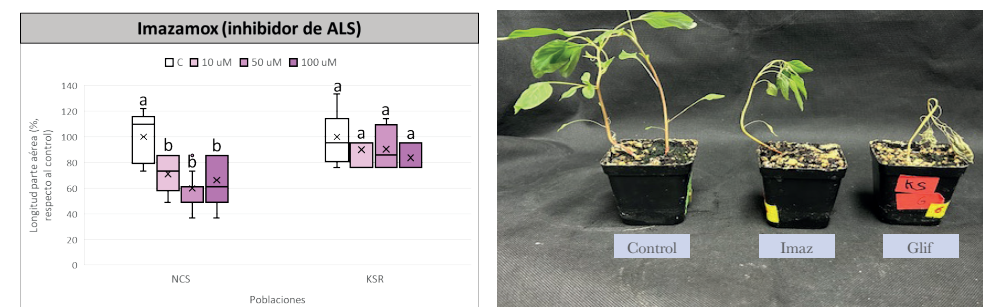


Figura 4. (A) Efecto de diferentes dosis de imazamox en la longitud radicular de plántulas crecidas en placas de agar de *Amaranthus palmeri* de las poblaciones sensibles (NCS) y resistente (KSR). En cada población, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) ($n=15$). (B) Plantas de la población resistente KSR no tratadas o a los siete días del tratamiento con imazamox o glifosato a dosis de campo.

Los ensayos en maceta también mostraron menor sensibilidad por parte de la KSR al imazamox frente a un herbicida de referencia como fue el glifosato (figura 4B). Estos resultados indican una respuesta diferencial al imazamox, compatible con la presencia de resistencia moderada cruzada a inhibidores de ALS.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que la población estudiada presenta resistencia cruzada a otros inhibidores de ALS y sugieren la participación de mecanismos metabólicos mediados por P450. Será necesario confirmar si la resistencia frente a imazamox también está mediada por citocromos P450 y GSTs, así como identificar las enzimas específicas implicadas.

5. Agradecimientos

Financiado por PID2024-155831OB-C21/MCIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER,UE

Referencias

BRABHAM C, NORSWORTHY JK, HOUSTON MM, VARANASI VK & BARBER T (2019) Confirmation of *S*-metolachlor resistance in Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Weed Technology*, 33, 720-726.

ECEIZA MV, GIL-MONREAL M, JIMENEZ-MARTINEZ C, *et al.* (2026) Glutathione metabolism and free amino acid profile in *Amaranthus palmeri* with non-target site-based resistance to sulfonylureas. *Plant Science*, 362, 112781.

FERNÁNDEZ-ESCALADA M, GIL-MONREAL M, ZABALZA A & ROYUELA M (2016) Characterization of the *Amaranthus palmeri* physiological response to glyphosate in susceptible and resistant populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 95-106.

HEAP I (2026) The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Disponible en: <https://www.weedscience.org/Home.aspx> (consultado el 31 de marzo de 2025).

MURPHY BP & TRANEL PJ (2019) Target-site mutations conferring herbicide resistance. *Plants*, 8, 382.

NAKKA S, THOMPSON CR, PETERSON DE & JUGULAM M (2017) Target site-based and non-target site based resistance to ALS inhibitors in palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Weed Science*, 65, 681-689.

TRÉBOL-AIZPURUA E, ECEIZA MV, JIMENEZ-MARTINEZ C, *et al.* (2025) Resistance to amino acid biosynthesis inhibiting-herbicides in *Amaranthus palmeri* populations from Aragon (Spain). *Plants*, 14, 1505.

ZHOU Q, LIU W, ZHANG Y & LIU KK (2007) Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 89, 89-96.



SESIÓN 5

Biología y manejo de especies invasoras

O1. Evaluación de la eficacia sobre *Amaranthus palmeri* y la selectividad en maíz del herbicida Diflufenican y sus mezclas

O1. Efficacy on *Amaranthus palmeri* and selectivity in maize of diflufenican and its herbicide mixtures

MONTULL JM¹, LLOP JM¹, LLENES JM²

¹Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, Centro Agrotecnio-CERCA Universidad de Lleida, Lleida, España; ²Unidad de Malherbiología, Servicio de Sanidad Vegetal, DARP, Generalitat de Catalunya, Lleida, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29308

Email (por orden de autoría): josemaria.montull@udl.cat; Josepmaria.llop@gencat.cat; jo-sepma.llenes@gencat.cat

Amaranthus palmeri es una mala hierba invasora que afecta a cultivos de verano como el maíz. Esta especie ha desarrollado resistencia a la mayor parte de familias químicas actualmente autorizadas. Asimismo, es importante poder ofrecer alternativas de tratamiento a técnicos y agricultores. Es por esto que en el momento que se vio que un formulado del herbicida diflufenican estaba autorizado en el cultivo del maíz se planteó la posibilidad de recomendarlo para el control de esta mala hierba. Al tratarse de un herbicida residual utilizado en preemergencia del cultivo se desconocía la eficacia y la selectividad si se utilizaba en combinación con otros herbicidas persistentes eficaces para el control de esta mala hierba. Así, el objetivo del trabajo es evaluar la eficacia y selectividad de varias mezclas de diflufenican y otros herbicidas frente a *A. palmeri*. Se plantea un ensayo en macetas, en invernadero, y se evalúa diflufenican solo y en mezcla a dosis máxima autorizada como referencia (1X), a un medio de la dosis (0,5X) y al doble de la dosis (2X) simulando un solape. Los resultados obtenidos muestran que la eficacia ha sido cercana al 100% ya con diflufenican aplicado solo a 0,5X y la selectividad buena cuando se aplican los tres herbicidas en mezcla a dosis 1X. Sin embargo, la mezcla de los 3 herbicidas a la dosis 2X ha mostrado síntomas de fitotoxicidad, aunque tolerables. Así, el uso del herbicida diflufenican en maíz se considera suficientemente seguro y ofrece una alternativa de tratamiento muy eficaz para el control de *A. palmeri* sensible o incluso resistente a otros mecanismos de acción.

Palabras clave: Diflufenican, *A. palmeri*, selectividad, eficacia.

Amaranthus palmeri is an invasive weed that affects summer crops such as corn. This species has developed resistance to most chemical families currently authorized for this crop; therefore, it is essential to identify all possible alternatives to improve management and reduce the risk of further resistance development. Furthermore, it is important to offer treatment alternatives to technicians and farmers. Based on trials conducted by the Plant Health Service of the Generalitat de Catalunya, the efficacy of diflufenican against *A. palmeri* was already known. Consequently, once a specific formulation of the herbicide diflufenican was authorized for corn, the possibility of recommending it for the control of this weed was raised. As it is a residual herbicide used in pre-emergence, its efficacy and selectivity when used in combination with other persistent herbicides effective against this weed were unknown. Thus, the objective of this work is to evaluate the efficacy and selectivity of various mixtures of diflufenican and other herbicides against *A. palmeri*. A greenhouse pot trial was conducted to evaluate diflufenican both alone and in mixture with isoxaflutole and dimethenamid-P. Application rates included the

maximum registered dose (1X), half the dose (0.5X), and double the dose (2X) to simulate spray overlap. The results indicate that efficacy reached nearly 100% even with diflufenican applied alone at 0.5X, while crop selectivity was high when the three-way mixture was applied at the 1X dose. However, the three-herbicide mixture at the 2X dose exhibited symptoms of phytotoxicity, though these remained within tolerable levels. In conclusion, the use of diflufenican in maize is considered sufficiently safe and offers a highly effective treatment alternative for controlling *A. palmeri*, whether sensitive or resistant to other modes of action.

Keywords: *Diflufenican*, *A. palmeri*, *selectivity*, *efficacy*.

1. Introducción

Las especies invasoras constituyen uno de los desafíos más críticos para la agricultura moderna y la preservación de la biodiversidad. En las últimas décadas, *Amaranthus palmeri* S. Watson se ha consolidado como una de las malas hierbas más problemáticas a nivel global, afectando severamente a cultivos extensivos de verano como el maíz, algodón y la soja. En la península ibérica, su presencia fue detectada inicialmente en 2007 en la provincia de Lleida, extendiéndose rápidamente hacia zonas limítrofes de la provincia de Huesca (Recasens, 2020). Estas dos provincias, caracterizadas por una alta productividad de maíz en regadío, incluso en rotaciones de doble cultivo cebada-maíz en un año agrícola, son actualmente el epicentro de su expansión en España, aunque también se ha detectado en Extremadura y Navarra.

La agresividad de esta especie radica en su eficiencia en la fijación de carbono bajo condiciones de altas temperaturas, intensa radiación solar y estrés hídrico. Esta ventaja metabólica permite a *A. palmeri* incluso superar en tasa de crecimiento al propio maíz, alcanzando incrementos diarios de hasta 5 - 7 cm y producciones masivas de biomasa. Además, su naturaleza dioica fomenta una elevada variabilidad genética mediante la fecundación cruzada, lo que acelera la adaptación a métodos de control y la evolución de resistencias. Una sola hembra puede producir hasta 600.000 semillas, asegurando la persistencia del banco de semillas en el suelo.

A nivel mundial, se han documentado poblaciones de *A. palmeri* resistentes a siete mecanismos de acción distintos (Heap, 2025), incluyendo inhibidores de la ALS (Grupo 2), EPSPS (glifosato, Grupo 9) y HPPD (Grupo 27). En el noreste de España, se han confirmado mutaciones puntuales (como Pro197Thr y Ser653Ile) que afectan a herbicidas del grupo de los inhibidores de la ALS (Torra *et al.*, 2020). Ante esta amenaza, la Generalitat de Catalunya declaró la lucha contra esta especie de “utilidad pública”, estableciendo protocolos obligatorios de vigilancia y contención, para lo cual desarrolla ensayos de manejo año a año con el objetivo de ensayar nuevas alternativas de control (Generalitat de Catalunya, 2019).

El diflufenican, perteneciente al grupo 12 de la clasificación propuesta por el HRAC, inhibe la enzima fitoeno deshidrogenasa (PDS), bloqueando la biosíntesis de carotenoides. Esta acción provoca la fotoxidación y el posterior blanqueamiento de los tejidos jóvenes. Dado que el DFF ofrece un mecanismo de acción diferente al de los productos habitualmente utilizados en el cultivo de maíz, su incorporación se plantea como una estrategia clave para mitigar la presión de selección y gestionar poblaciones resistentes a otros herbicidas.

El objetivo principal de este trabajo es determinar la eficacia del diflufenican, aplicado solo o en mezcla, para el control de *A. palmeri*, así como evaluar su selectividad en el cultivo de maíz bajo condiciones controladas.

2. Material y métodos

El ensayo se llevó a cabo en los invernaderos de malherbología ubicados en el campus de la ETSEAFIV (Universidad de Lleida) durante el mes de febrero de 2025, para poder disponer de resultados antes de las siembras de maíz en campo, que se inician durante el mes de abril. Se emplearon macetas de (7 × 7 × 8) cm y se plantearon 4 repeticiones por tratamiento. Estas macetas se rellenaron de un sustrato estandarizado de suelo agrícola esterilizado y turba (4:1 V:V) porque se ha comprobado que tiene un comportamiento similar a los suelos de la zona.

En cada maceta se sembraron dos semillas de maíz DKC6728 junto con 10 semillas de *A. palmeri* procedentes de una población local con sospechas de resistencia a inhibidores de la ALS.

Se evaluaron diversas formulaciones comerciales aplicadas con un pulverizador de precisión, aplicando 200 l/ha de caldo con boquillas de abanico plano ISO110-02 a 2 bar de presión y 4 km/hora de velocidad. En pre emergencia se aplicó diflufenican (Ossetia® WG 50%) solo y en mezclas con isoxaflutol (Spade flexx) y dimetenamida-P (Spectrum). Posteriormente, en postemergencia se aplicó Diflufenican solo y en mezcla con dicamba (Banvel) (tabla 1). Asimismo, se aplicaron tres niveles de dosis: 0,5X (mitad de la dosis estándar), 1X (dosis estándar) y 2X (doble de la dosis estándar, simulando solapes de maquinaria), tanto en pre como en post-emergencia.

La eficacia se cuantificó mediante el método de Abbott (Abbott, 1925), comparando la biomasa aérea de las plantas de *A. palmeri* en los tratamientos frente al testigo sin tratar 28 días tras el tratamiento. La selectividad en maíz se evaluó visualmente mediante la escala EPPO. Se determinaron diferencias estadísticas utilizando ANOVA y Test de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Tabla 1. Herbicidas aplicados, dosis estándar y momento de aplicación

CODIGO	TRATAMIENTO	DOSIS 1X (G/HA)	MOMENTO DE APLICACIÓN
D	DFF (Diflufenican)	250	Preemergencia
I	DFF + IFT (Isoxaflutol)	250 + 375	Preemergencia
S	DFF + IFT + DMTA (Dimetenamida)	250 + 375 + 1,4	Preemergencia
dp	DFF	250	Postemergencia
bp	DFF + Dicamba	250 + 0,6 l/ha	Postemergencia
T	Testigo sin tratar	-	

3. Resultados y discusión

Los resultados mostraron que el diflufenican posee una gran eficacia contra *A. palmeri*. En preemergencia, la dosis de 125 g/ha (0,5X) y la de 250 g/ha (1X) alcanzaron un control del 99,88 % y 100 %, respectivamente. Las mezclas con isoxaflutol y dimetenamida-P también mantuvieron niveles del 100%, lo que sugiere que no hay interacciones negativas entre estos herbicidas. Además, la mezcla entre los tres herbicidas disminuye el riesgo de desarrollo de resistencias ya que pertenecen a tres grupos de acción diferentes.

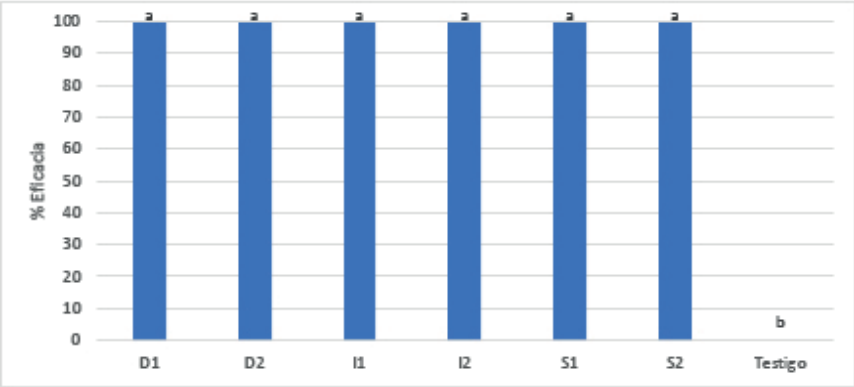


Figura 1. Porcentaje de eficacia sobre *A. palmeri* de los tratamientos de pre-emergencia.

En postemergencia temprana, el diflufenican solo (DP1) tuvo una eficacia del 97,5 %, lo que puede verse en la figura 2. Sin embargo, se observó que dosis superiores de diflufenican o mezclas con dicamba no incrementaron la eficacia de forma significativa. Se observó que las plántulas con más de dos hojas se llegaban a blanquear ligeramente por efecto del herbicida, pero sin ser controladas.

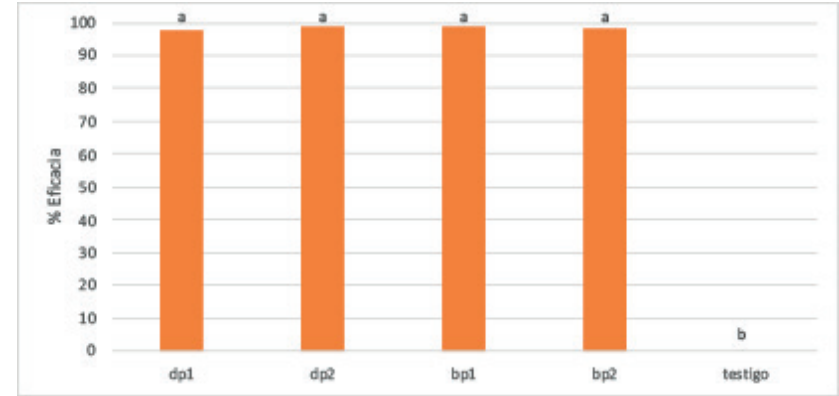


Figura 2. Porcentaje de eficacia sobre *A. palmeri* de los tratamientos de post-emergencia

En cuanto a la fitotoxicidad, el maíz mostró una buena tolerancia general a los tratamientos. En preemergencia, no se apreciaron daños visuales de importancia agronómica en los tratamientos con diflufenican solo o en mezcla con isoxaflutol. Se observaron coloraciones rosáceas y blanquecinas transitorias en algunos individuos, típicas del modo de acción de los inhibidores de carotenoides, que no afectaron el desarrollo final de la planta. Sin embargo, en la mezcla de los tres herbicidas aplicados a 2X, se vieron blanqueamientos que alcanzaron hasta la tercera hoja del maíz en algún caso, con retrasos de crecimiento. Como puede verse en la figura 3.

En postemergencia, la mezcla de diflufenican con dicamba a dosis altas (BP3, 2X) provocó síntomas leves de fitotoxicidad, caracterizados por el plegamiento de hojas y una ligera reducción de biomasa, aunque estos síntomas fueron considerados tolerables dentro de los estándares agronómicos.



Figura 3. Decoloraciones producidas por la mezcla de diflufenican + isoxaflutol + dimetenamida-p aplicados al doble de la dosis máxima autorizada (2x)

3. Conclusiones

Tras el análisis de los datos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El diflufenican es altamente eficaz para el control de *A. palmeri*, logrando niveles de control cercanos al 100 % con dosis de preemergencia y postemergencia temprana.
- El tratamiento en mezcla presenta una selectividad adecuada para el cultivo de maíz en las dosis autorizadas, con efectos secundarios pasajeros en dosis de solape (2X).
- La incorporación del diflufenican en los programas de manejo integrado será fundamental para diversificar los mecanismos de acción y retrasar la aparición de nuevas resistencias en las zonas infestadas de Lleida y Aragón

Referencias

ABBOT WS (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18, 265-267.

GENERALITAT DE CATALUNYA (2019) Ordre ARP/172/2019 sobre medidas obligatorias para el control de *Amaranthus palmeri*.

HEAP I (2025) The International Herbicide-Resistant Weed Database. Disponible en: <https://www.weedscience.org/Home.aspx>

RECASENS J. (2020) *Amaranthus palmeri*: una seria amenaza de nuestros campos de maíz. *Phytoma España*, 321, 45-51.

TORRA J, ROYO-ESNAL A, ROMANO Y, OSUNA MD, LEON R & RECASENS J (2020) *Amaranthus palmeri* a new invasive weed in spain with herbicide resistant biotypes. *Agronomy*, 10, 993.

O2. La amenaza silenciosa avanza: perfil de resistencia del *Amaranthus palmeri* recién detectado en Navarra

O2. *The silent threat advances: resistance profile of the Amaranthus palmeri populations recently detected in Navarre (Spain)*

ALFONSO-CAMPILLO A¹, GIL-MONREAL M¹, TREBOL-AIZPURUA E¹, MARÍ AI², GARNICA I³, ROYUELA M¹, ZABALZA A¹

¹Instituto de Investigación Multidisciplinar en Biología Aplicada (IMAB), Universidad Pública de Navarra, Campus de Arrosadía, Pamplona, España; ²Dpto. SAFMA, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, España; ³Experimentación y fincas, INTIA, Tudela, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29309

Email (por orden de autoría): ana.alfonso@unavarra.es; mirian.gil@unavarra.es; eneko.trebol@unavarra.es; aimari@cita-aragon.es; igarnica@intiasa.es; royuela@unavarra.es; ana.zabalza@unavarra.es

Amaranthus palmeri es una de las malas hierbas invasoras más problemáticas para la agricultura española, especialmente en cultivos estivales como el maíz, debido a su rápido crecimiento, alta producción de semillas y fuerte competencia por recursos. Detectada por primera vez en España en 2007 fuera de campos de cultivo (Huesca y Lleida), se ha expandido con rapidez desde 2018 por las principales zonas maiceras y otras regiones, incluyendo Extremadura. En otoño de 2025 se confirmó su presencia por primera vez en el sur de Navarra. La preocupación aumenta porque esta especie suele introducirse con resistencias a herbicidas, sobre todo a los inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS) y, en algunos casos, al glifosato o con resistencias múltiples, como ya se ha observado en Cataluña y Aragón. En este contexto, se recolectaron semillas de cuatro parcelas navarras infestadas para evaluar su crecimiento y su respuesta a glifosato y a los inhibidores de ALS: la imadazolinona imazamox y la sulfonilurea tifensulfurón-metil. Los ensayos mostraron que todas las poblaciones fueron sensibles al glifosato, ya que todas las plantas tratadas murieron y se acumuló siquimato en pruebas de discos foliares, descartándose resistencia a este herbicida. Sin embargo, tres de las cuatro poblaciones evaluadas mostraron resistencia a inhibidores de ALS, con patrones diferentes: dos resistentes a ambos herbicidas y una resistente solo a tifensulfurón-metil. Aún queda por determinar el mecanismo de resistencia, pero los resultados confirman que *A. palmeri* llega a Navarra con resistencias establecidas, lo que exige especial cautela en su manejo.

Palabras clave: Glifosato, tifensulfurón-metil, imazamox, resistencia, invasora.

Amaranthus palmeri is one of the most problematic invasive weeds for Spanish agriculture, particularly in summer crops such as maize, due to its rapid growth, high seed production and its high competitiveness for resources. First detected in Spain in 2007 (Huesca and Lleida), it has spread rapidly since 2018 across the main maize-growing areas and other regions, including Extremadura. In autumn 2025, its presence was confirmed for the first time in the south of Navarre. The problem is exacerbated because this species is often introduced with herbicide resistance, particularly to acetolactate synthase (ALS)

inhibitors and, in some cases, to glyphosate, or with multiple resistances, as has already been observed in Catalonia and Aragon. In this context, seeds were collected from four infested plots in Navarre to assess their response to glyphosate and to the ALS inhibitors: the imidazolinone imazamox and the sulfonylurea thifensulfuron-methyl. The trials showed that all populations were sensitive to glyphosate, as all treated plants died and shikimate was accumulated in glyphosate-incubated leaf discs, discarding resistance to this herbicide. However, three of the four populations that were evaluated showed resistance to ALS inhibitors, with different patterns: two were resistant to both herbicides and one was resistant only to thifensulfuron-methyl. The mechanism resistance has yet to be determined, but the results confirm that *A. palmeri* has arrived in Navarre with established resistance, which requires particular caution in its management.

Keywords: Glyphosate, thifensulfuron-methyl, imazamox, resistance, invasive.

1. Introducción

Amaranthus palmeri es una especie anual C4 de gran desarrollo vegetativo y elevada capacidad competitiva, caracterizada por rasgos biológicos que la convierten en una de las malas hierbas más problemáticas a escala mundial. En España, en apenas quince años, la especie se ha extendido rápidamente en cultivos de verano del valle del Ebro (Aragón y Cataluña), ha sido detectada en distintas localidades de Extremadura, de forma esporádica en la Comunidad Valenciana y, más recientemente, en Navarra y Toledo (Castilla-La Mancha) (Red de Investigación PalmerNet, 2026). Su peligrosidad se ve incrementada por su elevada capacidad para desarrollar resistencias a herbicidas, especialmente a inhibidores de la ALS y a glifosato. De hecho, a nivel mundial se han descrito 70 poblaciones con resistencias a inhibidores de la ALS y/o glifosato (Heap, 2026). En España ya se han confirmado biotipos resistentes a inhibidores de la ALS en el valle del Ebro y Extremadura, así como resistencia a glifosato en el valle del Ebro (Torra *et al.*, 2020; Trebol-Aizpurua *et al.*, 2025).

El objetivo de este trabajo es evaluar si las poblaciones detectadas en Navarra presentan resistencia a los herbicidas inhibidores de ALS y/o glifosato evaluando su sensibilidad a los mismos.

2. Material y métodos

2.1 Material vegetal

Se recolectaron semillas de varias plantas hembra, las cuales se agruparon por parcela, en cuatro parcelas independientes del sur de Navarra. Cada conjunto de hembras de una misma parcela se mezcló, dando lugar a cuatro lotes denominados Mix 1, Mix 2, Mix 3 y Mix 4. Posteriormente, las semillas fueron limpiadas y conservadas a 4 °C para asegurar su correcta preservación.

2.2 Crecimiento en cultivo hidropónico y ensayo a dosis única

Las plantas fueron crecidas en cámaras de crecimiento bajo condiciones controladas en cultivo hidropónico puro con aireación forzada y fueron tratadas a los 20 - 22 días de edad en el mismo estado fenológico (Fernández-Escalada *et al.*, 2016). Las poblaciones Mix 1, Mix 3 y Mix 4 fueron tratadas con las dosis recomendadas de los siguientes herbicidas: 0.84 kg/ha glifosato (Keyfotin, Industrial química Key, riqueza 36%), 40 g/ha imazamox (Pulsar, BASF, riqueza 4%) y 15 g/ha tifensulfurón -metil (Harmony Plus, FMC, riqueza 50%); mientras que la población Mix 2 sólo se trató con glifosato por la baja tasa de germinación. Los herbicidas se aplicaron con un aerógrafo conectado a un compresor (Fernández-Escalada *et al.*, 2016). Dos semanas después, se cosechó la parte aérea y se determinó la biomasa.

2.3 Contenido de siquimato en discos de hojas

Como indicador de sensibilidad al glifosato, se midió el contenido de siquimato en discos foliares incubados con distintas concentraciones del herbicida y se comparó con las poblaciones de referencia sensibles (NCS) y resistente (NCR) (Fernández-Escalada *et al.*, 2016).

2.4 Análisis estadístico

Los ensayos con glifosato e inhibidores de ALS se realizaron de forma independiente. Para todas las poblaciones, las diferencias entre las plantas control y las tratadas con glifosato se analizaron mediante la prueba *t* de Student ($p < 0,05$), mientras que las diferencias entre el control y los tratamientos con inhibidores de ALS se evaluaron mediante ANOVA de una vía seguido de la prueba HSD de Tukey ($p < 0,05$).

3. Resultados y discusión

Resistencia a glifosato

La aplicación de glifosato provocó una reducción de crecimiento de las plantas tratadas respecto a las plantas sin tratar (figura 1), seguido de la muerte de todas las plantas de las cuatro poblaciones a los 5 días (datos no mostrados).

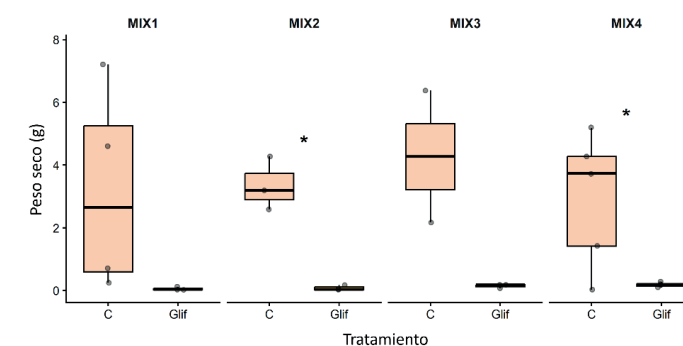


Figura 1. Peso seco (g) de las poblaciones Mix 1, Mix 2, Mix 3 y Mix 4 de *A. palmeri* (n = 4). Tratamientos: sin tratar (control, C), dosis recomendada de glifosato (Glif). * indica diferencias significativas entre tratamientos para cada población (t de Student, $p < 0,05$).

Dicha sensibilidad se ratificó tras la medición del contenido de siquimato en discos de hojas (figura 2). Las curvas de acumulación de siquimato en las hojas para las cuatro poblaciones de estudio se compararon con una población sensible y una resistente de referencia (NCS y NCR) (Fernández-Escalada *et al.*, 2016), y se observó que la tendencia de dichas curvas para las cuatro poblaciones resultó en un aumento de la concentración de siquimato proporcional a la dosis del glifosato, lo cual sigue el mismo patrón que la población sensible de referencia, e indica que en las poblaciones Mix 1, 2, 3 y 4 la actividad de la EPSPS sintasa (diana del herbicida) se ve inhibida tras la aplicación del herbicida (figura 2).

Resistencia a inhibidores de ALS

La aplicación de inhibidores de ALS generó un patrón diferente en las tres poblaciones de estudio (figura 3).

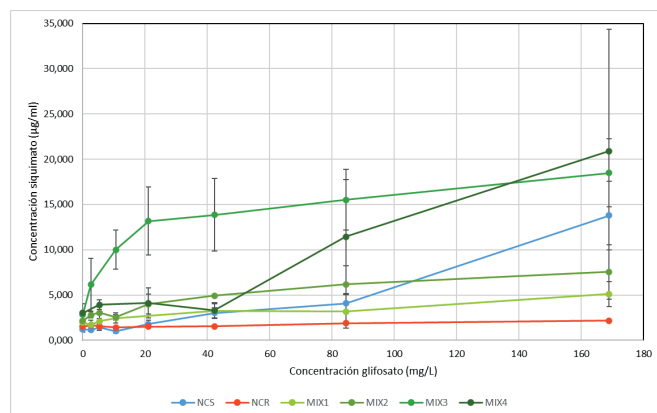


Figura 2. Contenido de siquimato ($\mu\text{g/ml}$) en discos de hoja de *A. palmeri* de plantas de las poblaciones Mix 1, Mix 2, Mix 3, Mix 4, NCS y NCR ($n=4$), incubados en concentraciones crecientes de glifosato (mg/L).

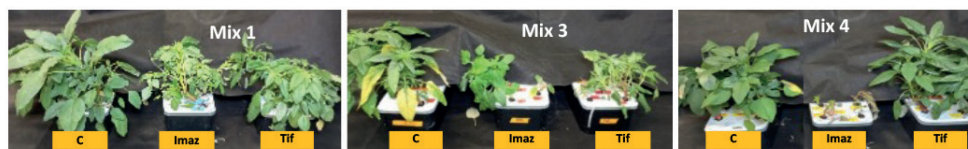
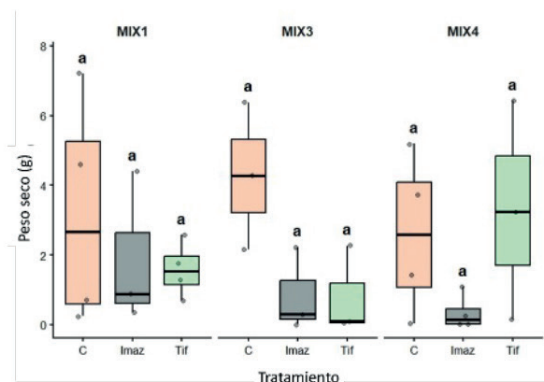


Figura 3. Aspecto a los 15 días de tratamiento y peso seco (g) de las poblaciones Mix 1, Mix 3 y Mix 4 de *A. palmeri* ($n = 4$). Tratamientos: sin tratar (control, C), dosis recomendada de imazamox (Imaz), dosis recomendada de tifensulfurón-metil (Tif). Letras indican diferencias significativas entre tratamientos para cada población (ANOVA, HSD Tukey, $p < 0,05$).

A pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (ANOVA, $p\text{-value} > 0,05$) debido a la alta variabilidad de los datos propia de *A. palmeri*, se pudo observar un patrón de resistencia diferente entre las poblaciones. Las plantas de la población Mix 1 tratadas con imazamox y tifensulfurón-metil, a pesar de que presentaron un menor crecimiento respecto a las plantas control, sobrevivieron tras la aplicación de ambos herbicidas, lo que sugiere que presentan resistencia a los mismos. Sin embargo, dentro de la población Mix 3, el crecimiento de las plantas tratadas se vio mucho

más afectado con respecto al de las plantas control, siendo que algunas de las plantas tratadas para ambos herbicidas sobrevivieron y otras no. Este resultado indica que dentro de la población existen individuos con resistencia media a estos dos herbicidas inhibidores de ALS e individuos sensibles. Para la población Mix 4, el crecimiento de las plantas tratadas con imazamox fue mucho menor que para las plantas control, con mortalidad posterior en la mayoría de plantas; mientras que las plantas tratadas con tifensulfurón-metil alcanzaron un tamaño similar a las plantas sin tratar. Los resultados observados sugieren que las poblaciones Mix 1 y Mix 3 presentan resistencia a imazamox y tifensulfurón-metil y la población Mix 4 presenta resistencia a tifensulfurón-metil.

Se han descrito poblaciones resistentes a herbicidas inhibidores de ALS en Cataluña, Aragón y Extremadura, todas ellas relacionadas con mutaciones en el gen ALS (Torra *et al.*, 2020; Trebol-Aizpurua *et al.*, 2025). Así, queda por constatar mediante ensayos moleculares el tipo de resistencia (vinculada o no al lugar de acción del herbicida) que presentan estas poblaciones navarras.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos a raíz de este ensayo en las poblaciones de *A. palmeri* encontradas en Navarra indican su sensibilidad a glifosato y resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS, si bien la resistencia depende de la familia química. Los resultados obtenidos en este trabajo deben ser una señal de alarma, ya que comprometen el control de esta especie con los medios actuales, además de demostrar la creciente expansión de esta especie tan problemática.

5. Agradecimientos

Financiado por PID2024-155831OB-C21/MCIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER,UE

Referencias

- FERNÁNDEZ-ESCALADA M, GIL-MONREAL M, ZABALZA A & ROYUELA M (2016) Characterization of the *Amaranthus palmeri* physiological response to glyphosate in susceptible and resistant populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 95-106.
- HEAP I (2026) The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Disponible en: <https://www.weedscience.org/Home.aspx> [Consultado en mayo 2026].
- RED DE INVESTIGACIÓN PALMERNET (2026) RedPalmer. *Red Palmer*. Disponible en: <https://redpalmer.net/> [Consultado el 8 mayo 2026].
- TORRA J, ROYO-ESNAL A, ROMANO Y, OSUNA MD, LEÓN RG & RECASENS J (2020) *Amaranthus palmeri* a new invasive weed in Spain with herbicide resistant biotypes. *Agronomy*, 10, 1-13.
- TREBOL-AIZPURUA E, ECEIZA MV, JIMENEZ-MARTINEZ C, *et al.* (2025) Resistance to amino acid biosynthesis inhibiting-herbicides in *Amaranthus palmeri* populations from Aragón (Spain). *Plants*, 14, 1505.

O3. Seguimiento y gestión de plantas invasoras en un olivar silvestre de alto valor en Lisboa (Portugal)

O3. Monitoring and managing invasive plants in a high-value wild olive grove, Lisbon, Portugal

AGUIAR FC¹, FORTE P², FERREIRA V², CABRAL AIR¹

¹Forest Research Centre, School of Agriculture, Associate Laboratory TERRA, University of Lisbon, Lisbon, Portugal; ² School of Agriculture, University of Lisbon, Lisbon, Portugal

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29310

Email (por orden de autoría): fraguiar@isa.ulisboa.pt; pforte@isa.ulisboa.pt; vferreira@isa.ulisboa.pt; anaicabral@isa.ulisboa.pt

La Reserva Botánica Natural Dom António Xavier Pereira Coutinho, ubicada en Tapada da Ajuda, Lisboa, Portugal, ha sido fuertemente afectada por especies exóticas invasoras (EEI), particularmente *Opuntia stricta*, *Opuntia ficus-indica* y *Chasmanthe aethiopica*. Establecida en 1923, la reserva de c. 5 ha es un remanente del acebuchal típico de la región de Lisboa. A pesar de su pequeño tamaño, alberga flora y fauna endémicas, así como otros taxones de alto valor para la conservación, lo que la convierte en un hábitat importante para la investigación ecológica, la conservación y la educación ambiental. Durante las últimas dos décadas, los repetidos esfuerzos de control mecánico y químico no lograron contener a largo plazo las poblaciones de EEI. En 2024, la Reserva recibió apoyo del Fondo Ambiental para la Acción Climática, lo que permitió la remoción de poblaciones de especies invasoras y el desarrollo de un marco de monitoreo y gestión a largo plazo para las comunidades vegetales nativas y exóticas. Los trabajos de campo realizados en 2024, 2025 y 2026 utilizaron una cuadrícula sistemática de puntos con un espaciamiento de 30 m para evaluar la vegetación antes y después de las acciones de control. Estos estudios se complementaron con análisis derivados de UAV (vehículos aéreos no tripulados) para evaluar el estado de la vegetación y seguir la eficacia de la remoción de EEI. En total, se retiraron 480 m³ de biomasa de *Opuntia* spp. y *C. aethiopica*, promoviendo la restauración pasiva y los primeros signos de recuperación del hábitat. Sin embargo, la riqueza y diversidad florísticas siguen siendo inferiores a los niveles registrados en los estudios de la década de 1940. El rebrote renovado de EEI detectado a finales de 2025 motivó acciones adicionales de control basadas en voluntariado, destacando la importancia del monitoreo continuo, la gestión adaptativa y la integración de estudios de campo con técnicas de teledetección.

Palabras clave: Invasión, control, reserva natural, dinámica de la vegetación, teledetección.

The Natural Botanical Reserve Dom António Xavier Pereira Coutinho, located in Tapada da Ajuda, Lisbon, Portugal, has been strongly affected by invasive alien plant species (IAS), particularly Opuntia stricta, Opuntia ficus-indica, and Chasmanthe aethiopica. Established in 1923, the c. 5-ha reserve is a remnant of the wild olive woodland (zambujal in the Portuguese language) typical of the Lisbon region. Despite its small size, it hosts endemic flora and fauna, as well as other taxa of high conservation value, making it an important site for ecological research, conservation, and environmental education. Over the past two decades, repeated mechanical and chemical control efforts failed to achieve long-term contain-

ment of IAS populations. In 2024, the Reserve received support from the Environmental Fund for Climate Action, enabling invasive species removal and the development of a long-term monitoring and management framework for native and alien plant communities. Field surveys conducted in 2024, 2025 and 2026 used a systematic grid of points with a 30-m spacing to assess vegetation before and after control actions. UAV-derived analyses complemented these surveys to evaluate vegetation conditions and track the effectiveness of IAS removal. A total of 480 m³ of biomass from *Opuntia* spp. and *C. aethiopica* was removed, promoting passive restoration and early signs of habitat recovery. However, floristic richness and diversity remain below levels recorded in surveys from the 1940s. Renewed IAS regrowth detected in late 2025 prompted additional volunteer-based control actions, highlighting the importance of continuous monitoring, adaptive management, and integrating field surveys with remote sensing techniques.

Keywords: Invasion, control, natural reserve, vegetation dynamics, remote sensing

1. Introduction

The Natural Botanical Reserve Dom António Xavier Pereira Coutinho (BR) dates from 1923 and consists of an important natural remnant of wild olive woodland (*Olea europaea* var. *sylvestris*). It is located at Tapada da Ajuda, as part of the Botanical Park of Tapada da Ajuda, at the Instituto Superior de Agronomia, Lisbon (Vasconcelos & Forte, 2022).

The wild olive dominates the tree layer, accompanied by mock privet (*Phillyrea latifolia*), Mediterranean buckthorn (*Rhamnus alaternus*), mastic tree (*Pistacia lentiscus*), black-fruited buckthorn (*Rhamnus oleoides*), butcher's-broom (*Ruscus aculeatus*), and many other thermomediterranean species. This sclerophyllous community is classified within the Natura 2000 Network as a Habitat of Community Interest (9320; *Olea* and *Ceratonia* forests) (Costa *et al.*, 1994). However, the BR has been threatened for several decades by growing populations of invasive alien species, requiring systematic and persistent monitoring and control. In particular, *Asparagus asparagoides*, *Opuntia ficus-indica*, *Bidens pilosa*, *Chasmanthe aethiopica*, *Oxalis pes-caprae*, *Pittosporum undulatum*, and *Salpichroa origanifolia* are some of the IAS that are included in the National List of Invasive Species in mainland Portugal and Madeira (Dec-Law 92/2019 July 10). Nevertheless, one of the most significant threats to biodiversity within the BR is *Opuntia stricta* (common prickly pear). Although these IAS species have been subjected to control measures over recent decades, including mechanical removal and chemical treatments in the case of *Opuntia* spp. (Monteiro *et al.*, 2005), they have continued to proliferate throughout the area. In September-October 2024, the Project "Eradication and Control of Invasive Species of the Natural Botanical Reserve" (National projects-Environment and Climate Action) allowed for the manual and mechanical removal of the main IAS and dead branches, fallen trees of native species, and the cleaning of an area of 4 m around the BR, mostly for fire protection and invasive species control. This study primarily aims to: i) evaluate the richness and cover of IAS and the current native plant biodiversity of the BR, ii) assess the success of the IAS control measures, and iii) assess the restoration needs. For this, field surveys were undertaken before and after the interventions Top of Form for invasive species control, together with remote sensing imagery from a fly-over drone Bottom of Form.

2. Material and Methods

2.1 Study area

The BR (4.97 ha) is located in the central area of the Botanical Park of Tapada da Ajuda, in a site known as Zambujal das Pedreiras ("Wild Olive Grove of the Quarries") (Figure 1) and is restricted to the public. It is crossed by a limestone strip with rugged terrain, which has favored the establishment of wild olive woodland (*zambujal*), together with Mediterranean shrub and herbaceous communities characteristic of warm, dry, and well-exposed sites. The area has a Mediterranean climate, characterized by warm, dry summers and mild, wet winters. The average yearly temperature at Tapada da Ajuda is 17,1 °C and the average yearly precipitation is 667,8 mm (IPMA, 2024). Lisbon has experienced, in the last two years, severe storm events with intense rainfall and strong winds. The most significant were Martinho storm (19-20 March 2025), which brought exceptionally strong winds exceeding 110 km h⁻¹ and a sequence of extra-tropical storms (27-28 January 2026) associated with exceptionally heavy rainfall. As a result, the 2025/2026 hydrological year became the wettest since 2000/2001. These events caused flooding, soil erosion, fallen trees, and damage to infrastructure, leading to the closure of the BR for several months due to safety concerns.

2.2 Sampling design and ground-based surveys

For ground floristic surveys, a systematic grid of points with 30-meter spacing was created. Each point was visited in the field, and vegetation characteristics were collected by positioning at each point and recording the percentage of ground surface covered by each species (trees, shrubs, lianas, and herbaceous plants) within a quadrat of 9 m² around the point (Figure 1c). Field surveys were executed before the control interventions for the Invasive Alien Species (IAS) in July/August 2024 and one year after the interventions (August 2025). The 2025 survey was not completed due to security risks. The analysis of the 2026 survey is course to assess the BR spring flora. All the grid points (n = 51) were surveyed except numbers 2, 9, 16, 34, 37, and 41, which were located in rugged terrain and escarpments where accessibility was not possible. To reach each grid point, the OsmAnd application was used, which is an open-source navigation app working with offline world maps based on OpenStreetMap (OSM). This app allows navigation, taking into account the preferred roads, planning routes, and recording GPX tracks and points without an internet connection.

2.3 Remote-sensing imagery

A Phantom 4 Multispectral Unmanned Aerial Vehicle (UAV) was used to collect images on 23rd May and 20th November 2024. To plan the flights, the BR area was added to the DJI GS Pro application and the flight plan parameters were defined, which were the same in both years. The flight missions were conducted at an altitude of 30 m, as the Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC) only authorized flights at or above this altitude due to the proximity of Lisbon Airport, and were conducted along parallel flight lines with a front overlap ratio of 80% and a side overlap ratio of 75%. Only visible-spectrum imagery was acquired, with a spatial resolution of 2.46 cm. Thus, at each point, the UAV captured red, green, and blue (RGB) image bands. About 3000 UAV images were collected. These images were processed using Agisoft Metashape software, which performs various operations to transform the overlapping aerial images into a continuous, georeferenced map, the orthomosaic. The process requires aligning drone images, generating a point cloud, and creating an elevation surface.

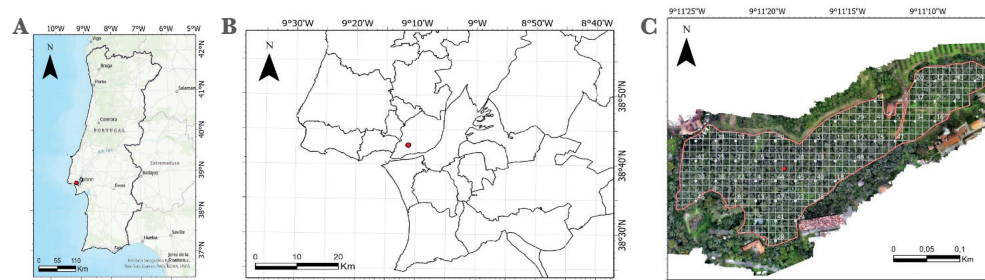


Figure 1. a) Location of the Natural Botanical Reserve (BR) in Portugal (red point); b) Location of BR in Lisbon (Red point); c) Detailed view of the BR limits in an orthomosaic obtained with Red-Green-Blue UAV images in November 2024, overlapped by a systematic grid of points with 30m spacing where each point was used for ground-based floristic surveys, and a square grid with 10 m spacing used for statistical analysis.

2.4 Data treatment

We classified species according to their biogeographic distribution (native, endemic, exotic) and national and European legislation status (protected, invasive). We evaluated the dominant species, species richness, and frequency of occurrence, as well as the proportion and cover of invasive species, before and after the interventions. Data from floristic surveys were compared and analysed. Complementarily, we used the orthomosaic obtained through UAV images for the visible region of the electromagnetic spectrum to obtain the Triangular Greenness vegetation Index (TGI; ec. 1) (Gerardo & de Lima, 2023). This index allows for assessing and identifying the differences in vegetation in the period pre- and post-interventions. The TGI is a remote sensing vegetation index used to estimate leaf chlorophyll content from visible RGB wavelengths. It is computed based on the area of a triangle defined by reflectance values in these three spectral bands. A t-test was conducted to assess the difference in means before and after the interventions, using Monte Carlo permutation tests. The statistical analysis was done using a square grid with 10 m spacing, shown in Figure 1c.

$$(1) \quad TGI = \text{Green} - (0.39 * \text{Red}) - (0.61 * \text{Blue}) \quad (\text{Ozturk and Çolkensen, 2021})$$

3. Results and discusión

3.1 Ground-based surveys

The late-summer surveys recorded 42 species in 2024 and 51 species in 2025. Alien species comprised a relatively high proportion of the total, accounting for approximately 31 - 38% of the total species pool. In 2024, the most frequent and dominant species was wild olive, occurring in approximately 78% of the surveys and reaching an average cover of 35%. *Phillyrea latifolia* was observed in around 69% of the sites, with an average cover of 25% across all sites. *Asparagus acutifolius* and *Ruscus aculeatus* (Annex V of the Habitats Directive) were also frequent, occurring in 51% and 44% of quadrats, respectively. Spring surveys have recorded several noteworthy species, including *Ophrys bombyliflora*, *O. lutea*, *Spiranthes spiralis*, *Narcissus bulbocodium*, *N. tazetta*, several *Iris* spp. and the endemic *Merendera montana*. However, overall species numbers appear to be lower than those reported in the last century by Vasconcellos (1956), although further surveys are needed to confirm this trend. *O. stricta* was among the most common perennial species of the BR and with one of the highest abundances in the area where it occurs (around 1.2 ha). It was found in 55.6% of the surveyed quadrats in 2024, with an average cover of 25%, ranging from 1% (minimum) to 95% (maximum) cover per quadrat. In 2025, surveys pointed to a decrease in the

coverage, but to the maintenance of the frequency of occurrence. Both shaded and non-shaded plots showed signs of recovery following the interventions, with small seedlings of *Opuntia* spp. emerging from rhizomes and recently rooted cladodes.

3.2 Remote-sensing data interpretation

Mature wild olives dominate the BR, together with other evergreen species. Consequently, the observed differences were primarily associated with borders, trails, and canopy gaps, which enabled the identification of previously highly invaded areas. Paired t-tests revealed significant differences in mean TGI values between May (higher TGI) and November ($p = 1.39 \times 10^{-14}$). Although seasonal variation and changes in vegetation within canopy gaps may partly explain the observed TGI differences, a portion of the effect is likely attributable to the reduced cover of invasive species. Further analysis of ground-based and remote sensing data from 2026 will give insights into the control and restoration needs.

4. Conclusion

This study allowed us to confirm the perception of a substantial loss of native biodiversity, largely driven by the invasion of several alien species, but mainly by *Opuntia stricta*. Other species are also very detrimental, such as *C. aethiopica* (recorded only in Spring), which reproduces both by seeds and bulbs. The interventions were relatively successful; however, ground-based surveys revealed a slow recovery of invasive plant populations. Further surveys are needed to validate these findings, particularly in spring.

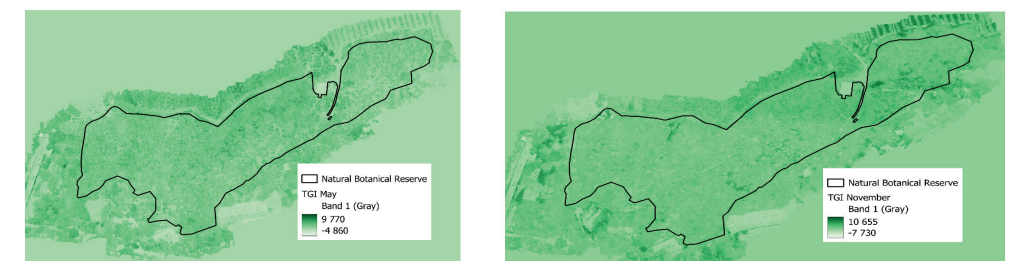


Figure 2. Triangular Greenness Index of the Botanical Reserve (May and November 2025; left and right, respectively).

5. Acknowledgments

This study was funded by the Project “Eradication and Control of Invasive Species of the Natural Botanical Reserve Dom António Xavier Pereira Coutinho do Parque Botânico da Tapada da Ajuda” of the Instituto Superior de Agronomia - Projects Environment and Climate Action – Environmental Fund application to the Aviso nº 11545/2023. FCA and AC also acknowledge the national funds through FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., under project (DOI: 10.54499/UID/00239/2025), and by the European Union – NextGeneration EU (DOI: 10.54499/UID/PRR/00239/2025 and DOI: 10.54499/UID/PRR2/00239/2025).

References

COSTA JC, CAPELO J & LOUSÃ M (1994) Os bosques de zambujeiro (*Olea europaea* L. var. *sylvestris* Miller): vegetação potencial dos vertissolos das áreas termomediterrânicas da Estremadura portuguesa. Anais do Instituto Superior de Agronomia, 44, 497-513.

IPMA (2024) Normal Climatológica–Lisboa/Tapada da Ajuda, Instituto Geofísico 1991-2020. Disponible en: https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn_91-20_LISBOA_TAPADA.pdf [Consultado el 12 mayo 2026].

GERARDO R & DE LIMA IP (2023) Applying RGB-based vegetation indices obtained from UAS imagery for monitoring the rice crop at the field scale: A case study in Portugal. *Agriculture*, 13, 1916.

MONTEIRO A, CHEIA VM, VASCONCELOS T. & MOREIRA I (2005) Management of the invasive species *Opuntia stricta* in a Botanical Reserve in Portugal. *Weed Research*, 45, 193-201.

OZTURK MY & ÇOLKENSEN I (2021) The impacts of vegetation indices from UAV-based RGB imagery on land cover classification using ensemble learning. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3, 41-47.

VASCONCELLOS JC (1956) Reserva Botânica Natural D. António Xavier Pereira Coutinho. *Agros* 3 (Número Especial dedicado ao Parque Botânico da Tapada da Ajuda), 127-136.

VASCONCELOS T & FORTE P (2022) Reserva Botânica Natural D. António Xavier Pereira Coutinho. *Guia de campo. Série Parque Botânico da Tapada da Ajuda* 1. Ed. Teresa Vasconcelos e Paulo Forte, Lisboa.

O4. Caracterización Ambiental de la dinámica espacial y distribución de *Amaranthus palmeri* a escala nacional

O4. *Environmental characterization of the spatial dynamics and distribution of Amaranthus palmeri throughout Spain*

LÁZARO-LÓPEZ A¹, RUEDA-AYALA C¹, PEÑA JM², LOBATO-VEGA N¹, MARÍ AF³, LLENES JM⁴, OSUNA MD⁵, RODRÍGUEZ-MARTÍN JA¹, DE CASTRO A¹

¹Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC), Madrid, España; ²Tech4AGRO. Instituto de Ciencias Agrarias (ICA-CSIC). Madrid, España; ³Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medioambiente, Zaragoza, España; ⁴Servicio de Sanidad Vegetal, Generalitat de Catalunya, Lleida, España; ⁵Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura, Protección Vegetal, Badajoz, España

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29311

Email (por orden de autoría): alberto.lazaro@inia.csic.es, christian.rueda@csic.es; jmpena@ica.csic.es; nicolas.lobato@inia.csic.es; aimari@cita-aragon.es; josepma.llenes@gencat.cat; mariadolores.osuna@juntaex.es; rmartin@inia.csic.es; ana.decastro@csic.es

Las infestaciones de *Amaranthus palmeri* suponen una grave amenaza para el rendimiento de los cultivos y la biodiversidad de los ecosistemas debido a su alta tasa de crecimiento, plasticidad ecológica y habilidad para desarrollar resistencia a herbicidas. Su presencia ha sido reportada en varios países de la cuenca mediterránea, incluyendo España. Ante este desafío, es fundamental disponer de herramientas de detección rápida y de gran cobertura espacial. El presente trabajo persigue identificar los factores ambientales clave que influyen en la presencia y propagación de *A. palmeri*, monitorear su expansión y definir las áreas agrícolas de mayor riesgo potencial mediante modelización geoespacial. Para ello, se calcularon parámetros morfométricos, hidrológicos y climáticos derivados del modelo digital del terreno, series climáticas y de imágenes de teledetección en forma de matrices de superficies continuas. Posteriormente, se realizaron análisis multivariantes y se modelizó la distribución potencial mediante modelos ecológicos de presencia. Esta metodología se basa en técnicas de *Big Data*, teledetección y Sistemas de Información Geográfica, considerando las limitaciones derivadas de los efectos borde en el cálculo de las superficies, así como las agregaciones temporales de series de tiempo multiescala, con el fin de facilitar su adaptación a diferentes escenarios de escala y resolución. Esta novedosa aproximación permite establecer relaciones entre la dinámica geoespacial de *A. palmeri* y factores ambientales y agrícolas, identificando áreas potenciales de distribución a través de predicciones basadas en mapas de riesgo de infestación. La metodología desarrollada resulta esencial para establecer medidas de prevención, contribuyendo tanto a la reducción del uso de herbicidas como a la preservación de la biodiversidad.

Palabras clave: Mapa de riesgo, modelización ambiental, *Big Data*, SIG, teledetección.

Amaranthus palmeri infestations pose a serious threat to crop yields and ecosystem biodiversity due to their high growth rate, ecological plasticity, and ability to develop herbicide resistance. It has been reported in several countries in the Mediterranean Basin, including Spain. In light of this challenge, it is key to develop fast detection tools with broad spatial coverage. This study aims to identify the key environmental factors influencing the presence and spread of *A. palmeri*, monitor its expansion,

and define the agricultural areas of greatest potential risk through geospatial modelling. To this end, morphometric, hydrological, and climatic parameters were calculated from the digital elevation model, climate time series, and remote sensing imagery in the form of continuous surface matrices. Multivariate analyses and potential distribution modelling were then performed using an ecological only-presence model, MaxEnt. This methodology integrates Big Data, remote sensing, and Geographic Information Systems (GIS) techniques, and takes into account the limitations of edge effects in the areas of interest and the temporal aggregations of time series to adapt it to different scale and resolution scenarios. This innovative approach provides a way to connect the geospatial dynamics of *A. palmeri* with environmental and agricultural factors, identifying potential areas of distribution through predictions based on infestation risk maps. This methodology is instrumental in establishing preventive measures, helping both to reduce herbicide use and to preserve biodiversity.

Keywords: Risk mapping, environmental modeling, Big Data, GIS, remote sensing

1. Introducción

La especie invasora *Amaranthus palmeri*, originaria del desierto de Sonora en el suroeste de Estados Unidos y norte de México, supone una grave amenaza para el rendimiento de los cultivos y la biodiversidad de los ecosistemas. Es considerada una de las especies de malas hierbas invasoras más agresivas, dada su alta capacidad competitiva y tasa de crecimiento, amplia plasticidad ecológica y habilidad para desarrollar resistencia a herbicidas (Manicardi *et al.*, 2025; Torra *et al.*, 2020). Ha sido detectada en países de la cuenca mediterránea (Chipre, Israel, Italia, Grecia, Turquía, España y Portugal), provocando las máximas alertas de la Organización Europea y Mediterránea para la Protección de Plantas (EPPO) y de las administraciones competentes en Sanidad Vegetal propias de cada país. En España, se ha producido una rápida expansión desde que fue detectada por primera vez en ambientes agrícolas en 2018, en un campo de maíz en Cataluña, apareciendo poco después por otras zonas agrícolas de Aragón y Extremadura.

Los modelos de distribución de especies constituyen una herramienta útil para relacionar los registros de presencia con las características ambientales y espaciales del territorio, permitiendo, además, identificar áreas susceptibles para el establecimiento de la especie y generar mapas de distribución potencial, siendo el modelo MaxEnt el más destacado cuando se analizan datos de presencia (Phillips & Dudík, 2008).

Debido a la complejidad del manejo de *A. palmeri*, resulta prioritario identificar los factores clave que influyen en la presencia y propagación de esta invasora a diferentes escalas en la península ibérica y generar mapas potenciales de riesgo de alta resolución, siendo ambos objetivos de la presente investigación. Esta información resultaría esencial para establecer medidas de prevención y erradicación, contribuyendo tanto a la reducción del uso de herbicidas como a la preservación de la biodiversidad.

2. Material y métodos

2.1 Área de estudio

La investigación se desarrolla en España sobre el territorio peninsular y las islas Baleares. Esta área engloba una gran diversidad de entornos agrarios en términos de geomorfología, geología, clima y edafología. En cuanto a la geomorfología, la península ibérica presenta una marcada diversidad de unidades de relieve, destacando la Meseta Central, las cordilleras alpinas (Pirineos, Béticas) y sistemas montañosos intermedios que organizan amplias cuencas hidrográficas. Esta compleja orografía condiciona

el predominio del clima en la península, que contrasta con precipitaciones más abundantes y regulares y menor amplitud térmica en zonas en la vertiente oceánica con la fuerte aridez del sureste semiárido.

2.2 Flujo de trabajo

Este trabajo se ha organizado en diversas etapas: ingestión de datos, escalado, procesamiento, cómputo de covariables, modelización a partir de las covariables y los datos de infección de parcelas y, por último, el análisis de los resultados y generación de información (figura 1). Los procesos que componen cada etapa deben ser definidos, desarrollados y evaluados.

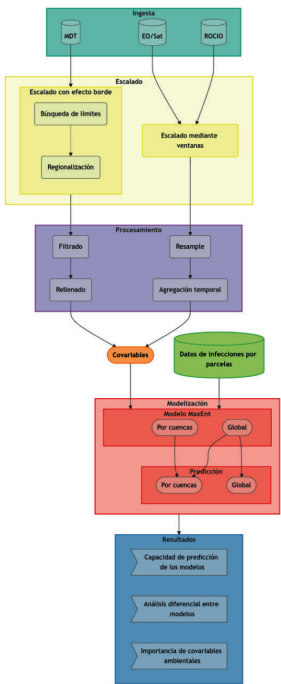


Figura 1. Flujo de trabajo para la modelización de la dinámica especial de *A. Palmeri*

2.3 Registro de presencia de *A. palmeri*

Se han recopilado registros de parcelas infectadas por *A. palmeri* en las comunidades autónomas de Aragón, Cataluña y Extremadura a partir de la información obtenida en visitas periódicas por los Servicios de Sanidad Vegetal y las Unidades de Protección Vegetal asociadas a cada comunidad. Los registros se estructuran en series temporales anuales no regulares para el período 2018-2024, cuya extensión temporal varía entre comunidades en función de la fecha de aparición de *A. palmeri*. Asimismo, no se dispone de datos para Cataluña en 2021 debido a la ausencia de visitas técnicas durante dicha anualidad.

De forma general, los registros incluyen la fecha de detección y su georreferenciación mediante la identificación de la parcela y el recinto SIGPAC correspondientes. Adicionalmente, en algunos de los registros se dispone también de información relativa a la intensidad de la infección, aunque al no ser genérico, no ha sido posible integrarla en los análisis realizados.

2.3 Fuente de datos ambientales

La modelización de la dinámica espacial de la invasora *A. palmeri* se basó en la caracterización de los factores ambientales que condicionan su distribución mediante un conjunto de covariables continuas definidas para todo el ámbito de estudio. La actividad humana también influye en la dispersión de *A. palmeri*, pero la falta de datos fiables y continuos sobre movimientos de vehículos o maquinaria impide incluir esta componente en el análisis. Las variables independientes analizadas fueron construidas a partir de tres fuentes de datos: el Modelo Digital del Terreno (MDT), imágenes remotas y la rejilla climática ROCIO.

- *MDT*: se empleó el MDT elaborado por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) a partir de vuelos LiDAR de 2ª cobertura, con una resolución espacial de 200 metros.
- *Imágenes remotas*: se descargaron imágenes adquiridas por la constelación de satélites Sentinel del programa Copernicus, desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Comisión Europea (EC). Se seleccionaron imágenes correspondientes al periodo vegetativo de *A. palmeri* para los años 2018-2024, con un nivel de preprocesamiento 2A.
- *Rejilla ROCIO*: las covariables climáticas se obtuvieron a partir de la rejilla ROCIO generada por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), mediante la modelización diaria de temperaturas máximas y mínimas y precipitaciones para toda la superficie de la península desde 1950 hasta 2024. Específicamente, se usan los últimos 10 años de valores de la serie.

2.4 Software y herramientas

Este trabajo integra la gestión y análisis de los datos mediante el gestor de bases de datos PostgreSQL, los cálculos de covariables mediante el paquete SAGA y los análisis estadísticos y la modelización se desarrollaron en el entorno R y diversos paquetes de su ecosistema.

3. Resultados y discusión

Como resultados preliminares de esta investigación, se describe el flujo de trabajo desarrollado para escalar el análisis de los datos de presencia de *A. palmeri*, junto a las covariables ambientales, a grandes extensiones territoriales sin comprometer la resolución espacial de las predicciones, alcanzando niveles de detalle compatibles con la escala de parcela o recinto (siguiendo las demarcaciones del SIGPAC). Esta metodología es automática, completamente escalable y está orientada a la construcción de modelos de distribución potencial de *A. palmeri*.

3.1 Obtención de las covariables con cobertura continua

A partir de las fuentes de datos ambientales, se generaron las capas espaciales continuas correspondientes a las covariables consideradas en la modelización.

Como paso previo, el MDT fue sometido a un proceso de filtrado para preservar los bordes asociados a cambios bruscos de pendiente y suavizar las pequeñas variaciones de las zonas más llanas, con el fin de reducir el ruido altimétrico. Posteriormente, se aplicó un rellenado de depresiones espurias (*sink filling*) garantizando la generación de una red de drenaje continua y completamente conectada. Tras estos procesos, se derivaron del MDT las covariables geomorfológicas, hidrológicas y topo-climáticas. Estas pueden clasificarse, según su método de cálculo, en variables locales y regionales. Las primeras se obtienen a partir de la información contenida en el píxel de interés y su entorno inmediato, definido por una ventana de análisis. Las segundas describen la posición relativa de cada píxel respecto a un entorno variable definido por algoritmos de dirección y acumulación de flujos.

El cálculo de covariables locales puede extenderse de forma eficiente a grandes superficies gracias a la independencia espacial de los cálculos y a su fácil paralelización. Sin embargo, en el caso de las covariables regionales es preciso considerar explícitamente el área de influencia de cada píxel para evitar errores asociados a los efectos de borde. En este contexto, las cuencas hidrográficas constituyen una unidad de análisis adecuada, ya que delimitan de forma natural las áreas de contribución de los flujos de agua y materiales. Por tanto, el cálculo de covariables regionales sobre grandes extensiones (escalado) debe considerar múltiples cuencas hidrográficas y la integración de los resultados en una superficie continua y espacialmente coherente.

A partir de las imágenes remotas satelitales y de la rejilla ROCIO se calcularon múltiples índices derivados de la combinación de bandas (dominio espacial) y/o de agregaciones temporales (dominio temporal) de la serie de datos en cada píxel.

3.2 Modelización

La ejecución del modelo MaxEnt integra las covariables generadas y las localizaciones de las parcelas con presencia registrada de *A. palmeri*. En este sentido, se realizaron dos estrategias de modelización: i) generando un único modelo para toda el área de estudio, ii) construyendo modelos específicos para cada cuenca hidrográfica utilizadas durante el proceso de regionalización y escalado.

Una vez calibrados los modelos, se llevaron a cabo las predicciones espaciales. En los modelos regionales, cada uno se aplicó exclusivamente a la cuenca hidrográfica para la que fue generado. El modelo global se aplicó de manera independiente sobre cada una de las cuencas, además de emplearse para generar una predicción continua para la totalidad del área de estudio. Esta doble estrategia permite comparar el comportamiento de las aproximaciones global y regional en la estimación de la distribución potencial de *A. palmeri*.

Los resultados del modelo permitirán seleccionar las estrategias de modelización y los factores ambientales con mayor capacidad predictiva de presencia de *A. palmeri*, así como generar mapas potenciales de distribución y riesgo de esta invasora.

4. Conclusiones

Este trabajo presenta el desarrollo metodológico que permite identificar los factores ambientales que determinan la presencia de *A. palmeri*, así como generar mapas de distribución potencial en toda la superficie de la península ibérica, manteniendo una resolución espacial compatible con la escala de parcela. Esta novedosa herramienta metodológica es automática y completamente escalable, por lo que puede ser alimentada con datos de presencia de *A. palmeri* obtenidos de manera continua cada año y por cualquier zona geográfica.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos BIOweeding (PID2023-150108OB-C31) y NEWweeding (PID2023-150108OB-C32) del MCIU / AEI / 10.13039/501100011033 / FEDER, EU” y del Programa Momentum CSIC: Desarrolla tu talento digital (DigitalWeeds, MMT24-INIA-01). Christian. Rueda-Ayala, personal contratado en el marco de la iniciativa Generación D, impulsada por Red.es, entidad adscrita al Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, para la atracción y retención de talento a través de becas y contratos de formación, financiados por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia a través de los fondos Next Generation de la Unión Europea.

Referencias

- MANICARDI A, MILANI A, SCARABEL L, MORA G, RECASENS J, LLENES JM, MONTULL JM & TORRA J (2025) First report of glyphosate resistance in an *Amaranthus palmeri* population from Europe. *Weed Research*, 65, e12579.
- PHILLIPS SJ & DUDÍK M (2008) Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, 161-175.
- TORRA J, ROYO-ESNAL A, ROMANO Y, OSUNA MD, LEÓN RG & RECASENS J (2020) *Amaranthus palmeri* a new invasive weed in Spain with herbicide resistant biotypes. *Agronomy*, 10, 993.

O5. Discriminación de *Amaranthus palmeri*, *A. hybridus* y *A. retroflexus* a lo largo de su ciclo fenológico mediante información espectral

O5. Environmental characterization of the spatial dynamics and distribution of *Amaranthus palmeri* throughout Spain

RUEDA-AYALA C¹, PEÑA JM², DORADO J², CAMPOS D², LOBATO-VEGA N¹, ANDÚJAR D³, DE CASTRO A¹

¹Departamento de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC), Madrid, España; ²Tech4AGRO. Instituto de Ciencias Agrarias (ICA-CSIC), Madrid, España; ³Centro de Automática y Robótica, CAR-CSIC, Arganda del Rey, Madrid, España

DOI: 0.20350/digitalCSIC/29312

Email (por orden de autoría): christian.rueda@inia.csic.es; jmpena@ica.csic.es; jose.dorado@csic.es; dcampos@ica.csic.es; nicolas.lobato@inia.csic.es; d.andujar@csic.es; ana.decastro@csic.es

La detección temprana y precisa de *Amaranthus palmeri* S. Watson es prioritaria para su manejo localizado en agroecosistemas, donde esta invasora supone una amenaza por su elevada competitividad, abundante producción de semillas y rápida evolución de resistencia a herbicidas. Esta problemática se agrava en estados iniciales de desarrollo, cuando *A. palmeri* presenta una morfología similar a otras malas hierbas comunes en cultivos españoles, como *A. hybridus* y *A. retroflexus*, dificultando su identificación y la aplicación oportuna de medidas de control. El objetivo de este trabajo consistió en evaluar la capacidad de discriminación de las tres especies de *Amaranthus* en estados fenológicos tempranos a partir de firmas espectrales foliares adquiridas con espectrorradiómetro de campo, así como estimar el potencial de uso de sensores multiespectrales, mediante el remuestreo de dichas firmas a sus bandas multiespectrales. Para ello, se adquirieron firmas hiperespectrales (400-2500 nm) foliares de *A. palmeri*, *A. hybridus* y *A. retroflexus* en varios estados de desarrollo con espectrorradiómetro de campo en condiciones controladas. El análisis se realizó siguiendo varios enfoques: 1) valores espectrales promediados a un ancho de 10 nm, 2) curva de ajuste mediante segunda derivada de Savitzky-Golay (SG-d2) cada 10 nm y 3) remuestreo (simulación) del sensor multiespectral MicaSense RedEdge-P Dual. Los resultados mostraron la capacidad de discriminación entre las especies *A. hybridus*, *A. palmeri* y *A. retroflexus* en estados muy tempranos de desarrollo con información espectral, si bien, ésta varió con el desarrollo de la planta. En particular, se evidenció el potencial del sensor MicaSense RedEdge-P Dual para discriminar estas especies a los 34 días después de la siembra.

Palabras clave: Agricultura de precisión, invasoras, teledetección, espectroradiometría, detección temprana.

Early and accurate detection of Amaranthus palmeri S. Watson is a priority for site-specific management in agroecosystems, where this invasive weed poses a major threat due to its high competitiveness, prolific seed production, and rapid evolution of herbicide resistance. This challenge is particularly relevant at early growth stages, when A. palmeri exhibits morphological similarities to other common weed species in Spanish cropping systems, such as A. hybridus and A. retroflexus.

thereby hindering reliable identification and the timely implementation of control measures. The objective of this study was to evaluate the discriminatory capacity among these three *Amaranthus* species at early phenological stages based on leaf spectral signatures acquired with a field spectroradiometer and to assess the potential use of multispectral sensors by resampling these signatures to their multispectral bands. To this end, leaf hyperspectral signatures (400-2500 nm) of *A. palmeri*, *A. hybridus*, and *A. retroflexus* were acquired at different developmental stages using a field spectroradiometer under controlled conditions. The analysis followed several approaches: spectral reflectance values averaged to a 10 nm bandwidth, the Savitzky-Golay second derivative (SG-d2) at 10 nm, and spectral resampling to simulate the widely used commercial multispectral sensor MicaSense RedEdge-P Dual. The results demonstrate that spectral information enables discrimination among *A. hybridus*, *A. palmeri*, and *A. retroflexus* at very early developmental stages, although discriminatory performance varied according to plant development. In particular, the findings highlight the potential of the MicaSense RedEdge-P Dual sensor to discriminate these species at 34 days after sowing

Keywords: Precision agriculture, invasive weeds, remote sensing, spectroradiometry, early detection.

1. Introducción

La especie invasora *Amaranthus palmeri* S. Watson representa un problema grave y creciente para los sistemas agrícolas por su rápido crecimiento, elevada fecundidad, plasticidad ecológica y frecuente aparición de biotipos resistentes a herbicidas (Roberts & Florentine, 2022). Su impacto sobre los ecosistemas agroforestales se pone de manifiesto por su inclusión en la Lista de Alerta A2 de la Organización Europea y Mediterránea para la Protección de Plantas (EPPO, 2014). En la cuenca mediterránea presenta especial relevancia, estando presente en la mayor parte de países (Chipre, Israel, Italia, Grecia, Turquía, España, Portugal y Egipto, Túnez y Marruecos), donde cuenta con alta complejidad de manejo (Manicardi *et al.*, 2023). En España, esta problemática se agrava en estados iniciales de desarrollo, cuando *A. palmeri* presenta una morfología similar a otras malas hierbas comunes del género *Amaranthus*, como *A. hybridus* y *A. retroflexus*, dificultando su identificación y la aplicación oportuna de medidas de control. El análisis espectral a escala foliar o de dosel vegetal permite caracterizar y discriminar entre clases de vegetación o especies, y suele emplearse como paso previo al escalado hacia el uso de sensores remotos embarcados, por ejemplo, en vehículos aéreos no tripulados (UAVs) o satélites (de Castro *et al.*, 2021). La respuesta espectral de una planta varía a lo largo de su ciclo fenológico y, teniendo en cuenta que especies taxonómicamente próximas presentan patrones de reflectancia similares, especialmente en estados iniciales de crecimiento, resulta prioritario identificar las condiciones temporales y espectrales más favorables de separabilidad. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue identificar la región espectral y la ventana temporal óptimas para la discriminación de *A. palmeri*, *A. hybridus* y *A. retroflexus* mediante el análisis de la información hiperespectral adquirida, a nivel de hoja, en varios estados fenológicos tempranos, así como determinar el potencial del sensor MicaSense RedEdge-P Dual para dicha discriminación a través de sus bandas multispectrales.

2. Materiales y métodos

2.1 Material vegetal y adquisición de firmas

Se utilizaron 90 plantas de *A. palmeri*, *A. hybridus* y *A. retroflexus* cultivadas individualmente en macetas bajo condiciones controladas en el invernadero del ICA-CSIC (Madrid). El diseño incluyó tres grupos de plantas evaluados a 17, 24 y 34 días después de la siembra (DDS). Estos grupos correspondieron a cohortes sembradas y medidas en fechas distintas, por lo que no es posible aislar completamente el efec-

to del estado de desarrollo de otros posibles efectos asociados a la cohorte o a la fecha de adquisición. Por ello, los DDS se utilizaron como variable operativa para representar el estado de desarrollo de las plantas (tabla 1).

Tabla 1. Diseño experimental del muestreo espectral foliar. Los conteos por especie se presentan en el orden *A. palmeri*-*A. hybridus*-*A. retroflexus*.

DDS	FECHA DE SIEMBRA	FECHA DE ADQUISICIÓN	FIRMAS ()	PLANTAS ()
17	2025-06-09	2025-06-26	20-20-20	10-10-10
24	2025-06-02	2025-06-26	20-20-20	10-10-10
34	2025-04-04	2025-05-08	20-12-20	10-10-10
Total			172	90

Donde: DDS: días desde la siembra; n: número de firmas espectrales; N: número de plantas.

Se tomaron las firmas espectrales de las dos últimas hojas completamente desarrolladas de cada planta con un espectrorradiómetro de campo, modelo ASD FieldSpec 4, consistente en sonda de contacto, pinza foliar con fuente halógena integrada y reductor de campo de visión (FOV) específico para el tamaño medio de hoja. Este espectrorradiómetro adquiere información espectral en el rango 350 - 2500 nm con una resolución de 1 nm, donde cada medición (firma espectral) resulta del promedio interno de 25 mediciones. Las firmas espectrales se promediaron por planta, utilizándose ésta como unidad experimental en todos los análisis inferenciales y modelos desarrollados.

2.2 Análisis de la información espectral

Los datos espectrales se analizaron siguiendo tres enfoques metodológicos: 1) valores espectrales promediados a un ancho de 10 nm, 2) curva de ajuste mediante la segunda derivada de Savitzky-Golay (SG-d2) a 10 nm y 3) remuestreo (simulación) a las 10 bandas del sensor multispectral MicaSense RedEdge-P Dual (444-28 nm, 475-32 nm, 531-14 nm, 560-27 nm, 650-16 nm, 668-14 nm, 705-10 nm, 717-12 nm, 740-18 nm, 842-57 nm). La capacidad de discriminación de los distintos enfoques metodológicos para separar las tres especies de *Amaranthus* (i.e., *Ap*, *Ah* y *Ar*) se evaluó mediante análisis PERMANOVA/PERMDISP, distancias inter e intraespecíficas y análisis por regiones espectrales.

3. Resultados y discusión

Los perfiles de reflectancia mostraron el patrón típico de vegetación sana, con baja reflectancia en el visible (VIS, 400 - 700 nm), incremento en el *red-edge*, meseta en el NIR (750 - 1300 nm) y absorciones en el SWIR (1300 - 2500 nm) (figura 1). Estos perfiles mostraron diferencias espectrales entre especies, las cuales variaron con los DDS. Las diferencias se mostraron más pronunciadas en plantas más desarrolladas (34 DDS), siendo relevantes en zonas del VIS, NIR y SWIR, mientras que en plantas con menor desarrollo (17 DDS) estas diferencias se centraron principalmente en las regiones del NIR y SWIR.

La capacidad de discriminación entre clases, medida por PERMANOVA, detectó diferencias multivariadas dentro de cada DDS en todos los enfoques metodológicos () (tabla 2). Para valores espectrales promediados a 10 nm, el estado de desarrollo a 17 DDS mostró la mayor capacidad de discriminación

(; razón inter/intra = 1.754), aunque con PERMDISP significativo. Igualmente ocurrió con SG-d2 a 10 nm, obteniéndose la mayor capacidad de separación entre clases también a los 17 DDS. En el caso del remuestreo al sensor MicaSense, la mayor separabilidad entre especies fue durante su mayor desarrollo, a los 34 DDS.

En cuanto al análisis por regiones espectrales, la capacidad de discriminación de las tres clases de *Amaranthus* varió con el enfoque metodológico empleado y con el desarrollo de las plantas. Así, utilizando valores de reflectancia media a 10 nm, la mejor capacidad de separabilidad ($= 0.852$) se consiguió en plantas de menor tamaño (a los 17 DDS) usando información del SWIR1 (1300-1800 nm). De forma similar, para los valores SG-d2, el estado fenológico más favorable para la discriminación entre clases fue a los 17 DDS ($= 0.763$) usando información de onda más largas en la región SWIR 2 (1800-2500 nm). Las zonas del Red-edge y del visible también mostraron buena capacidad para separar entre especies, especialmente a los 34 DDS para ambos enfoques, con valores de $= 0.706$ y 0.588 para SG-d2 y reflectancia media 10 nm, respectivamente. La zona del visible mostró ser adecuada si se emplean datos de reflectancia media a 10 nm en plantas a los 24 DDS ($= 0.617$).

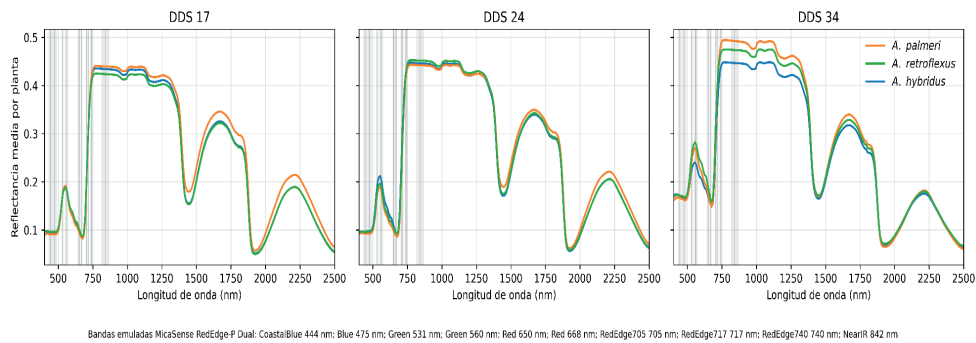


Figura 1. Firmas medias de reflectancia foliar para las clases *A. hybridus*, *A. palmeri* y *A. retroflexus* en los estados de desarrollo medidos a los 17 DDS (a), 24 DDS (b) y 34 DDS (c) para el rango espectral (400-2500 nm). Las bandas sombreadas en las figuras corresponden a las 10 bandas del sensor MicaSense RedEdge-P Dual, donde las líneas verticales más oscuras representan el valor central de la banda.

Tabla 2. Resultados obtenidos para cada enfoque metodológico, indicando el estado de desarrollo y la región espectral con mayor capacidad discriminante, los resultados del análisis y la capacidad de generalización.

ENFOQUE METODOLÓGICO	DDS	CAPACIDAD DISCRIMINATORIA	RAZÓN INTER/ INTRA
Reflectancia 10 nm	17	$R^2=0,536$	1,754
SG-d2 10 nm	17	$R^2=0,354$	1,353
M. RedEdge-P Dual	34	$R^2=0,444$	1,493

Donde DDS, días después de la siembra; R^2 , efecto de especie estimado mediante PERMANOVA; Macro-F1, rendimiento de clasificación bajo validación Leave-One-DDS-Out.

Por tanto, utilizando toda la información espectral generada por el espectrorradiómetro de campo, sería posible separar *A. hybridus*, *A. palmeri* y *A. retroflexus* en estados muy tempranos de desarrollo, concretamente a los 17 DDS, empleando la región del SWIR. Sin embargo, no hay disponibilidad de sensores comerciales que puedan ser embarcados en plataformas móviles, ya sean tractores o UAVs, que adquieran información en estas zonas del espectro. Los sensores comerciales transportados actuales adquieren información principalmente en zonas del VIS-NIR. Para estas regiones, los resultados demuestran que es posible separar las 3 clases de *Amaranthus*, aunque en plantas algo más desarrolladas entre los 24 y 34 DDS, si bien en ambas fechas las plantas alcanzan un tamaño adecuado para una aplicación eficaz del herbicida, sin superar las 4-5 hojas recomendadas por los técnicos de los Servicios de Sanidad Vegetal. La mejora de la discriminación entre especies observada con el desarrollo de las plantas se atribuye al incremento de las diferencias inter-específicas en la composición bioquímica y en las características estructurales foliares a medida que avanza el crecimiento, generando sutiles variaciones en la respuesta espectral que pueden ser detectadas en las regiones VIS-NIR. Este argumento se ve respaldado por los resultados del remuestreo a las bandas del sensor MicaSense (con información en VIS-NIR, no en SWIR), que evidencian su potencial para discriminar estas clases a los 34 DDS.

Por tanto, dada la disponibilidad actual de sensores multispectrales comerciales embarcables en UAVs, la discriminación entre las 3 clases de *Amaranthus* sería más favorable en estados de desarrollo iguales o superiores a 24 DDS, especialmente a los 34 DDS. No obstante, este potencial debe validarse a escala de dosel y en condiciones reales de campo.

4. Conclusiones

Los resultados de este trabajo muestran la capacidad de discriminación entre las especies *A. hybridus*, *A. palmeri* y *A. retroflexus* en estados muy tempranos de desarrollo utilizando información espectral de alta resolución. Esta capacidad varía con el crecimiento de las especies, el tipo de enfoque metodológico utilizado y la zona espectral analizada. Así, para plantas con menor desarrollo (17 DDS) es necesario utilizar información del SWIR y puede lograrse tanto con valores de reflectancia promediada a 10 nm, como con SG-d2 a 10 nm. Sin embargo, para plantas más desarrolladas, entre los 24 y 34 DDS, es posible separar las 3 especies de *Amaranthus* con información del VIS - Red-edge con ambos enfoques metodológicos, siendo un tamaño aún adecuado para una aplicación eficaz del herbicida.

El remuestreo al sensor multispectral MicaSense RedEdge-P Dual mostró que la discriminación entre especies de *Amaranthus* es más precisa en estados de desarrollo tempranos más avanzados, especialmente a los 34 DDS. Aunque la región SWIR permitió una discriminación más temprana, el empleo de sensores comerciales actuales embarcables en UAV resulta más viable en fases posteriores del desarrollo de estas especies y requiere validación en condiciones reales de campo.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos BIOweeding (PID2023-150108OB-C31), y NEWeeding (PID2023-150108OB-C32) y MIXweeding (PID2023-150108OB-C33) del MCIU / AEI / 10.13039/501100011033 / FEDER, EU” y del Programa Momentum CSIC: Desarrolla tu talento digital (DigitalWeeds, MMT24-INIA-01). Christian Rueda-Ayala, personal contratado en el marco de la iniciativa Generación D, impulsada por Red.es, entidad adscrita al Ministerio para la Transformación Digital y de la Función Pública, para la atracción y retención de talento a través de becas y contratos de formación, financiados por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia a través de los fondos Next Generation de la Unión Europea.

Referencias

DE CASTRO AI, SHI Y, MAJA JM & PEÑA JM (2021) UAVs for vegetation monitoring: Overview and recent scientific contributions. *Remote Sensing* 13, 2139.

ROBERTS J & FLORENTINE S (2022) A review of the biology, distribution patterns and management of the invasive species *Amaranthus palmeri* S. Watson (Palmer amaranth): Current and future management challenges. *Weed Research*, 62, 113-122.

EPPO (2014) Pest risk analysis for *Amaranthus palmeri*. Disponible en: https://gd.eppo.int/download/doc/1463_pra-exp_AMAPA.pdf [Consultado el 13 mayo 2026].

MANICARDI A, SCARABEL L, LLENES JM, MONTULL JM, OSUNA MD, TORRA FARRÉ J & MILANI A (2023) Genetic basis and origin of resistance to acetolactate synthase inhibitors in populations from Spain and Italy. *Pest Management Science*, 79, 4886-4896.

P1. Primeiros registos de *Amaranthus palmeri* S. Wats em campos de milho em Portugal

P1. First records of *Amaranthus palmeri* S. Wats in maize fields in Portugal

CALHA IM¹, PORTUGAL J^{2,3}

¹Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, Oeiras, Portugal; ²Departamento de Biociências, Instituto Politécnico de Beja, Beja, Portugal; ³MED Instituto Mediterrâneo para a Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento & CHANGE Global Change and Sustainability, Évora, Portugal

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29313

Email (por orden de autoría): isabel.calha@iniav.pt; jportugal@ipbeja.pt

A identificação da presença da espécie *Amaranthus palmeri* S. Watson em Portugal Continental representa uma ameaça de “risco elevado” para os agroecossistemas nacionais. Identificada como uma das infestantes mais problemáticas e economicamente prejudiciais a nível global, a espécie foi recentemente detetada em campos de milho na região do Ribatejo e Alentejo. A sua dispersão assenta numa combinação de características bioecológicas que são particularmente favoráveis à sua dispersão e por desenvolver facilmente resistência a múltiplos herbicidas. A natureza dióica da planta implica que a polinização seja cruzada e a rápida disseminação de genes de resistência adquirida aos herbicidas, tornando o controlo químico uma estratégia insustentável a longo prazo. A rápida expansão em Espanha, onde a espécie foi detetada em 2007 e a existência de populações resistentes a famílias de herbicidas relevantes como são os inibidores de ALS e o glifosato, servem de alerta para o potencial evolutivo desta infestante em Portugal. Na fase atual a abordagem ao problema deve ser dada à erradicação dos focos iniciais para prevenir o estabelecimento e a dispersão generalizada. A inação poderá resultar em perdas de rendimento significativas e em desafios económicos e de gestão de longo prazo.

Palavras chave: Crescimento rápido, disseminação, resistência a herbicidas, tolerância zero.

*The identification of the presence of the species *Amaranthus palmeri* S. Watson in Portugal poses a 'high-risk' threat to national agroecosystems. Identified as one of the most problematic and economically damaging weeds globally, the species was recently detected in maize fields in the Ribatejo and Alentejo regions. Its spread is based on a combination of biological characteristics that are particularly conducive to its dispersal and its ability to readily develop resistance to multiple herbicides. The dioecious nature of the plant requires cross-pollination and facilitates the rapid spread of herbicide resistance genes, making chemical control an unsustainable strategy in the long term. Its expansion in Spain, where the species was detected in 2007, revealed the rapid emergence of resistant populations within key herbicide families such as ALS inhibitors and glyphosate, serving as a warning of this weed's potential evolution in Portugal. At this stage, the approach to the problem should focus on the eradication of initial outbreaks to prevent establishment and widespread dispersal. Inaction could result in significant yield losses and long-term economic and management challenges.*

Keywords: *Rapid growth, spread, herbicide resistance, zero tolerance.*

1. Introducción

A espécie *Amaranthus palmeri* é uma planta anual pertencente à família das *Amaranthaceae* nativa das regiões desérticas do sudoeste dos Estados Unidos e do norte do México (Recasens & Conesa, 2011). A espécie transformou-se numa das mais difundidas, problemáticas e economicamente prejudiciais infestantes a nível global (USDA, 2020). A sua classificação como uma planta de “risco elevado” de invasão deve-se à sua capacidade de competir agressivamente com culturas de primavera-verão, causando perdas de rendimento que podem variar entre 6% a 94% em culturas como milho, algodão, amendoim e soja (Ward *et al.*, 2013). A sua disseminação para fora da sua área de distribuição nativa, para regiões como a Europa, Austrália e América do Sul, é largamente facilitada pela atividade humana (Culpepper *et al.*, 2010). A dispersão de sementes frequentemente deve-se à contaminação das sementes das culturas, rações e fardos de feno, bem como pelo transporte em veículos e, em particular, em máquinas agrícolas como ceifeiras (USDA, 2020). A problemática é ampliada pelo facto de não ser tipicamente uma invasora de ecossistemas naturais, mas sim de habitats perturbados, como campos agrícolas, jardins, pastagens e bermas de estrada, onde a sua agressividade competitiva é mais evidente e o seu impacto económico é direto e severo (USDA, 2020).

A presença desta infestante no território português, confirmada recentemente em Portugal Continental e com registos anteriores na Ilha da Madeira (EPPO, 2014) exige uma resposta coordenada dos Serviços oficiais bem como das Cooperativas e Associações de agricultores. A experiência de outros países, em particular de Espanha, que partilha fronteira e um clima semelhante, fornece um modelo preditivo dos desafios que Portugal poderá vir a enfrentar, caso a espécie se estabeleça amplamente. Com este trabalho pretende-se dar a conhecer os primeiros registos da presença de *A. palmeri* em Portugal, a sua localização, provável meio de introdução, potencial de disseminação no país e meios de alerta usados junto dos agricultores. Acrescenta-se uma pequena síntese do conhecimento adquirido em Espanha desde a sua introdução, a fim de dar os melhores passos na contenção da espécie em Portugal.

2. Detecção da Espécie

A identificação da presença de *A. palmeri* ocorreu no mês de julho de 2025 em três parcelas de milho localizadas na região do Ribatejo, mais concretamente junto às povoações de Sobralinho, Golegã e Tomar. Mais ao sul, no Alentejo, foi identificada num campo de milho no concelho de Beja (figura 1). A deteção da espécie surge em resultado de relatos de agricultores chegados ao Instituto de Investigação Agrária e Veterinária e à Escola Superior Agrária de Beja, nos quais davam nota da presença de uma espécie desconhecida nas parcelas de milho. Tendo em consideração que cerca de 75% do grão de milho é importado para alimentação animal (INE, 2026; ANPROMIS, 2026) a introdução da espécie muito provavelmente resultou de milho importado por fábricas de ração próximas das parcelas milho onde o *A. palmeri* foi identificado. Dá-se nota que junto a uma das parcelas verificou-se presença de estrume de aviário onde eram visíveis grãos de milho.

A difusão da presença da espécie fez-se a 9 de agosto de 2025 através de uma nota de Imprensa (Alerta) enviada para a agência noticiosa LUSA (Agência Portuguesa de comunicação) através dos gabinetes de comunicação do IPBeja e do INIAV (Portugal & Calha, 2025) (figura 2). Simultaneamente o alerta foi enviado para a maior Associação de Produtores de Milho e diversas plataformas digitais ligados ao setor; foi também enviado um Póster para ser afixado em Associações de produtores, Cooperativas, pontos de venda de fatores de produção. E no dia 30 de março de 2026 saiu um artigo de divulgação no sítio de uma das revistas técnicas com maior divulgação no país (Voz do Campo) <https://vozdocampo.pt/arquivo/55806>.



Figura 1. Presença de populações de *A. palmeri*



Figura 2. Nota de Alerta

3. Espécie de risco nos locais onde se torna invasora

Existem três aspetos particularmente relevantes desta espécie dióica que merecem a máxima atenção. Em primeiro lugar a sua capacidade de produzir uma quantidade massiva de sementes. Uma única planta feminina, em condições ideais e sem competição, pode produzir entre 200.000 e 600.000 sementes (USDA, 2020). Esta elevada fertilidade significa que um único indivíduo feminino que escape ao controlo pode povoar rapidamente uma área inteira com sementes que transportam as suas características genéticas. O que pode conduzir a que o banco de sementes atinja valores acima de um bilião de sementes por hectare (EPPO, 2020). Acresce que a dispersão destas sementes minúsculas (1 a 1,2 mm de diâmetro) é facilitada por múltiplos fatores, como são o vento e a água, porém o principal fator de disseminação a longa distância é a atividade humana e a via mais crítica o transporte de sementes em maquinaria agrícola (USDA, 2020). Esta característica torna a erradicação a um desafio complexo, exigindo um controlo contínuo para esgotar gradualmente o banco de sementes. O segundo aspeto relevante que torna a gestão da espécie complexa resulta das populações que chegaram à Península Ibérica apresentarem resistência a múltiplos herbicidas com diferentes modos de acção. Atualmente, de acordo com a classificação do HRAC - Herbicide Resistance Action Committee, está confirmada elevada resistência a oito grupos principais de herbicidas, designadamente inibidores – da ALS (2), da SAH (4) da Proteína D1 (5); da EPSPS (9) da PPO (14) da biosíntese de VLCFA (14) e de herbicidas hormonais (27) (Heap, 2026). Acresce o facto de já se terem registados vários casos de resistência múltipla, até cinco modos de ação diferentes. O terceiro aspeto relevante diz respeito à espécie ser muito competitiva em culturas de primavera-verão, causando perdas de rendimento que podem variar entre 6% a 94% em culturas como milho, algodão, amendoim e soja (USDA, 2020).

Os aspetos mencionados contribuem para o seu sucesso como espécie invasora tendo-se transformado numa das mais difundidas, problemáticas e prejudiciais infestantes a nível global, o que torna uma planta de “risco elevado” nos países onde é introduzida.

4. Aprender e cooperar com Espanha

A ocorrência de *A. palmeri* em Portugal não é um evento isolado, mas sim parte da sua expansão na Península Ibérica, onde a espécie está presente desde 2007. A primeira deteção em Espanha ocorreu nas províncias de Lleida (Catalunha) (Recasens & Conesa, 2011; Ward, 2013). Desde então, e de acordo com informação prestada pela PalmerNet, uma rede formada em Espanha para o estudo do *A. palmeri* (Torra *et al.*, 2023), a infestante expandiu-se para outras regiões do país, incluindo Aragão, Extremadura y Catalunha. Por seu lado as áreas portuárias e industriais foram consideradas como potenciais pontos de entrada (PalmerNet, 2025).

A experiência espanhola demonstra a rapidez da sua propagação e, mais importante, a capacidade da espécie desenvolver resistência a herbicidas. Já foram confirmados biótipos de *A. palmeri* em Espanha resistentes a herbicidas inibidores de ALS, com a resistência ligada a mutações genéticas específicas (Trebol-Aizpurua *et al.*, 2025). Recentemente, uma população foi também identificada como provável resistência ao glifosato (Trebol-Aizpurua *et al.*, 2025).

Tendo em consideração a dificuldade da gestão do *A. palmeri* vários trabalhos têm sido realizados estudos procurando programas de herbicidas no sentido de dar a melhor resposta em cada região, porquanto já se verificou que, por toda a Espanha existem populações com diferentes origens (Llenes *et al.*, 2024; Manicardi, *et al.*, 2023). Esta e outra informação relevante encontra-se centralizada na já mencionada plataforma *PalmerNet*, que partilha entre os parceiros e junto de técnicos e agricultores informação relevante sobre a espécie invasora. Dou aqui nota que a circunstância de termos participado numa Jornada Técnica organizada pela *PalmerNet*, levada efeito em junho de 2025 (Merida), foi importante para a identificação da espécie nos levantamentos efetuados no Ribatejo no mês seguinte (julho). Chama-se também a atenção de que Espanha desenvolveu uma ferramenta de agricultura digital – denominada DIGINVASIVE – a fim de mapear e monitorizar o *A. palmeri* em campos agrícolas. Esta ferramenta visa que os utentes estabeleçam as medidas de prevenção e erradicação necessárias para a gestão da espécie (de Castro *et al.*, 2024).

Como já vimos as atividades da *PalmerNet* foram fundamentais na identificação do *A. palmeri* em Portugal, pelo que se julga que a colaboração com os centros de investigação de Espanha que trabalham nesta temática seria bastante vantajosa.

5. Conclusões

Na fase atual a abordagem ao problema deve passar pela divulgação da presença da espécie e como a identificar; como evitar a sua disseminação; ser dada prioridade à erradicação dos focos iniciais para prevenir o estabelecimento e a dispersão generalizada.

O conhecimento da progressão da invasora em Espanha e os sistemas adotados na sua gestão são áreas que devem ser acompanhadas em Portugal.

A inação poderá resultar em perdas de rendimento significativas e em desafios económicos e de gestão de longo prazo.

Referencias

- ANPROMIS – Associação Nacional de Produtores de Milho Sorgo (2026) Disponível em: <https://anpromis.pt/dados-estatisticos.html> [Consultado a 11 de maio de 2026].
- BULLETIN OEPP/EPP0 BULLETIN (2020) 50, 535-542 Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/epp.12715?af=R> [Consultado a 11 de maio de 2026].
- DE CASTRO A, MESSÍAS-RUIZ GA, LLENES, JM, DORADO J, RECASENS J & PEÑA JM (2024) DIGINVASIVE: Sistema de alerta y control de especies invasoras. Caso de estudio: *Amaranthus palmeri*. Revista de Ciências Agrárias, 47,195-200.
- CULPEPPER AS, WEBSTER TM, SOSNOSKIE LM & YORK AC (2010) Glyphosate Resistant *Palmer Amaranth* in the United States. En VK NANDULA VK (Ed). Glyphosate Resistance in crops and weeds. Lugar: John Wiley & Sons, Inc, pp. 195-212.
- HEAPI (2026) The International Herbicide-Resistant Weed Database. Disponível em: www.weedscience.org [Consultado a 9 de maio de 2026].

INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2026) Disponível em: <https://anpromis.pt/dados-estatisticos.html> [Consultado a 9 de maio de 2026].

LLENES JM, MONTULL JM & BELLVER J (2024) Ensayo de diferentes estrategias de control de *Amaranthus palmeri* con herbicidas en cultivo de maiz en Cataluña. Revista de Ciências Agrárias, 47, 212-216.

MANICARDI A, MILANI A, SCARABEL L, MORA G, RECESSENS J, LLENES JM, MONTULL JM & TORRA J (2023) First report of glyphosate resistance in an population *Amaranthus palmeri* from Europe. Weed Research, 65, 1-6.

EPPO (2014) *Amaranthus palmeri* in the EPPO region: addition to the EPPO Alert List. Disponível em: <https://gd.eppo.int/reporting/article-3250> [Consultado a 15 de setembro de 2025].

PALMERNET (2025) Rede para o estudo do *Amaranthus palmeri*. Disponível em: <https://redpalmer.net/> [Consultado a 9 de maio de 2026].

PORTUGAL J & CALHA IM (2025) Nova Planta Invasora de Culturas Anuais de Primavera-Verão *Amaranthus palmeri* S. Nota de alerta. Disponível em: https://www.ipbeja.pt/Documents/Docs%20Noticias/2025/nota_de_alerta_nova_planta_inv_asora_das_culturas_31072025.pdf [Consultado a 9 de maio de 2026].

RECASEANS J & CONESA (2011) Presencia de la mala hierba *Amaranthus palmeri* en NE de la Península Ibérica. Una amenaza como potencial invasor de cultivos extensivos de regadío. Boletín Sanidad Vegetal. Plagas, 37, 129-132.

TORRA J, MANICARDI A, MONTULL JM, LLENES JM, PARDO G, MARÍ AI, CIRUJEDA A, OSUNA MD, LOUREIRO I, PEDROL N & RECASENS J (2023) PalmerNet, nueva red para el estudio en España de la problemática de *Amaranthus palmeri*. Vida Rural, 540, 24-28.

TREBOL-AIZPURUA E, ECEIZA MV, JIMENEZ-MARTINEZ C, MARI AI, ROYUELA

M, ZABALZA A & GIL-MONREAL M (2025) Resistance to aminoacid biosynthesis inhibiting-herbicides in *Amaranthus palmeri* populations from Aragon (Spain). Plants, 14, 1505.

USDA (2020) Weed Risk Assessment for *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) – Palmer's amaranth. Disponível em: <https://www.aphis.usda.gov/sites/default/files/amaranthus-palmeri.pdf> [Consultado a 9 de maio de 2026].

WARD SM, WEBSTER TM & STECKEL LE (2013) Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*): A review. Weed Technology, 27, 12-27.

P2. *Amaranthus tuberculatus* potencial ameaça de culturas regadas em Portugal

P2. *Amaranthus tuberculatus* a potencial threat to irrigated crops in Portugal

CALHA IM^{1,2,*}, TORRA J³, PORTUGAL J^{4,5}

¹Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, Oeiras, Portugal; ²Green-IT Sustainability for Crops, Universidade Nova, Oeiras, Portugal; ³Universidad de Lleida, Lleida, España; ⁴Departamento de Biociências, Instituto Politécnico de Beja, Beja, Portugal; ⁵MED Instituto Mediterrâneo para a Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento & CHANGE Global Change and Sustainability, Évora, Portugal

DOI: 10.20350/digitalCSIC/29314

*E-mail: isabel.calha@iniav.pt

Amaranthus tuberculatus (Mog.) J. D. Sauer é considerado como sinónimo de *Amaranthus rudis* J. D. Sauer, com base no facto de representarem os extremos morfológicos do continuum de uma única espécie. *Amaranthus tuberculatus* var. *tuberculatus* é o objeto deste estudo e será designada, de forma abreviada, por *A. tuberculatus*. *A. tuberculatus* é uma planta herbácea, anual e invasora em ecossistemas temperados. Cresce habitualmente em zonas húmidas e margens de rios (nome comum «waterhemp»), mas pode invadir campos irrigados de culturas de primavera. Nos EUA, esta espécie foi detectada em plantações de milho e soja, bem como terrenos baldios. Características como crescimento rápido, o transporte do pólen pelo ar e dispersão das sementes pela água são fatores que facilitam a invasão desta espécie em novos habitats. Além disso, cada planta produz um grande número de sementes pequenas (35.000-1.200.000), que são dispersas com sucesso através de margens de rios e canais de irrigação, uma vez que tanto as sementes como os frutos flutuam facilmente. Atualmente, é considerada uma infestante muito problemática nos EUA, cada vez mais difícil de controlar devido à evolução de resistência aos herbicidas nos últimos 10 anos. A nível mundial, existem populações resistentes a sete modos de ação diferentes, com resistência única ou múltipla a inibidores de ALS, PSII, EPSP, PPO e VLCH, bem como a inibidores de HPPO (apenas resistência múltipla). Na Europa, está atualmente naturalizada nos países nórdicos e da Europa-central, Rússia e Ucrânia, nas Balcãs, nos países mediterrânicos, em particular Itália, Espanha e agora Portugal. Foi detetada pela primeira vez em 2024 na bacia do Tejo (Ribatejo, Centro de Portugal), ao longo das margens dos rios Tejo, Almonda e Sorraia. Até ao momento, não há relatos da presença da espécie em campos de milho. No entanto, no Ribatejo, a proximidade das margens dos rios torna o *A. tuberculatus* uma grande ameaça para as culturas de primavera, com o desafio da invasão de populações já resistentes a vários herbicidas. Esta espécie e *A. palmeri* (recentemente introduzido em Portugal) são as duas únicas espécies dioicas de *Amaranthus* em Portugal e podem ser facilmente distinguidas, na maturidade, de outras espécies monóicas. Apresenta-se a sua caracterização morfológica de *A. tuberculatus*, a sua distribuição e os riscos que representa para Portugal.

Palavras chave: Infestante, planta invasora, *Amaranthus*, Portugal, galerias ripícolas, resistência.

Amaranthus tuberculatus (Mog.) J. D. Sauer is synonymy of *Amaranthus rudis* J.D. Sauer on the basis that they represent the morphological extremes of a simple species continuum. The variety under study is *Amaranthus tuberculatus* var *tuberculatus*. *A. tuberculatus* is a herbaceous, annual, invasive weed in temperate ecosystems. It commonly grows in wetlands and river banks (common name 'waterhemp') but could invade irrigated fields of Spring crops. In The US this species has been recorded invading maize and soybean plantations as well as waste places. Features such as fast-growing, weed behaviour, airborne pollen, and water dispersed seeds are facts facilitating the invasion of this species into new habitats. In addition each plant produces large number of small seeds (35,000-1,200,000), which are successfully dispersed through water banks and irrigation channels as both seeds and fruits can float easily. Currently, it is considered a very troublesome weed in US, where it become increasingly difficult to control during the last past 10 years due to herbicide resistance. Worldwide, there are populations resistant to seven different modes of action with single or multiple resistance to ALS-, PSII-, EPSP-, PPO- and VLCH-inhibitors and also to HPPO-inhibitors (only multiple resistance). In Europe, it is currently naturalized in Italy, Croatia, Serbia, Spain, Israel and now Portugal. It was first detected in 2024 in Tagus basin (Ribatejo, Center Portugal), along river banks of Tagus, Almondega and Sorraia. So far, there are no reports of the species inside crop fields. However in Ribatejo, the vicinity of water banks makes *A. tuberculatus* a major threat to Spring crops with the challenge of invasion of populations already resistant to several herbicides. *A. tuberculatus* and *A. palmeri* (recently introduced in Portugal) are the two only dioecious *Amaranthus* species in Portugal and could be easily distinguished at maturity from other monoecious species. The morphological characterization and distribution of *A. tuberculatus* in Portugal is presented.

Keywords: Alien plant species, Amaranth, waterhemp, Portugal, riparian habitats, weed.

1. Caracterização e Identificação

Amaranthus L. é um género com cerca de 70 espécies, na sua maioria anuais, monóicas e dióicas, com distribuição mundial. Aproximadamente 40 espécies são nativas das Américas, sendo as restantes originárias de outros continentes (Costea *et al.*, 2005). Este género é crucial do ponto de vista taxonómico devido à sua elevada variabilidade fenotípica, o que conduziu a uma confusão na nomenclatura e à aplicação incorreta de nomes (Costea *et al.*, 2005; Iamónico 2015). *A. tuberculatus* (Mog.) J. D. Sauer é considerado como sinónimo de *A. rudis* J. D. Sauer, com base no facto de representarem os extremos morfológicos do continuum de uma única espécie. Costea *et al.* (2005) recomendam que a variedade em estudo seja especificada. A espécie objecto deste estudo é *A. tuberculatus* var. *tuberculatus*.

1.2 Descrição

Plantas com 10-20 dm de altura, dióicas, anuais (terófitas). Caules eretos ou ascendentes, glabros, frequentemente avermelhados, ramificados. Folhas verdes a avermelhadas, ovais a lanceoladas-lineares [2,0-12,0 cm × 0,8-2,5 cm], com margens inteiras, ápice obtuso ou retuso, mucronulado, base cuneiforme, glabras, pecioladas (pecíolo com 0,5-5,0 cm de comprimento). Inflorescências terminais, do tipo espiga ou panícula (por vezes moniliformes interrompidas), eretas, geralmente avermelhadas, a inflorescência principal com até 50 cm de comprimento. Uma bráctea floral, verde a avermelhada, lanceolada [0,8-2,5 × 0,4-1,1 mm], tão longa ou ligeiramente mais longa que o perianto, por vezes carinada, ápice acuminado, margem inteira, glabra. Flores estaminadas com 5 tépalas, ovais a lanceoladas [1,8-3,0 × 0,5-1,1 mm], ápice obtuso ou agudo, com aresta (especialmente as tépalas internas), estames 5. Flores pistiladas sem tépalas ou com apenas uma tépala reduzida. Tépalas lanceoladas a lineares (até 1,5 mm de comprimento), estiletes ± eretos, com 3 estigmas. Fruto castanho-escuro a avermelhado, subgloboso ou elipsoidal [1,2-1,9 × 0,9-1,5 mm] com comprimento igual ou ligeiramente inferior ao do perianto, geralmente liso, deiscente. Floração de setembro a outubro. Semente lenticular [0,6-1,0 mm de diâmetro], preta ou castanho-avermelhada. Número de cromossomas: 2n = 32 (Costea *et al.*, 2005).

1.3 Bioecologia

Amaranthus tuberculatus é uma planta anual invasora presente em ecossistemas temperados. Cresce habitualmente em zonas húmidas e nas margens dos rios (nome comum «waterhemp»), mas pode invadir campos irrigados de culturas de primavera. Nos EUA, esta espécie foi registada a invadir plantações de milho e soja, bem como terrenos baldios. Características como o crescimento rápido, o transporte do pólen pelo ar (polinização anemófila) e a dispersão de sementes pela água -tanto sementes como frutos flutuam (hidrocoria) - são fatores que facilitam a invasão desta espécie em novos habitats. Além disso, cada planta produz um grande número de sementes pequenas (35.000-1.200.000), que formam bancos de sementes persistentes em áreas cultivadas (Costea *et al.*, 2005).

Não germina particularmente cedo na estação de crescimento, e possui germinação escalonada o que resulta na emergência de múltiplas coortes ao longo de grande parte da estação de crescimento. Mesmo que apenas alguns indivíduos de *A. tuberculatus* sobrevivam e se reproduzam num determinado campo, a sua elevada produção de sementes pode levar muito rapidamente a populações densas. As sementes são disseminadas pela água e podem percorrer distâncias muito longas através de intervenção humana (por exemplo, como contaminante em ceifeiras-debulhadoras) e por aves aquáticas (Milani *et al.*, 2021).

A natureza dióica do *A. tuberculatus* obriga ao cruzamento exogâmico, promovendo a variação genética e, consequentemente, a adaptabilidade. Tranel (2020) estimou, de forma conservadora, que, só em Illinois, a seleção para resistência pode ocorrer em 10 plantas de *A. tuberculatus* por ano.

2. Distribuição na Europa

De acordo com a EPPO, até 2020 esta espécie não tinha sido detetada em Portugal. No entanto, a sua presença foi confirmada em vários outros países: Bélgica, Bósnia-Herzegovina, República Checa, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Israel, Itália, Jordânia, Países Baixos, Roménia, Federação Russa, Espanha e Ucrânia (EPPO, 2020), e agora em Portugal. A outra espécie invasora de *Amaranthus* recentemente introduzida em Portugal, *A. palmeri*, foi referida pela primeira vez como presente na ilha da Madeira e chegou ao continente sete anos mais tarde.

Na sua área de distribuição nativa e introduzida, a espécie ocorre principalmente nas margens de corpos de água doce (rios, lagos e lagoas) e em zonas húmidas. Além disso, cresce com sucesso em habitats perturbados, tais como bermas de estradas, vias férreas e terrenos baldios, ou como infestante em campos cultivados e jardins (Costea *et al.*, 2005; Iamónico 2015). Fora da sua área de distribuição nativa, *A. tuberculatus* é reconhecida principalmente como uma espécie exótica efémera ou naturalizada (Tranel, 2020).

3. Risco da sua presença em Portugal

Apesar de apenas ter sido identificada nas galerias ripícolas, esta espécie continua a ser uma ameaça para as culturas regadas, como o milho, considerando a proximidade dos campos de cultura de valas e canais que ligam o sistema de rega às galerias ripícolas dos principais rios e afluentes da bacia hidrográfica do rio Tejo. Aspectos da sua biologia, como a elevada prolificidade seminal e a facilidade de dispersão pela água, agravam este risco.

Após uma primeira prospeção realizada em 2024, num percurso de 60 km ao longo do rio Tejo abrangendo populações de 1 a >10.000 indivíduos, foi realizada uma segunda avaliação para confirmar se a espécie já tinha invadido os campos de cultivo, em particular o milho, o principal sistema de produção no Ribatejo.

O trabalho de campo foi realizado no verão de 2025 na Bacia hidrográfica do Tejo (Centro de Portugal), centrado na monitorização da vegetação aquática e ribeirinha dos cursos de água, abrangendo o

curso principal e os afluentes dos rios Almonda e Sorraia, bem como os campos de milho nas proximidades: Golegã, Vale Figueira e Pombalinho. Não foi detectado no interior nem na bordadura de campos de milho. Em cada localidade, foram recolhidos indivíduos para posterior identificação, secos e depositados na coleção do herbário LISI (Herbário João de Carvalho e Vasconcelos).

A dispersão de sementes a longa distância pode ter ocorrido através de sementes comerciais ou rações animais contaminadas. A dispersão a curta distância (0-30 km) pode ter resultado de maquinaria ou esturme contaminados, enquanto a dispersão a média distância é provavelmente consequência de eventos de irrigação e precipitação, bem como do transporte por animais selvagens migratórios (Milani *et al.*, 2021). Por outro lado a história de invasão noutros países da Europa, revela que as sementes carregam já o peso da selecção para resistência a que foram submetidos nos países de origem no continente americano.

A cronologia da resistência aos herbicidas em *A. tuberculatus*, adaptada de Tranel (2020), é apresentada na figura 1. Segundo este autor, o *A. tuberculatus* é das infestantes mais problemáticas do mundo em termos da sua capacidade de desenvolver resistência aos herbicidas. Atualmente, conhecem-se casos de resistência a herbicidas que abrangem sete sítios de acção distintos, com populações e até mesmo plantas individuais a possuírem frequentemente resistência a vários herbicidas/grupos de herbicidas (Heap, 2026). Na Europa, em Itália, foi confirmada a resistência de várias populações de *A. tuberculatus* a herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ALS) (Milani *et al.*, 2021).

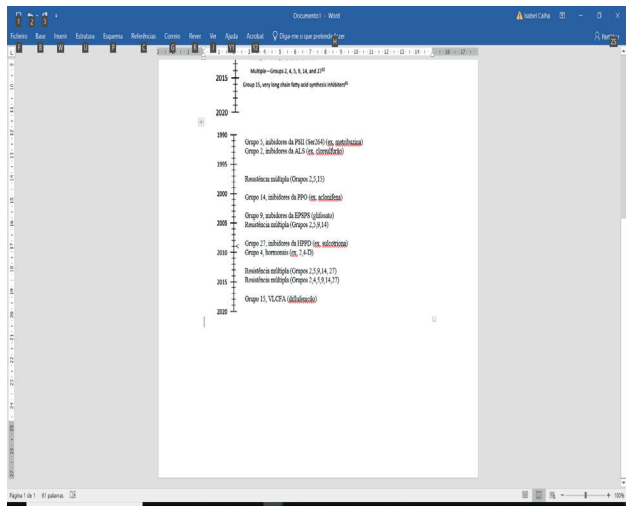


Figura 1. Cronologia da evolução da Resistencia a herbicidas em *Amaranthus tuberculatus*. Data da primeira ocorrência por modo de acção de acordo com a classificação HRAC (2020). Adaptado de Tranel (2020).

4. Biovigilância

A biovigilância é uma abordagem de investigação que estuda e antecipa os efeitos não intencionais da introdução de plantas invasoras e novas pragas, com o objetivo de adaptar as práticas agrícolas para fazer face a estes novos desafios. A biovigilância inclui seis etapas interligadas por um feedback cíclico:

1) sensibilização, 2) deteção ou identificação, 3) avaliação, 4) compreensão, 5) mitigação e 6) adequação. O objetivo principal da biovigilância é fornecer um quadro para uma resposta mais rápida, flexível e eficaz às novas invasões. Recomenda-se adaptar o continuum de biovigilância à espécie invasora *A. tuberculatus* de forma a desenvolver orientações futuras para a sua erradicação e contigência (Carisse *et al.*, 2017; Sharpe *et al.*, 2024).

Na fase atual, a abordagem ao problema deve passar pela divulgação da presença da espécie e como a identificar; como evitar a sua disseminação; dar prioridade à erradicação dos focos iniciais para prevenir o estabelecimento e a dispersão generalizada no país.

Referencias

CARISSE O, FALL ML & VINCENT C (2017) Using a biovigilance approach for pest and disease management in Quebec vineyards. *Canadian Journal of Plant Science*, 39, 93-404.

COSTEA M, WEAVER SE & TARDIF FJ (2005) The biology of invasive alien plants in Canada. 3. *Amaranthus tuberculatus* (Moq.) Sauer var. *rudis* (Sauer). *Canadian Journal of Plant Science*, 85, 507-522.

EPPO/OEPP (2020) DataSheet on Pest recommended for Regulation. *Amaranthus tuberculatus* (Mog) J. D. Sauer. *Bulletin Oepp/Eppo Bulletin*, 50, 543-548.

HEAP I (2026) The International Herbicide-Resistant Weed Database. Disponível em: www.weedscience.org [Consultado a 9 de maio de 2026].

HRAC (2020) Mode of Action Classification 2020. Disponível em: <https://hracglobal.com> [Consultado a 9 de maio de 2026].

IAMONICO D (2015) Taxonomic revision of the genus *Amaranthus* (Amaranthaceae) in Italy. *Phytotaxa* 199. Magnolia Press, 01-84.

MILANI A, ULRICH L, GALLA G, SCARABEL L, WEIGELB D & SATTIN M (2021) Population structure and evolution of resistance to acetolactate synthase (ALS)-inhibitors in *Amaranthus tuberculatus* in Italy. *Pest Management Science*, 77, 2971-2980.

SHARPE SM, SARA L. MARTIN, ERIC R. PAGE & CHARLES M. GEDDES (2024) Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Wats.) and waterhemp (*Amaranthus tuberculatus* (Moq.) J.D. Sauer) biovigilance in Canadian agro-ecosystems. *Canadian Journal of Plant Science*, 104, 277-297.

TRANEL PJ (2020) Herbicide resistance in *Amaranthus tuberculatus*. *Pest Management Science*, 77, 43-54.



Índice de autores

ABRIL B.....	231	CORDEAU S.....	41
ABU-NASSAR J.....	243	COSTAFREDA R.....	177
ADEUX G.....	41, 243	CUBI M.....	203
AGUADO P.....	237	DE CASTRO A.....	147, 171, 345, 351
AGUIAR FC.....	339	DE LOS RÍOS N.....	109
AIBAR J.....	41	DE SANTIAGO A.....	307
ALARCÓN-VÍLLORA MR.....	71, 97, 103	DI MERCURIO M.....	109
ALFONSO-CAMPILLO A.....	333	DOMINGO A.....	29
ALONSO-PRADOS JL.....	289	DORADO J.....	123, 129, 135, 147, 351
ÁLVAREZ-BERMÚDEZ A.....	89	DURFEE N.....	191
ANDÚJAR D.....	141, 147, 171, 351	ESPINOSA-ESCRIG F.....	249
ARCAYA A.....	177	FERREIRA V.....	339
ARMENGOL G.....	203	FORMICA V.....	109
BARAIBAR B.....	23, 29, 53, 65, 71, 77, 153	FORTE P.....	339
BARRANCO-ELENA D.....	23, 29, 65, 153	FRIED G.....	41
BARREAL E.....	185	GABRIEL JL.....	59
BARROSO J.....	191	GALLIFA E.....	203
BASTIDA-ALBADALEJO P.....	109	GARCÍA B.....	283
BATLLA D.....	97	GARCÍA DE LEÓN D.....	83
BINDER J.....	243	GARCÍA-GUERRA J.....	47, 71, 115, 135
BONA N.....	71	GARNICA I.....	333
BORRA-SERRANO I.....	129, 135	GIL-MONREAL M.....	269, 295, 319, 333
BOSAZ L.....	103	GÓMEZ COPETE J.....	29, 65
CABALLOL M.....	53	GONZÁLEZ-ANDÚJAR JL.....	71, 83
CABRAL AIR.....	339	GONZÁLEZ-GARCÍA E.....	35, 89
CALHA IM.....	243, 357, 363	GONZALEZ-VELAZQUEZ MM.....	283
CAMPOS D.....	351	HERNÁNDEZ PLAZA E.....	71, 103
CASTILLO-MALLA D.....	135	IBAÑEZ L.....	295
CATALÀ-FORNER M.....	259	IZQUIERDO J.....	71, 203, 255
CERVANTES-DIAZ A.....	289	JENSEN PK.....	243
CHACHALIS D.....	243	JIMÉNEZ-MARTÍNEZ C.....	269, 277
CHORNET F.....	249	KONSTANTINOVIC B.....	243
CIRUJEDA A.....	41, 71, 197, 219, 231	LAZARO D.....	231
CODINA-PASCUAL N.....	191	LÁZARO-LÓPEZ A.....	345

LLENES JM	159, 277, 327, 345	OLIVA J.....	53	SANTÍN-MONTANYÁ ML.....	59, 71, 237, 289
LLOP JM	327	OREJA FH	191	SANTOS M.....	283
LOBATO-VEGA N.....	345, 351	OSORNO R.....	59	SIMÓN LL	219
LÓPEZ FJ.....	129	OSUNA MD.....	243, 283, 307, 345	SOLER J.....	255
LÓPEZ-GONZÁLEZ D	35, 89	PALMERIN JA.....	283, 307	SOSTARCIC V	243
LÓPEZ-PERIAGO JE	185	PANACCI E.....	243	SOUZA JF	165
LOZANO-JUSTE J.....	269	PARDO G.....	41, 71, 197, 219, 231	SYNOWIEC A	243
MACHADO AFL.....	165	PARDO-MURAS M	185	THERISOD F	29, 65
MALABOT KN	249	PAVÓN G	283	TORRA J.....	225, 269, 277, 301, 363
MALLOL C.....	177	PAZOOKI H.....	109, 249	TORRES L.....	249
MALUQUER J.....	23, 29, 65, 77	PEDROL N	185	TORRESEN KS	243
MANICARDI A.....	269, 277, 301	PEÑA JM.....	129, 135, 147, 165, 171, 345, 351	TORRES-PAGÁN N.....	35, 109, 249
MARCO-GALIANO C.....	109, 249	PÉREZ-MÉNDEZ N	259	TREBOL-AIZPURUA E	295, 319, 333
MARÍ AL.....	333, 345	PÉREZ-ROSS FJ.....	283	ULBER L.....	243
MARTÍNEZ Y.....	197	PISKACKOVA T	243	ULUDAG A.....	243
MARTINEZ-BERNAL V	109	PLA E.....	259	UREMIS I	243
MAS MT	313	POBES-BAILO V.....	109, 249	URZUA C.....	203
MATAS M	203	PORCEL MA	59, 71	VEAS A.....	203
MEDINA-VILLAR S	71, 103	PORTUGAL J.....	357, 363	VERDEGUER M	35, 109, 249
MENA JD	135	PUEYO J.....	41, 71, 219, 231	VERDÚ AMC.....	313
MÉNDEZ GRANO DE ORO L.....	283, 307	PUIG CG.....	185	VIEITES-ÁLVAREZ Y	35, 89
MENDONÇA BAF	165	RECASENS J	23, 29, 65, 209, 225, 301	VILAPLANA D	209
MENÉNDEZ J	301	RIBES-BARGUES M.....	237	VILAR I.....	159
MESÍAS-RUIZ GA	129, 135	RIVERA G	141, 171	VILLAR MP.....	71
MONTULL JM.....	147, 159, 177, 225, 277, 327	RODRÍGUEZ-GARCÍA D	109, 249	WUEST SB.....	191
MORA G.....	269, 277, 301	RODRÍGUEZ-MARTÍN JA.....	59, 345	ZABALZA A.....	295, 319, 333
MORAGAS P.....	65	ROYO-ESNAL A.....	71, 225, 243	ZARAGOZA C	41
MORENO H.....	141, 171	ROYO-SIMONELLA LA	97, 103	ZIGOLO I.....	177
NAVARRO-ROCHA J.....	197	ROYUELA M.....	295, 319, 333		
NDOU V	191	RUEDA-AYALA C.....	345, 351		
NECAJEVA J.....	243	SAN JUAN-HERAS R.....	59		
NIETO-TALADRIZ MT.....	237	SÁNCHEZ AM	219		
NIKOLIC N	243	SÁNCHEZ-MOREIRAS AM	35, 89		
NUÑEZ-GIMÉNEZ M.....	97	SANDÌN-ESPAÑA P.....	289		

Organizadores



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

MaX
MARCO DE
AUTOEVALUACIÓN DE LA
EXCELENCIA



INSTITUTO DE
CIENCIAS
AGRARIAS



INIA
Instituto Nacional de Investigación
y Tecnología Agraria y Alimentaria

Patrocinadores FAMILIA

FMC

An Agricultural
Sciences Company



Patrocinadores GÉNERO



KENOGARD
CULTIVAMOS LA INVESTIGACIÓN • 研究深耕
by SUMITOMO CHEMICAL

syngenta®



Rainbow
all about growing

Gowan®
ESPAÑA

CORTEVA™
agriscience

Patrocinadores ESPECIE



NICHINO



SIPCAM
IBERIA