

OPCIONES DE MANEJO DE *PAPAVER RHOEAS* CON RESISTENCIA MÚLTIPLE A HERBICIDAS

Torra J.^{1*}, Royo-Esnal A.¹, Rey-Caballero J.¹, Recasens J.¹, Salas M.²

¹Grupo de Malherbología y Ecología Vegetal, Dpto HBJ.
Agrotecnio, ETSEA, Universitat de Lleida,
Avda. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España.

²DuPont de Nemours France SAS, 24 rue de Moulin,
68740 Nambenheim, France.

* joel@hbj.udl.cat

Resumen: Se han estudiado diferentes sistemas de GIMh en una población de *Papaver rhoeas* con resistencia múltiple a tribenurón-metil y 2,4-D. Se establecieron cuatro sistemas de GIMh, con dos tipos de labores del suelo (siembra directa o mínimo laboreo), que incluyen rotación con girasol, retraso de la fecha de siembra, o aplicaciones herbicidas en diferentes momentos. Las densidades de amapola fueron mayores en siembra directa que en mínimo laboreo. Los sistemas de GIMh más eficaces en el manejo de *P. rhoeas* fueron aquéllos con una rotación con girasol y aplicaciones tempranas de herbicidas (pre-emergencia y/o post-emergencia precoz). La eficacia del retraso de la fecha de siembra difirió entre campañas. En cereales de invierno, es posible el desarrollo de sistemas de GIMh para el control de poblaciones resistentes de *P. rhoeas* integrando herramientas químicas y culturales.

Palabras clave: Amapola, rotación de cultivo, gestión integrada de malas hierbas (GIMh), manejo del suelo, momento de aplicación.

Summary: *Management options for Papaver rhoeas with multiple herbicide resistance.* Different integrated weed management (IWM) systems have been studied in a multiple herbicide resistant *P. rhoeas* population to tribenuron-methyl and 2,4-D. Four systems were established with two types of soil management (direct drilling and minimum tillage), which included rotation with sunflower, sowing delay or different herbicide application timings. Corn poppy densities were higher during the experiment in direct drilling compared to minimum tillage. Most efficient IWM systems for *P. rhoeas* were those that included rotation with sunflower and early herbicide application timings (pre-emergence and/or early post-emergence). Sowing delay effectiveness depended on the growing season conditions. In winter cereals, the development of

IWM systems to manage herbicide resistant *P. rhoeas* populations is possible integrating chemical and cultural tools.

Keywords: Corn poppy, crop rotation, integrated weed management (IWM), soil management, application timing.

INTRODUCCIÓN

Papaver rhoeas L. (amapola) es una de las malas hierbas dicotiledóneas más problemáticas en los cereales de invierno de la Península Ibérica y del sur de Europa. Su capacidad persistencia e infestación se debe a su alta fecundidad, extenso periodo de emergencia, y larga viabilidad de sus semillas (Torra & Recasens, 2008). A su vez, desde hace unas décadas, han aparecido en la mitad norte peninsular (desde Castilla y León hasta Cataluña) biotipos resistentes a herbicidas inhibidores de la enzima ALS (Acetolactato sintetasa) y/o a las auxinas sintéticas. Se estima que un 40% de los campos con amapola tienen biotipos resistentes a estos herbicidas (CPRH, 2015). Por lo tanto, el desarrollo de estrategias de gestión integrada de malas hierbas (GIMh) para esta especie resulta imprescindible, especialmente ante la nueva Directiva Europea 2009/128/CE relativa al Uso Sostenible de Fitosanitarios, que tiene su transposición en España a través del Real Decreto 1311/2012. El presente Real Decreto tiene por objeto "establecer el marco de acción para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios mediante la reducción de los riesgos y los efectos del uso de los productos fitosanitarios en la salud humana y el medio ambiente, y el fomento de la gestión integrada de plagas y de planteamientos o técnicas alternativos, tales como los métodos no químicos". Hay que añadir que la nueva Política Agraria Comunitaria 2015-2020 (Real Decreto 1075/2014) obliga a la diversificación de cultivos, es decir, a tener un mínimo de tres cultivos diferentes por explotación agraria de más de 30 ha. Por lo tanto, resulta necesario saber qué efectos pueden tener los diferentes métodos no químicos (rotaciones de cultivos, variación de la fecha de siembra, etc.) en la dinámica poblacional de *P. rhoeas* en los cereales de invierno. A su vez, el desarrollo de estrategias de GIMh será aún más necesario en el futuro ante la más que probable exclusión del registro (Anejo I) de algunos herbicidas ampliamente utilizados para el control de esta mala hierba.

Con este propósito se plantea el presente estudio cuyos objetivos son evaluar la eficacia de diferentes sistemas de GIMh en una población de *Papaver rhoeas* resistente a herbicidas durante dos campañas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Se estableció un ensayo en un campo comercial de cereal de invierno durante dos campañas consecutivas (2013/14 y 2014/15) en la localidad de Cubells, provincia de Lleida.

Caracterización del biotipo de *P. rhoeas*

En junio de 2013 se cogieron semillas de al menos 50 plantas escogidas al azar realizando un transecto en zigzag en la parcela. Posteriormente, las semillas se pusieron a germinar juntamente con un estándar sensible (Herbiseed) en Placa de Petri con agar al 1,4% en cámara de germinación con 16 horas de luz durante dos semanas a 5/15°C. Se trasplantaron cinco plántulas por maceta (7x7x7 cm) rellena con una mezcla de turba, arena y perlita (4:3:3), de las cuales se dejaron finalmente tres. En el estadio de 5-6 hojas, las plantas del biotipo estudiado fueron tratadas con tribenuron-metil (Granstar 50 SX, DuPont, 50%) a 1200, 600, 150, 37,5, 18,7, 9,3, 4,6, 2,3 y 0 g m.a. ha⁻¹, y 2,4-D (Esteron 60, Dow AgroSciences, 60%) a 4800, 1200, 600, 300, 150, 75 y 0 g m.a. ha⁻¹. El biotipo sensible fue tratado a 18,7, 9,3, 4,6, 2,3, 1,1, 0,5, 0,25 y 0 g m.a. ha⁻¹ de tribenuron-metil, y 600, 300, 150, 75, 37,5, 18,7, 9,3 y 0 g m.a. ha⁻¹ de 2,4-D. Se incluyeron un total de cuatro repeticiones para cada dosis. Los herbicidas se aplicaron utilizando un pulverizador de precisión de mesa a 200 l ha⁻¹, a una presión de 215 kPa. Cuatro semanas después de los tratamientos, se recogió la parte aérea de las plantas y después de secar las muestras a 65 °C durante 48h, se estimó para cada biotipo el peso seco y el porcentaje de reducción de peso seco de las plantas tratadas respecto a los testigos no tratados.

Diseño experimental

Se consideraron cuatro sistemas de GIMh, todos con dos tipos de labores del suelo (siembra directa y mínimo laboreo) en un diseño en split-plot con tres repeticiones. Los sistemas de manejo incluían rotación de cultivos con girasol, retraso de la fecha de siembra, densidad de siembra o aplicaciones herbicidas en diferentes momentos. En el sistema 1 (Temprano) la primera campaña se sembró girasol cv. Express-Sun® (09/04); la segunda campaña se retrasó la fecha de siembra de la cebada (14/12 cv. Gustav y 13/12 cv. Graphic para mínimo laboreo y siembra directa, respectivamente) y se aplicó pendimetalina (3 l/ha) en pre-emergencia (17/12). En el sistema 2 (Tardío) la primera campaña se sembró el mismo girasol; la segunda campaña se retrasó la fecha de siembra de la cebada como en el sistema 1 y se aplicó una formulación experimental en post-emergencia (04/03). En el sistema 3 (Químico) la

primera campaña, sin variación en la fecha de siembra de la cebada cv. Meseta (25/11 y 9/11 para mínimo laboreo y siembra directa, respectivamente), se aplicó una formulación experimental en post-emergencia (05/03); la segunda campaña, sin variación en la fecha de siembra de la cebada cv. Meseta (16/11 para mínimo laboreo y siembra directa), se aplicó pendimetalina (3 l/ha) en pre-emergencia (17/11). En el sistema 4 (Cultural) se retrasó la fecha de siembra de la cebada cv. Gustav tanto en la primera campaña (27/12 para mínimo laboreo y siembra directa) como en la segunda campaña (como en el sistema 1); los dos años la densidad de siembra fue 25% superior a la normal (200 kg ha⁻¹ en el resto de sistemas).

Análisis estadístico

Los datos del experimento de dosis respuestas fueron analizados usando un modelo de regresión no lineal con el paquete drc (Knezevic et al., 2007) en el programa estadístico de código libre R (R Core Development Team 2012). La dosis de herbicida que causa el 50% de reducción de crecimiento en peso seco de las plantas (*RC50*) fue calculado usando una curva logística de cuatro de parámetros del tipo:

$$y = c + \frac{(d - c)}{1 + \text{EXP}[b(\log(x) - \log(\text{RC50}))]}$$

donde *c* es el límite inferior, *d* es el límite superior, *b* la pendiente en la *RC50*, y *RC50* la dosis de herbicida para reducir el crecimiento un 50%. En esta ecuación, la dosis herbicida (g ha⁻¹) era la variable independiente (*x*) y el peso seco (porcentaje de reducción del control no tratado para cada población) era la variable dependiente (*y*). Posteriormente se calculó el factor de resistencia para los dos herbicidas como la proporción de las *RC50* entre el biotipo resistente y el sensible.

Para el experimento de campo, cada campaña se realizaron dos conteos, uno en invierno antes de la primera aplicación en post-emergencia, y otro al final de la campaña. Los conteos se realizaron ubicando al azar cinco cuadrados de 0,1 m² en cada parcela elemental y se estimó la densidad en plantas m⁻²; en el último muestreo, realizado en floración de la mala hierba, se contaron todos los individuos de *P. rhoeas* presentes en cada parcela. Posteriormente se realizó un análisis de la varianza para cada fecha de muestreo con el programa estadístico Sigmaplot 11.0, considerando dos factores: tipo de manejo del suelo (dos niveles, mínimo laboreo y siembra directa) y el sistema de manejo (cuatro niveles, temprano, tardío, químico, cultural). Ante la significación de los factores, se realizó una separación de medias mediante el test de Tukey (*P*<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del biotipo de *P. rhoeas*

El estudio de curvas dosis-respuesta confirmaron la presencia de una población de *P. rhoeas* con resistencia múltiple a tribenurón-metil y 2,4-D en la localidad estudiada (Tabla 1). La resistencia a sulfonilureas se puede considerar fuerte (FR=882) mientras que la resistencia al 2,4-D es moderada (FR=12).

Tabla 1. Efecto de los herbicidas tribenurón-metil y 2,4-D para dos poblaciones de *Papaver rhoeas*: RC50, b (pendiente), c (límite inferior), d (límite superior) (g ha⁻¹), suma de cuadrados de los residuos (Res SS) y factor de resistencia (RF) (media ± error estándar; n=4).

Población	RC50	b	c	d	Res SS	RF
2,4-D						
Cubells	794 ± 198	-0,9 ± 0,2	936 ± 17	636768 ± 3900	7236	12
Sensible	68,6 ± 10,2	-1,2 ± 0,16	429 ± 116	60328 ± 2616	23693	1
Tribenurón-metil						
Cubells	69,5 ± 23,1	-0,5 ± 0,1	1,90 ± 0,28	1957 ± 958	12858	882
Sensible	0,1 ± 0,0	-0,4 ± 0,1	0,09 ± 0,05	1897 ± 71	4894	1

Sistema de manejo GI Sh

Durante las dos campañas las densidades de amapola fueron significativamente menores en mínimo laboreo que en siembra directa, con densidades iniciales la primera campaña de 67 y 291 plantas m⁻², y la segunda 61 y 514 plantas m⁻², respectivamente. En la Figura 1 se puede apreciar la diferencia en los niveles de infestación entre una parcela con mínimo laboreo y una bajo siembra directa.

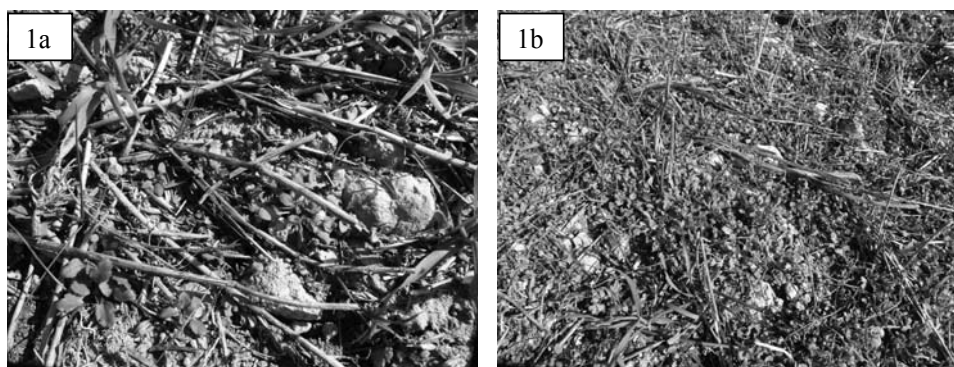


Figura 1. Niveles de infestación de *Papaver rhoeas* en el campo de cereal de invierno en Cubells (Lleida). 1a) Bajo mínimo laboreo; 1b) Bajo siembra directa.

Cabe considerar la posibilidad de que el banco de semillas inicial fuera más elevado en parcelas bajo siembra directa que en aquellas con mínimo laboreo a pesar de las tres repeticiones de las parcelas (Dorado & López-Fando, 2006). Dentro de un mismo manejo del suelo la infestación fue homogénea entre los diversos sistemas al no haber diferencias estadísticas (Tabla 2).

Los sistemas de GIMh que se mostraron más eficaces en el control de *P. rhoeas* fueron aquéllos que incluían una rotación con girasol y aplicaciones tempranas de herbicidas (pre-emergencia y/o post-emergencia precoz), tanto en mínimo laboreo como bajo siembra directa. Los sistemas más efectivos en la primera campaña fueron los sistemas Temprano y Tardío (con girasol el primer año), y en la segunda campaña lo fueron los sistemas Temprano y Químico (con pendimetalina en pre-emergencia) (Tabla 2). El girasol no se adaptó bien a la baja pluviometría de la zona, pero en zonas más húmedas, es una alternativa a considerar.

Tabla 2. Densidad de *Papaver rhoeas* (plantas m⁻²) durante dos campañas (2013-14 y 2014-15) en un campo de cereal de la localidad de Cubells (Lleida) con cuatro sistemas de manejo bajo dos tipos de labores del suelo (mínimo laboreo y siembra directa) en dos fechas (antes de los tratamientos de post-emergencia y al final de la campaña) (media ± ET; n=3).

Sistemas de manejo	2013-2014		2014-2015	
	13/02/2014	03/06/2014	03/12/2014	27/04/2015
Mínimo laboreo				
Sistema Temprano	74 ± 20 a	0 ± 0 a	27 ± 18 a	0 ± 0 a
Sistema Tardío	114 ± 34 a	0 ± 0 a	107 ± 65 a	0,3 ± 0 ab
Sistema Químico	51 ± 18 a	0,4 ± 0 a	3 ± 2 a	0 ± 0 a
Sistema Cultural	26 ± 18 a	0,7 ± 0 a	106 ± 53 a	0,8 ± 0 b
Siembra directa				
Sistema Temprano	493 ± 266 a	0,3 ± 0 a	355 ± 70 b	0,1 ± 0 a
Sistema Tardío	490 ± 277 a	0,2 ± 0 a	276 ± 70 a	0,4 ± 0 a
Sistema Químico	130 ± 53 a	1,3 ± 1 a	17 ± 12 a	0 ± 0 a
Sistema Cultural	49 ± 14 a	2,9 ± 1 b	1408 ± 242 c	1,3 ± 0 b
P	0,013	0,011	<0,001	n.s.

P representa la significación del factor manejo del suelo (P<0,05) sin considerar el sistema de manejo. Diferentes letras denotan diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas con un mismo manejo del suelo mediante el test de Tukey.

Todos los sistemas, excepto el Cultural en siembra directa, han conseguido reducir o contener, la segunda campaña, la densidad inicial de

amapola. Hay que tener en cuenta que la segunda campaña en el sistema Químico se aplicó pendimetalina en pre-emergencia en noviembre. El sistema Cultural, sin control químico, no ha sido suficiente para contener la infestación de amapola. En este sistema, 2.9 plantas m⁻² al final de la primera campaña ha sido suficiente para incrementar notablemente, durante la segunda campaña, la densidad de *P. rhoeas*. El retraso de la fecha de siembra sólo se mostró más efectivo la segunda campaña, ya que en la primera, debido a la sequía durante el otoño, hubo pocas emergencias de *P. rhoeas* antes de la fecha retrasada de siembra. Estudios previos (Torra et al., 2011), mostraron, en cebada, la efectividad de un retraso de tres meses (hasta enero) de la fecha de siembra. Un menor retraso (mes y medio), como el establecido en este estudio, podría ser igualmente suficiente aunque dependerá de la climatología de la campaña. Este ensayo continuará una tercera campaña, y se espera ver a medio plazo el efecto de estos sistemas en el manejo de *P. rhoeas*.

CONCLUSIONES

La rotación con girasol, el retraso de la fecha de siembra y/o aplicaciones herbicidas tempranas son estrategias a considerar para el desarrollo de sistemas de GIMh para poblaciones de *P. rhoeas* con resistencia múltiple.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por la empresa DuPont de Nemours SA.

BIBLIOGRAFÍA

- BOE Nº 223 del 15 de septiembre de 2012. Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios.
- COMITÉ PARA LA PREVENCIÓN DE RESISTENCIAS A HERBICIDAS, C.P.R.H. (2015) http://www.semh.net/resistencia_herbicidas.html.
- DIRECTIVE 2009/128/CE. Directive for sustainable use of pesticides. *Official Journal of European Union 2009*; L309, 71-86.
- DORADO J & LÓPEZ-FANDO C (2006) The effect of tillage system and use of a paraplow on weed flora in a semiarid soil from central Spain. *Weed Research* 46, 424-431.

KNEZEVIC SZ, STREIBIG JC & RITZ C (2007) Utilizing R software package for dose-response studies: The concept and data analysis. *Weed Technology* 21, 840-848.

TORRA J & RECASENS J (2008) Demography of corn poppy (*Papaver rhoeas*) in relation to emergence time and crop competition. *Weed Science* 56, 826-833.

TORRA J, ROYO-ESNAL A & RECASENS J (2011) Management of herbicide-resistant *Papaver rhoeas* in dry land cereal fields. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 483-490.