



CIMh · arroz

Grupo Operativo Regional

Proyecto innovador

Control Integrado de Malas Hierbas de Arroz

DOCUMENTO FINAL

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Sostenible



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural:
Europa invierte en las zonas rurales

Proyecto cofinanciado por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en un 85% dentro del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Extremadura 2014-2022, en la medida 16 "Cooperación" submedida 16.1 "Ayuda para la creación y el funcionamiento de grupos operativos de la AEI en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas", siendo el resto cofinanciado por la Junta de Extremadura en un 11,28% y por el Estado, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en un 3,72%.

índice

1. Introducción	03
2. Objetivos	04
OE1. Evaluación de la sostenibilidad del sector arrocero a largo plazo	04
OE2. Elaboración de mapas de resistencias	04
OE3. Desarrollo de nuevas estrategias de control de malas hierbas en las principales regiones arroceras de Extremadura	04
3. Datos preliminares	05
4. Resultados	06

Introducción

El cultivo del arroz es para Extremadura uno de los principales motores del asentamiento poblacional a las Vegas del Guadiana y, en estos últimos años, se ha ido observando una disminución paulatina en su cultivo debido principalmente a la bajada de rentabilidad por el estancamiento de los precios del arroz, y al aumento de los costes de producción (mayoritariamente en herbicidas por la falta de control que presentan las malas hierbas). Las materias activas disponibles en la actualidad para el control de malas hierbas en el cultivo del arroz están concentradas en dos modos de acción: inhibidores de la ACCasa e inhibidores de la ALS. De esta manera está creciendo de forma alarmante el número de casos de aparición de poblaciones de malas hierbas resistentes a dichos grupos de herbicidas. La posibilidad de aparición de nuevas materias activas en un espacio de tiempo corto parece muy limitada; para evitar un incremento desmesurado de las resistencias, que pudiera poner en peligro la viabilidad del cultivo, es necesario realizar una serie de medidas para un manejo adecuado de estas resistencias. Con este proyecto se pretende establecer las mejores estrategias de control fitosanitario integrando conjuntamente, métodos agronómicos y culturales asociados a los químicos para el control de las malas hierbas. Se pretende aumentar la eficacia combinando, la siembra en seco para el ahorro de agua, la eficacia de los tratamientos para el control de malas hierbas y la disminución de la huella de carbono con la gestión del residuo de cosecha. Mejorando con ello la productividad, manteniendo los cánones de una agricultura sostenible, utilizando al máximo los recursos, pero respetando el medio ambiente, todo ello, en su importantísima contribución frente al cambio climático y sin perder de vista las repercusiones sobre la calidad del producto terminado.



Objetivos

El objetivo principal de este grupo operativo es encontrar soluciones adecuadas y sostenibles en las diferentes zonas arroceras en Extremadura, destinadas a resolver el problema del control de las malas hierbas más problemáticas del cultivo, principalmente en lo que a gestión de resistencias se refiere.

Esto comprende a todos los agentes integrantes básicos de la cadena agroalimentaria desde el sector productivo hasta la industria, en todas sus dimensiones relevantes: espacial/territorial, temporal (ciclos productivos/fechas de siembra), producción (rendimientos, calidad de grano), restricciones en la disponibilidad de recursos hídricos, principales malas hierbas presentes y/o casos de resistencia a herbicidas, etc., por medio de la determinación específica y precisa de las acciones futuras para el desarrollo de herramientas que faciliten la adopción de decisiones adecuadas por parte de los agentes implicados, proporcionándoselos de forma accesible, abierta y operativa.

El alcance de este objetivo general implica la realización de los siguientes objetivos específicos o hitos:

OE1. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DEL SECTOR ARROCERO A LARGO PLAZO.

Realización de una encuesta para identificar las principales problemáticas en diferentes zonas arroceras y como el agricultor las afronta con las herramientas que posee en la actualidad, para partir de las fortalezas/debilidades que nos encontramos en campo.

Identificación y caracterización de áreas y zonas agroclimáticas específicas, idóneas para el cultivo eficiente y sostenible del cultivo. Esto incluirá orientaciones productivas seleccionadas, incluyendo las principales variedades de la zona y las pruebas de adaptación de variedades singulares. Desarrollo de modelos operativos, basado en variables, indicadores y modelos eco fisiológicos, que proporcionen la base para la elección de zonas idóneas para el cultivo en cada caso.

OE2. ELABORACIÓN DE MAPAS DE RESISTENCIAS.

Un mapa de distribución de la resistencia a los herbicidas en las distintas zonas arroceras permitirá identificar las situaciones de mayor y menor riesgo de resistencia, identificar los factores que favorecen o reducen la resistencia y buscar, en un enfoque sistemático, soluciones para indicar a los agricultores los herbicidas con modos de acción alternativos que son eficaces y que pueden integrar los programas regionales de control de las malas hierbas.

OE3.- DESARROLLO DE NUEVAS ESTRATEGIAS DE CONTROL DE MALAS HIERBAS EN LAS PRINCIPALES REGIONES ARROCERAS DE EXTREMADURA.

Implementación y evaluación de estrategias de gestión de la resistencia adquirida a los herbicidas, contribuyendo a la sostenibilidad del agroecosistema arrocero desde el punto de vista económico, social y medioambiental.

Desarrollo y validación, en cada caso, de métodos y prácticas singulares –novedosas o mejoradas- estableciendo experiencias piloto en campo donde se diseñen programas de control específico para las malas hierbas incluyendo las innovaciones planteadas.



Datos preliminares

Extremadura representa el 19% del arroz que se produce en España, distribuidas concretamente en un total de 21.190 hectáreas y con un rendimiento en esta campaña de 7,20 toneladas por hectárea, concentrando además el 21% de la superficie nacional destinada a este cultivo (fuente. Cooperativas Agroalimentarias Extremadura). La superficie cultivada ha disminuido en los últimos años en Extremadura, debido principalmente a la bajada de rentabilidad del cultivo. Esto, además de deberse al estancamiento de los precios de este cereal, situación similar a otros sectores agrarios, también se asocia a un aumento de los costes de producción, siendo el de mayor incidencia en este aspecto el incremento en el uso de los herbicidas, que supone en torno al 80 % de los costes de los productos fitosanitarios utilizados en el cultivo.

La capacidad que tienen las malas hierbas gramíneas y ciperáceas de incidir con gran fuerza y frecuencia en los campos cultivados con arroz se expresa en las altas tasas de emergencia, crecimiento y desarrollo inicial, para lo cual se requiere de una planificación especial para la implantación de un manejo integrado de malas hierbas. Cuando esto no sucede, se recurre a la dependencia de una única solución basada en la excesiva utilización de herbicidas, con la finalidad de disminuir la competencia impuesta a las plantas de arroz.

Una dificultad añadida a la problemática de las malas hierbas en el cultivo del arroz es la situación de las soluciones fitosanitarias disponibles, en la actualidad estando la mayoría de las materias activas autorizadas están concentradas en dos modos de acción: inhibidores de la ACCasa e inhibidores de la ALS.

En Extremadura tenemos confirmados múltiples casos de resistencia en *Echinochloa* ssp. y *Leptochloa* spp. a inhibidores de la ACCasa y de la ALS y varios casos resistencia en *Cyperus difformis* a inhibidores de la ALS. Es importante llevar a cabo una serie de medidas para un manejo adecuado de estas resistencias, para evitar un aumento desmesurado de las mismas. En los últimos años se han retirado del cultivo cuatro materias activas, de cuatro grupos de acción distintos a los autorizados actualmente.

La posibilidad de aparición de nuevas materias activas en un corto espacio de tiempo parece muy limitada; es por ello que aunar esfuerzos del sector arrocero en su totalidad para evitar un incremento desmesurado de las resistencias se hace necesario para evitar que se ponga en peligro la viabilidad del cultivo.

La aparición de biotipos resistentes a herbicidas y la falta general de control, implica un uso más adecuado de las soluciones disponibles, utilizar otros medios de control, como falsas siembras, siembras sobre terreno seco, con empleo de herbicidas que se encuadran en grupos con diferentes modos de acción.

En Extremadura se ha tenido consciencia del problema desde hace años, y por ello se ha producido un cambio en la manera de sembrar el cultivo. Los agricultores, han avanzado en técnicas agronómicas que mejoran la competitividad del arroz frente a las especies arvenses.

Resultados

Diagnóstico sectorial del manejo de malas hierbas

Se diseñó y difundió una encuesta, con apoyo de redes sociales y cooperativas, obteniéndose información directa de agricultores (72,7%) y técnicos (27,3%) de la región. Los resultados reflejan una transición generalizada hacia la siembra en seco (90,9% de los casos), lo que supone un cambio estructural en las condiciones del cultivo del arroz en Extremadura.

Las principales malas hierbas identificadas fueron *Echinochloa* spp., arroz rojo (*Oryza sativa* var. *sylvatica*) y *Cyperus* spp., seguidas por *Alisma* spp., *Heteranthera* spp. y *Leptochloa* spp., evidenciando una problemática mixta de gramíneas, ciperáceas y especies de hoja ancha.

Las prácticas culturales aplicadas —como el manejo del agua, limpieza de maquinaria, aumento de densidad de siembra o control manual— están presentes, aunque no de forma sistemática. El uso de herbicidas continúa siendo la estrategia predominante, destacando productos como cicloxidim y propaquizafop (PRE), y bensulfuron y bentazona (POST), lo que incrementa el riesgo de desarrollo de resistencias.

Adicionalmente, se identificó un alto interés por estrategias alternativas como la quema controlada de rastrojos, la mejora de técnicas de siembra y el empleo de variedades competitivas frente a malas hierbas, pese a las limitaciones normativas para algunas de estas prácticas.

Zonificación agroclimática funcional de la comarca

A partir de datos simulados en puntos georreferenciados de las Vegas Altas del Guadiana, se llevó a cabo un análisis integrado de grados-día, evapotranspiración de referencia (ET_0) y rendimiento estimado, que permitió elaborar una zonificación funcional del cultivo en tres niveles de idoneidad:

- **Óptima:** suelos profundos, buena conectividad hidráulica y menor exposición al estrés térmico.

- **Condicional:** presencia de limitantes edafoclimáticos moderados ($ET_0 \geq 1150$ mm o <1900 °C · día).
- **Marginal:** riesgo hídrico elevado o estrés térmico.

Cartografía de resistencias a herbicidas

Mediante muestreos de campo y análisis moleculares realizados por CICYTEX, se confirmó la presencia de resistencias en *Echinochloa* spp. y *Leptochloa* spp. debidas a mutaciones en los genes ALS (Pro197Ser) y ACCase (Ile1781Leu), así como mecanismos metabólicos (NTSR) asociados a enzimas del sistema citocromo P450 y Glutación-S-Transferasas.

Se generó una cartografía funcional de resistencias clasificada por nivel de prevalencia (alta, media, baja), coherente con el historial agronómico de cada zona. Las áreas con mayor presión coinciden con parcelas de uso intensivo de herbicidas y baja rotación.

Esta información permite establecer criterios regionales de actuación: rotación de modos de acción, monitoreo zonal de resistencias, implementación de medidas no químicas (falsa siembra, rotaciones, siembra en seco) y recomendaciones específicas a cooperativas y comunidades de regantes.

Integración técnica: modelo para la planificación agronómica del arroz

La superposición de la cartografía de resistencias con la zonificación agroclimática y los modelos de idoneidad ha dado lugar a una herramienta operativa de gran valor para la toma de decisiones. Este modelo tridimensional permite:

- Localizar parcelas con riesgo térmico, hídrico o fitosanitario.
- Reorientar sistemas de cultivo en función del contexto específico.
- Priorizar estrategias adaptadas en función del nivel de riesgo y aptitud productiva.

En conjunto, estos resultados sustentan una estrategia técnica integrada para la mejora de la sostenibilidad del cultivo del arroz en Extremadura, alineada con los objetivos de la PAC, la estrategia "De la Granja a la Mesa" y la adaptación al cambio climático.

Diseño de ensayos y evaluación de estrategias culturales

Durante el desarrollo de esta actividad se seleccionaron y caracterizaron parcelas piloto de las cooperativas CASAT y La Encina de Palazuelo, atendiendo a criterios de rotación de cultivos previos, tipo de tratamiento de residuos (picado, fangueo, quema) y características edafoclimáticas representativas de las principales zonas arroceras de Extremadura. Se establecieron suelos franco-arenosos en Rena y Hernán Cortés, y suelos más arcillosos en Palazuelo.

Se definieron hasta ocho estrategias diferenciadas en función de:

- Tipo de cultivo precedente (colza, triticale, arroz)
- Tratamiento del rastrojo (fangueado, quemado, incorporado)
- Momento del refresco hídrico (antes o después de la siembra)

Se analizaron aspectos fisicoquímicos y biológicos del suelo en todas las parcelas seleccionadas. En los análisis iniciales, se evidenció que la rotación con colza y triticale, así como el fangueo invernal, promovieron una mayor actividad enzimática, especialmente de la glucosidasa, asociada a la transformación de materia orgánica.

Durante el ciclo del cultivo, se observó que el fangueo de invierno mantuvo su efecto beneficioso sobre la actividad microbiana, destacando al final del ciclo la presencia de deshidrogenasa en suelos más arcillosos, indicadora de condiciones anóxicas propicias para ciertos procesos de mineralización.

Se desarrolló un protocolo específico para cuantificar y caracterizar el banco de semillas viable en cada parcela, mediante el tamizado de suelo seco y cultivo en cámaras de germinación. Esta metodología permitió identificar la presencia diferencial de especies como *Cyperus difformis*, *Leptochloa* spp. y *Echinochloa* spp. según fracción de suelo y estrategia agronómica aplicada.

Se implementaron técnicas de biología molecular (extracción de ADN, PCR, secuenciación) para identificar mutaciones responsables de resistencias a herbicidas inhibidores de ALS y ACCasa. Se detectaron:

- Mutaciones tipo TSR en *Echinochloa* spp., relacionadas con resistencia a ALS (p. ej. Pro197Ser).
- Mutaciones tipo TSR en *Leptochloa* spp., vinculadas a ACCasa (p. ej. Ile1781Leu, Ile1781Thr, Trp2027Cys).
- Casos de multirresistencia en *Echinochloa* spp. a ambos modos de acción.

Se observó además una efectividad variable de la tecnología Provisia® en función del tipo de mutación genética presente, lo que refuerza la necesidad de integrar la tipificación molecular en la gestión de resistencias herbicidas.



Adaptación varietal a la siembra en seco y comportamiento en suelos problemáticos

Durante esta actividad se evaluó la respuesta de distintas variedades de arroz a las condiciones de la siembra en seco, con especial atención a su comportamiento en diferentes tipos de suelo (franco-arenosos y franco-arcillosos), fechas de siembra y problemas nutricionales derivados del entorno edafológico de las Vegas Altas del Guadiana.

Se ejecutaron ensayos "in situ" en parcelas seleccionadas de ambas cooperativas, estructurados en bloques experimentales para comparar el rendimiento agronómico y fisiológico de las variedades en condiciones reales de cultivo.

Se observó que las principales limitaciones productivas están asociadas a desequilibrios nutricionales y acumulación de sales. A través de ensayos con soluciones salinas, se determinó que:

- La salinidad afecta severamente al desarrollo de todas las variedades cuando la conductividad eléctrica supera los 18 dS/m.
- El umbral crítico de salinidad se establece en torno a 3 dS/m, por encima del cual se reduce el desarrollo radicular.

Se observó además una efectividad variable de la tecnología Provisia® en función del tipo de mutación genética presente, lo que refuerza la necesidad de integrar la tipificación molecular en la gestión de resistencias herbicidas.

No obstante, las variedades Thaiperla, Némesis y Marisma mostraron una mayor tolerancia: en condiciones de 5 dS/m conservaron una elongación radicular comparable al testigo en agua destilada.

Este resultado indica que estas variedades son candidatas idóneas para entornos de salinidad moderada, especialmente frecuentes en suelos de la zona de estudio bajo manejo de siembra en seco.

Estrategias adaptadas de control químico y cultural frente a malas hierbas en arroz

Se han generado un conjunto de evidencias técnicas clave para el diseño de estrategias de control integradas y adaptadas frente a malas hierbas, atendiendo tanto a la disponibilidad legal de herbicidas como a las condiciones edafoclimáticas y de manejo del arroz en Extremadura.

Se realizó un inventario actualizado de herbicidas autorizados y excepcionalmente aprobados en 2024, detectándose una dependencia excesiva de dos modos de acción (ALS y ACCasa). Esta falta de diversidad en mecanismos de acción favorece la aparición de resistencias, como ya se ha constatado en especies dominantes como *Echinochloa* spp. y *Leptochloa* spp.

Se realizaron ensayos en condiciones controladas que permitieron:

- Verificar la eficacia de benzobiciclon, napropamida y pendimentalina en preemergencia.
- Detectar fallos de control de *Cyperus difformis* con pendimentalina, señalando la necesidad de alternativas o combinaciones más efectivas.

- Evaluar la resistencia cruzada de poblaciones de *Echinochloa spp.* con mutaciones ACCasa frente a herbicidas específicos, confirmando variabilidad en la eficacia según el tipo de mutación.

Evaluación económica y ambiental del sistema CIMh-Arroz

Se comparó el modelo económico estándar del cultivo de arroz en Extremadura (modelo MAPA 57EXT_R) con una versión adaptada que incorpora las prácticas sostenibles promovidas por el proyecto CIMh-Arroz. Los resultados reflejan una mejora clara de la rentabilidad del cultivo:

- Reducción del coste total por hectárea de 2.082,75 €/ha a 1.849,14 €/ha.

Este ahorro económico se debe principalmente a:

- Menores costes en fitosanitarios por menor presión de malas hierbas.
- Reducción del gasto en riego por la implantación de siembra en seco.
- Disminución de costes en labores mecánicas, al evitar la incorporación intensiva del rastrojo.

Los análisis de huella de carbono y emisiones muestran una mejora ambiental significativa:

- Reducción de emisiones totales de gases de efecto invernadero de 24,74 t CO₂e/ha (2023) a 19,99 t CO₂e/ha (2024).
- El menor uso de fertilizantes, la siembra en seco y el manejo racional del rastrojo son los factores clave que contribuyen a esta disminución.
- La introducción de variedades resistentes y mejoras en rendimiento (t CO₂e por tonelada de arroz producida) refuerzan la eficiencia climática del sistema.

El análisis multirresiduo en las ocho parcelas piloto reveló la presencia recurrente de pendimetalina y oxadiazon, herbicidas autorizados pero con elevada persistencia en el suelo:

- Pendimetalina se detectó en todas las parcelas, con valores de hasta 0,16 mg/kg, indicando uso acumulado y posible falta de rotación de materias activas.
- Oxadiazon apareció en seis de ocho parcelas, lo que evidencia su alta persistencia y riesgo ambiental si no se regula su uso.
- Estos datos confirman la necesidad de diversificar estrategias de control para evitar la dependencia química y mitigar la selección de resistencias en malas hierbas.



El análisis de metales pesados en grano de arroz mostró resultados totalmente positivos:

- Niveles de cadmio, plomo y mercurio por debajo del límite de detección en todas las muestras analizadas.
- Perfil mineral (Zn, Cu, Fe) dentro de rangos normales, sin indicios de acumulación ni deficiencias nutricionales.
- Estos resultados aseguran la inocuidad del grano producido, confirmando que las prácticas sostenibles no comprometen la calidad alimentaria y refuerzan la percepción positiva del consumidor.

Conclusiones

En resumen, el proyecto CIMh-Arroz ha permitido validar un modelo de manejo del cultivo de arroz más sostenible, eficiente y alineado con los retos agronómicos y ambientales actuales. Las actuaciones desarrolladas han demostrado que es posible reducir la dependencia de herbicidas, mejorar la rentabilidad económica y preservar la funcionalidad del suelo, sin comprometer la productividad ni la calidad del grano.

Se ha comprobado que estrategias como la siembra en seco, la rotación de cultivos, el manejo adecuado del rastrojo y el uso de variedades adaptadas permiten reducir la presión de malas hierbas, disminuir costes de producción y aumentar la eficiencia en el uso de insumos, especialmente agua y fertilizantes.

El análisis enzimático y fisicoquímico del suelo ha confirmado una mejora en la actividad biológica en aquellas parcelas con rotación y gestión adecuada del residuo. Asimismo, los estudios de alelopatía y los ensayos en maceta han identificado nuevas herramientas para el control no químico de malas hierbas, destacando el potencial de especies como Medicago sativa, avena o cebada.

Desde el punto de vista económico, la aplicación del modelo CIMh-Arroz permite reducir los costes totales por hectárea y aumentar el margen de beneficio. En paralelo, los resultados ambientales muestran una reducción notable de la huella de carbono por hectárea cultivada, gracias a un enfoque integral basado en la sostenibilidad técnica y varietal.

Finalmente, los análisis multirresiduo y de metales pesados confirman que las prácticas adoptadas no comprometen la inocuidad del producto final, reforzando así la calidad del arroz producido bajo esquemas más sostenibles.

En conjunto, los resultados del proyecto demuestran que el camino hacia un arroz más sostenible es viable, rentable y deseable desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social.





CIMh · arroz

Grupo Operativo Regional

Beneficiarios

La Encina de Palazuelo S.C.L.
(REPRESENTANTE)
Comercial Agropecuaria S.A.T.
(CASAT)
Extremeña de Arroces S.C.

Subcontratados

Centro Tecnológico Nacional
Agroalimentario – CTAEX
Centro de Investigaciones
Científicas y Tecnológicas de
Extremadura (CICYTEX)

Colaboradores

Cooperativas Agro-alimentarias
Extremadura
Sociedad Española de Malherbología

#CIMh-ARROZ

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Sostenible



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural:
Europa invierte en las zonas rurales

Proyecto cofinanciado por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en un 85% dentro del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Extremadura 2014-2022, en la medida 16 "Cooperación" submedida 16.1 "Ayuda para la creación y el funcionamiento de grupos operativos de la AEI en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas", siendo el resto cofinanciado por la Junta de Extremadura en un 11,28% y por el Estado, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en un 3,72%.