

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y  
DEL MEDIO NATURAL

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO  
RURAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Gestión Integrada de *Chenopodium album* L.

**Trabajo Final de Grado**

Nieves Melero Carnero

Tutora: Mercedes Verdeguer Sancho

Curso 2019/2020

Valencia, septiembre de 2020

## Resumen

*Chenopodium album* L. es una mala hierba muy problemática en numerosos cultivos a nivel mundial, cuyo manejo y control es muy complicado por sus características biológicas. Puede afectar a numerosos cultivos, tanto de secano como de regadío por su gran plasticidad y adaptabilidad, además de producir gran cantidad de semilla con diferentes estrategias de germinación, lo que prolonga su persistencia en el banco de semillas del suelo. Además, ha desarrollado resistencias a numerosos herbicidas, estando en la clasificación de malas hierbas más resistentes a herbicidas a nivel mundial la número 25, al presentar resistencia a 4 modos de acción distintos. Uno de los desafíos de la agricultura actual es incrementar la producción agrícola, siendo respetuosos con el medio ambiente. Se prevé que la población mundial llegue a los 9 billones de personas en 2050, a la vez que los recursos naturales, como la tierra arable disponible, el agua, el suelo de calidad, sean cada vez menores. Además, se debe afrontar el desafío del cambio climático, que contribuye a la proliferación de diferentes plagas, incluyendo las malas hierbas. La problemática de las malas hierbas es debida a que compiten con los cultivos por los recursos disponibles (agua, luz y nutrientes), pudiendo llegar a disminuir sus rendimientos gravemente si se dejan descontroladas. Es por ello muy importante plantear estrategias de manejo de los cultivos que sean respetuosas con el medio ambiente, especialmente en cuanto a la protección de los mismos. El uso de herbicidas ha sido el método más utilizado para el control de malas hierbas, desde su gran desarrollo en los años 40, tras la Segunda Guerra Mundial, por su gran eficacia y facilidad de uso. Pero con los años se ha visto que el uso excesivo de herbicidas provoca daños al medio ambiente y los seres vivos, así como promueve la aparición de biotipos de malas hierbas resistentes. Es necesario adoptar nuevas estrategias de control más respetuosas con el medio ambiente. En la Unión Europea, la legislación sobre la comercialización y el uso de productos sanitarios cambió en 2009, para lograr un uso más sostenible de los mismos, promoviendo la gestión integrada de plagas. En este trabajo, se pretende explicar la problemática que supone el manejo de *Chenopodium album* L., debido a sus características biológicas, los problemas que puede causar en los diferentes cultivos que puede afectar, y plantear una estrategia de manejo integrado, mediante las diferentes técnicas que se podrían utilizar para su control de forma sostenible. Se revisarán experiencias con diferentes métodos de control de *Chenopodium album* L. y se recomendarán los más exitosos, dentro de una estrategia integrada.

Palabras clave: *Chenopodium album*, biología, control, malas hierbas, gestión integrada.

## **Abstract**

*Chenopodium album* L. is a very problematic weed in many crops worldwide, whose management and control is very complicated due to its biological characteristics. It can affect many crops, both rainfed and irrigated due to its great plasticity and adaptability, in addition to producing large amounts of seed with different germination strategies, which prolongs its persistence in the soil seed bank. It has also developed resistance to many herbicides, with the number 25 being in the classification of weeds that are most resistant to herbicides worldwide, presenting resistance to 4 different modes of action. One of the challenges of agriculture today is to increase agricultural production, while being respectful of the environment. The world population is estimated to reach 9 billion people by 2050. Natural resources, such as available arable land, water and soil, are decreasing. In addition, it is necessary to face climate change, which contributes to the proliferation of different pests, including weeds. Weeds compete with crops for the available resources (water, light and nutrients), and crop yields could decrease severely if they are left uncontrolled. For this reason, it is essential to propose crop management strategies respectful of the environment, especially regarding crop protection. The use of herbicides has been the most widely used method for weed control, since its great development in the 1940s, after the Second World War, due to its great efficiency and easy use. But over the years it has been seen that the excessive use of herbicides causes damage to the environment and living beings, as well as promotes the emergence of resistant weed biotypes. It is necessary to adopt new control strategies that are more respectful with the environment. In the European Union, the legislation on the marketing and use of pesticides changed in 2009, to achieve a more sustainable use of them, promoting integrated pest management. The aim of this work is to explain the problems involved in *Chenopodium album* management due to its biological characteristics, the problems it can cause in the different crops it can affect, and to propose an integrated management strategy, using the different techniques that could use for its control in a sustainable way. Experiences carried out with different control methods on *Chenopodium album* will be reviewed and the most successful ones will be recommended, within an integrated weed management strategy.

**Keywords:** *Chenopodium album*, weed biology, weed control. weeds. integrated weed management.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por su apoyo todo este tiempo. A mis padres y a mi hermana Laura por muchas razones, pero sobre todo por su amor incondicional. A mi tío Matías, por su apoyo durante estos últimos cuatro años y por ayudarme cuando lo he necesitado. Y a mi dos familias, la leonesa y la granadina, gracias por todo el cariño y amor que me habéis dado estos años.

A mi tutora, Mercedes, por su dedicación en estos meses tan complicados y por estar siempre disponible para ayudarme con cualquier problema.

Y a mis amigos, porque siempre han estado ahí mostrando su cariño y apoyo, incluso en la distancia.

# Índice

1. Introducción.....	1
1.1. Importancia de <i>Chenopodium album</i> como planta arvense.....	1
1.2. Características y problemática en la agricultura actual.....	2
1.3. La Gestión Integrada de Plagas.....	5
1.4. Métodos de control de hierbas adventicias.....	7
1.4.1. Métodos culturales.....	7
1.4.2. Métodos mecánicos y físicos.....	7
1.4.3. Métodos químicos.....	10
1.4.4. Métodos biológicos y bioquímicos.....	11
1.4.5. Métodos biotecnológicos.....	11
2. Resultados.....	12
2.1. Prácticas culturales.....	12
2.2. Control mecánico y físico en <i>C. album</i> .....	13
2.3. Control químico.....	16
2.3.1. La problemática del desarrollo de resistencias en <i>C. album</i> a los principales herbicidas.....	20
2.4. Control de <i>C. album</i> en agricultura ecológica.....	21
2.5. Control biológico y bioquímico.....	24
2.6. Control biotecnológico.....	26
2.7. Propuesta de estrategia de gestión integrada de <i>C. album</i> .....	26
3. Conclusiones.....	30
4. Bibliografía.....	30

## Índice de figuras

Figura 1: Evolución cronológica de aparición de resistencias en el mundo (Heap, 2020).....4

## Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de herbicidas para el control de *C. album*.....19

Tabla 2. Aceites esenciales para el control de *C. album*.....23

Tabla 3. Cubiertas vegetales para el control de *C. album*.....23

Tabla 4. Extractos acuosos para el control de *C. album*.....23

Tabla 5. Compuestos patrón para el control de *C. album*.....24

Tabla 6. Estrategia integrada de control de *C. album* en maíz.....28

Tabla 7. Estrategia integrada de control de *C. album* en girasol.....28

Tabla 8. Estrategia integrada de control de *C. album* en remolacha.....28

Tabla 9. Estrategia integrada de control de *C. album* en patata.....29

Tabla 10. Estrategia integrada de control de *C. album* en cultivos protegidos.....29

# 1. Introducción

## 1.1. Importancia de *Chenopodium album* como planta arvense

*Chenopodium album* L., conocida comúnmente en España como cenizo o bledo blanco (en inglés se conoce bajo el nombre de *common lambsquarters*, *white goosefoot* o *fat hen*), es una hierba adventicia muy común en algunos de los cultivos más importantes, muy extendida por las zonas agrícolas de todo el mundo y capaz de provocar grandes pérdidas económicas de hasta el 90% (Bajwa *et al*, 2019). Se considera una adventicia en numerosos cultivos: cerealícolas como el maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]; industriales como la soja [*Glycine max* (L.) Merr], colza (*Brassica napus* L.) y remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.); en leguminosas como el cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) y garbanzo (*Cicer arietinum* L.); en hortalizas como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), patata (*Solanum tuberosum* L.) y espárrago (*Asparagus officinalis* L.); e incluso en viñedo (*Vitis vinifera* L.). *C. album* entra dentro de las diez hierbas adventicias más problemáticas en Asia, Europa y Norteamérica, siendo la primera en remolacha azucarera y patata y la séptima en el cultivo del maíz (Holm *et al*, 1977). En 2003, fue la segunda hierba más problemática en el *Corn Belt* de Estados Unidos, una de las principales zonas de producción de maíz desde mitad del siglo XIX (Mithila *et al.*, 2011). Grundy *et al* (2004) definieron *C. album* como una importante amenaza y una de las hierbas más problemáticas en los cultivos hortalizas de Reino Unido, por su competitividad y las dificultades que ocasiona en la recolección de las cosechas.

El control de *C. album* se ha gestionado tradicionalmente mediante las labores mecánicas y con herbicidas químicos, sobre todo en las últimas décadas. Según Bajwa *et al.* (2015), la creciente población mundial ha obligado al sector agrícola a intensificar los sistemas de producción para satisfacer la demanda de alimentos. La intensificación de la agricultura ha provocado que el comportamiento de las adventicias cambie, complicando su manejo. Además, el cambio climático contribuye a agravar el problema. En países desarrollados, el control químico mediante herbicidas de síntesis ha permitido durante mucho tiempo manejar las poblaciones de adventicias, que provocan mermas en la producción y graves pérdidas económicas. Sin embargo, el uso repetido de estos químicos ha llevado a la aparición de nuevos biotipos de *C. album* resistentes a los principales herbicidas, disminuyendo su eficacia. Más de 47 casos de resistencias a herbicidas en *C. album* se han documentado en Estados Unidos, siendo estos mucho más frecuentes en explotaciones de monocultivo (Bajwa *et al*, 2019). Dicha situación ha estado propiciada también por prácticas como el laboreo mínimo, muy extendida en las zonas cerealícolas, cuya única herramienta de control contra las hierbas adventicias es el uso de herbicidas (Osca, 2007). Diversos autores han propuesto métodos alternativos para el control de *C. album* para reducir la dependencia de los herbicidas químicos y frenar la aparición de biotipos resistentes a estos. Sin embargo, no todos los métodos de control son aplicables a todas las partes del mundo debido a diferencias económicas, geográficas y sociales. De hecho, algunas medidas propuestas son poco eficaces en condiciones de campo, limitándose sus resultados únicamente a ensayos en laboratorio con fines de investigación (Müller-Schärer *et al*, 2000). Es por ello que el control químico se volvió indispensable. Para Bajwa *et al.* (2015), el manejo de adventicias se debe abordar con una estrategia que integre varios métodos en lugar de uno único en exclusiva. Es lo que Liebman *et al.* (1997) denominaron en inglés como *many little hammers approach*, que sería en español “el enfoque de los pequeños martillos”, que viene a ser utilizar una combinación de métodos que, en conjunto, dan mejores resultados que si se usaran en solitario. En España, es obligatoria la utilización de técnicas integradas de control para cualquier organismo nocivo con la entrada en vigor del Real Decreto 1311/2012 en 2012. Este último tiene su origen en dos nuevas normativas europeas, de las que hablaremos más adelante. Finalmente, cabe mencionar las conocidas propiedades alelopáticas de *C. album*. Los aleloquímicos que segrega tienen efectos negativos en la germinación y desarrollo vegetativo de plántulas jóvenes de

numerosos cultivos. En ocasiones, los residuos que quedan en el suelo de anteriores infestaciones pueden afectar al siguiente ciclo productivo. Un ejemplo de ello es el ácido oxálico que segrega *C. album*, que afecta a la germinación y desarrollo inicial en plántulas de maíz (Bajwa *et al.*, 2019). Es más, algunos de ellos son la causa de enfermedades en el ganado. Se sabe que la ingesta de plantas de *C. album* puede provocar problemas digestivos en cerdos y ovejas (Bassett y Crompton, 1978).

En el presente trabajo, en primer lugar, se expondrán brevemente las características biológicas de *C. album* y se explicará por qué es una de las arvenses más problemáticas a nivel mundial. A continuación, se expondrán los principales métodos de control que existen actualmente para combatir las infestaciones *C. album* en los campos de cultivo. Se analizarán sus ventajas e inconvenientes para, finalmente, proponer una estrategia de control integrada para los principales cultivos afectados por *C. album*.

## 1.2. Características y problemática en la agricultura actual

*Chenopodium album* L. es una dicotiledónea anual que pertenece a la familia de las Amaranthaceae. A pesar de que no existe un consenso entre los autores sobre las características de la reproducción de *C. album* (Aper *et al.*, 2010), la mayoría afirman que su propagación es por semillas, mediante polinización anemófila y que presenta tanto autofecundación como polinización cruzada. Tiene un crecimiento vegetativo muy rápido, porte vigoroso y un hábito de crecimiento muy alto y ramificado. Puede alcanzar hasta los 3,5 m de altura en casos extremos (Bajwa *et al.*, 2019), aunque lo normal es una altura entre los 1,5-2 metros (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020). Es muy cosmopolita, pues puede adaptarse a un amplio abanico de condiciones ambientales, exceptuando los climas desérticos. Se presenta con más frecuencia en regiones templadas, en latitudes entre los 70°N y 50°S. Su eficacia como adventicia radica en su gran capacidad competitiva frente a los cultivos y su gran adaptación ambiental, incluso en sus primeros estadios de crecimiento.

Los factores que definen a *C. album* como una hierba muy competitiva son varios. Su ciclo de vida es muy corto y el desarrollo vegetativo es muy rápido, alcanzando el periodo de reproducción en poco tiempo. Este desarrollo tan precipitado, comparado con otros cultivos, lo hace muy competitivo por los nutrientes y el agua del suelo. Tiene, como la mayoría de adventicias, una gran capacidad de producción de semilla: una sola planta puede producir hasta más de 70.000 semillas (Bassett y Crompton, 1978). Además, su tamaño es muy reducido, entre 1,2-1,3 mm de diámetro, y su peso de 0,7 g de media (Bassett y Crompton, 1978), lo que facilita su dispersión por el viento y por corrientes de agua. También se dispersan fácilmente a través de las heces de los animales y de maquinaria agrícola, y puede contaminar los productos de las cosechas (Aper *et al.*, 2010). Al ser su mecanismo de dispersión poco específico, se encuentra con frecuencia formando “colonias” de más plantas, que han surgido a través de las semillas de una planta madre, en lugar de en solitario (Bassett y Crompton, 1978).

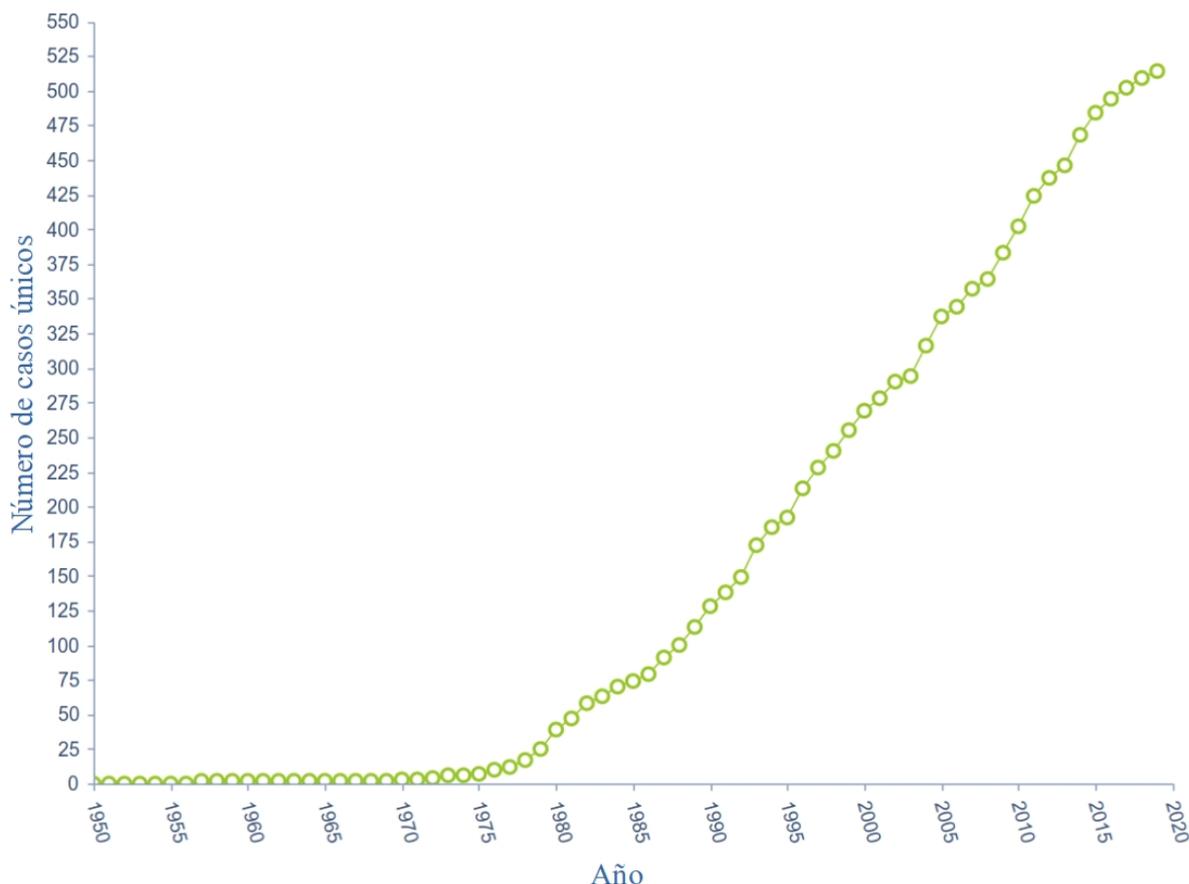
Las plantas de *C. album* producen dos tipos de semilla: de color marrón, que pueden germinar inmediatamente tras separarse de la planta, y de color negro, que entran en latencia al separarse y permanecen en el suelo hasta la germinación. Estas últimas son más pequeñas y poseen una cubierta más gruesa, posiblemente para impedir la imbibición o la entrada de oxígeno (Bassett y Crompton, 1978; Yao *et al.*, 2010). Varios autores han confirmado la influencia de las condiciones ambientales en la producción de las semillas. Según Bassett y Crompton (1978), las semillas marrones se producen en mayor proporción en condiciones de día corto (8 horas de luz), y las negras en condiciones de día largo (16 horas). Yao *et al.* (2010) demostraron que en condiciones de estrés (cambios de fotoperiodo, de temperatura o humedad, elevada salinidad...) aumenta la producción de semillas marrones. El heteromorfismo en las semillas de *C. album* no es más que una estrategia de cobertura de riesgo (*bet-hedging* en inglés) para adaptarse a las condiciones ambientales del momento y asegurar la supervivencia de la especie. La entrada en latencia permite que las semillas permanezcan inactivas mientras se den condiciones poco favorables para el desarrollo. Esto supone una gran ventaja evolutiva frente a otras adventicias cuyas semillas no presentan dicho fenómeno. Las semillas que

presentan latencia se acumulan de manera natural en lo que se conoce como el banco de semillas del suelo, pudiendo permanecer durante años hasta que puedan germinar. El resultado de la acumulación de semillas a lo largo de las cosechas, y las poblaciones de *C. album* ya presentes, es la formación de una densa masa de plantas capaz de ahogar a un cultivo que se encontrará en sus primeras fases de desarrollo. El éxito de la propagación de *C. album* se debe, en parte, a la longevidad de las semillas negras. Se sabe que sus semillas pueden mantener su viabilidad durante muchos años. Toole (1946) publicó los resultados de un ensayo de germinación llevado a cabo entre 1903 y 1941 con diversas especies de hierbas, entre ellas *C. album*, cosechadas en 1902. El objetivo era estudiar la viabilidad de las semillas que habían sido almacenadas en el suelo para después analizar el efecto sobre la germinación. En el último experimento realizado en 1941, después de 39 años, las semillas de *C. album* pudieron germinar, aunque la tasa sólo fue del 7%. Lewis (1973) comprobó que, tras 20 años enterradas en el suelo, el 23% de las semillas eran aún viables. Freckleton y Watkinson (1998) afirman que las semillas tienen una vida útil de hasta 1700 años.

Para que la germinación ocurra no son necesarias condiciones ambientales muy específicas. Bajwa *et al.* (2019) establecieron un rango de temperaturas muy amplio, entre 5 y 30°C, e indica que las semillas son tolerantes a la salinidad. Esto significa que la semilla puede prosperar en un amplio abanico de condiciones edáficas y geográficas. Sin embargo, prefiere suelos más calcáreos (Bassett y Crompton, 1978). Alshallash (2018) comprobó que las semillas de *C. album* presentan mayores tasas de germinación cuando se someten a regímenes térmicos día/noche de 25/5°C con ciclos de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad. La tasa de germinación fue del 59% tras 42 días. Mientras tanto, en ciclos de temperaturas de 15°C y de oscuridad constantes, se registró una tasa de germinación muy por debajo de la anterior. El autor concluye que el factor desencadenante de la germinación es la interacción entre los regímenes alternantes de temperaturas y de luz. Por otro lado, se analizó también la tasa de germinación temprana, es decir, la germinación los primeros 21 días. En el caso de *C. album*, esta alcanzó el 48%. La estimación de la germinación temprana es importante puesto que refleja la proporción de individuos que se espera que aparezcan en condiciones de campo en las primeras fases de cultivo, cuando este es más vulnerable. Las semillas marrones presentan mayores tasas de germinación temprana que las negras, como es de esperar (Bassett y Crompton, 1978). Paralelamente, Alshallash (2018) comprobó que la aplicación de una disolución de nitrato potásico (KNO<sub>3</sub>) a las semillas incrementaban la tasa de germinación a un 71%, respecto a las que sólo se les aplicó agua destilada. En condiciones de campo, esto significaría que las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados pueden desencadenar la germinación de las semillas latentes y favorecer su desarrollo. Se sabe también que las semillas de *C. album* absorben grandes cantidades de fósforo del suelo durante su desarrollo hasta la madurez fisiológica, siendo máxima durante las primeras fases de desarrollo (Pandey *et al.*, 1971).

La dependencia de los herbicidas químicos de síntesis para el control de hierbas adventicias ha llevado a la aparición de resistencias en aquellas más problemáticas. Warwick (1991) lo define como la condición por la cual una planta puede resistir la dosis de herbicida necesaria para su control como resultado de un proceso de selección derivado de una exposición repetida a estos con un modo de acción similar. Según Bhowmik (2003), la aparición de estas resistencias es un ejemplo de un proceso de selección de las características que permiten que las especies puedan perdurar en caso de peligro o amenaza. Aper *et al.* (2010) defienden que la presión selectiva por los herbicidas es muy alta, causando una gran mortalidad de las plantas más vulnerables y una reducción de la población. Sin embargo, los individuos más tolerantes permanecen. La continuada aplicación de herbicidas y la ausencia de otros métodos alternativos de control ha propiciado la aparición de genotipos resistentes, que se reproducirán y formarán una nueva población de hierbas también resistentes. Los primeros casos se documentaron en Estados Unidos en 1970, y han sido de gran interés en la comunidad científica mundial desde entonces (Figura 1). El número de casos asciende cada año a una velocidad mayor, siendo los casos más significativos el de las triazinas y el glifosato (Heap, 2014; Slater *et al.*,

2008). El primer caso de resistencia en *C. album* se dio a conocer en Canadá en 1973 (Bajwa *et al.*, 2019). Se ha demostrado que el origen de esta radica normalmente en una alteración en el punto de acción de los herbicidas a nivel celular, concretamente en los cloroplastos, y que estos mecanismos de protección se pueden transmitir a la descendencia (Warwick y Black, 1980). En el caso de *C. album*, se trata de resistencias de cruce: desarrollan métodos de resistencia frente a herbicidas cuyo mecanismo de acción es similar. Se entiende por mecanismo de acción a la secuencia de eventos que se producen en la planta desde que esta absorbe el herbicida y que causan su muerte (Verdeguer, 2011).



**Figura 1: Evolución cronológica de aparición de resistencias en el mundo (Heap, 2020)**

Los herbicidas que han dado lugar a resistencias en *C. album* son los inhibidores ALS, las auxinas sintéticas, los inhibidores EPSP y los inhibidores de la fotosíntesis en el fotosistema II (PS-II) (Bajwa *et al.*, 2019; Bhowmik, 2003; Holt *et al.*, 2013; Mithila *et al.*, 2011). Para definir los herbicidas se utiliza a nivel mundial la clasificación de la *Herbicide Resistance Action Committee* (HRAC). Esta clasificación organiza en grupos a los herbicidas según su modo de acción a nivel celular, y aúna otras clasificaciones como la clasificación WSSA y el sistema australiano.

Los inhibidores PS-II (grupos C1 y C2) bloquean el transporte de electrones dentro de la cadena fotosintética, aumentando el estrés oxidativo (Abendroth *et al.*, 2006). En este grupo entran las simazinas y atrazinas, ambos pertenecientes al grupo de las triazinas. La aparición de resistencias a estos herbicidas es muy común en el cultivo del maíz en Estados Unidos y Europa. Se han localizado biotipos de *C. album* con resistencia a las triazinas en 18 países en el mundo (Bhowmik, 2010). Los inhibidores de ALS (grupo B) bloquean la síntesis de la enzima acetolactato sintasa (ALS), necesaria en la biosíntesis de los aminoácidos valina, isoleucina y leucina (Zhou *et al.*, 2007). Las auxinas son un tipo de fitohormona responsable de la regulación del crecimiento (estimulan la elongación celular), de

la formación de los meristemas florales y del fenómeno conocido como dominancia apical, entre otros. Esta hormona se encuentra naturalmente en pequeñas concentraciones en la planta. Sin embargo, cuando se aplican a la planta en altas concentraciones pueden volverse disruptoras del crecimiento. En 1940 aparecieron las primeras auxinas sintéticas (grupo O), eficaces en el control de dicotiledóneas, como el 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), el ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCPA) y el ácido 1-naftalenacético (ANA) (Grossmann, 2010). Los inhibidores EPSP (grupo G) funcionan inhibiendo la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSP), alterando la ruta del ácido shikímico. Dicha ruta es la precursora de la biosíntesis de los aminoácidos esenciales fenilalanina, tirosina y triptófano (Siehl y Roe, 1997). El herbicida más representativo de este grupo es el glifosato. Es el único que tiene este mecanismo de acción y el más utilizado a nivel mundial (Heap, 2014). Todos los herbicidas expuestos hasta ahora actúan normalmente sobre rutas metabólicas, alterando su funcionamiento y provocando una disrupción fisiológica en las plantas. Una modificación en estos puntos, una mutación, puede reducir la eficacia de estos herbicidas. En su estudio sobre la variabilidad genética entre las poblaciones de *C. album* resistentes a los inhibidores de la fotosíntesis en el PS-II y las vulnerables, Aper *et al.* (2010) descubrieron que no se diferenciaban apenas entre ellas. Esto confirma que la resistencia se debe a la alta capacidad adaptativa de *C. album* y que no se trata de un caso aislado. Dicha capacidad es intrínseca en esta adventicia y se mantendrá en el futuro.

Son conocidas las propiedades alelopáticas de *C. album*. El término alelopatía fue introducido por el botánico Hans Molisch en 1937, que fusionó las palabras griegas *allelon* (“de uno para otro”) y *pathos* (“sufrir”) para definir este fenómeno (Pascual *et al.*, 2020). La alelopatía se define como cualquier efecto positivo o negativo, directo o indirecto, que ejerce una planta sobre otra a través de la liberación de productos químicos en el medio ambiente (Rice, 1984). Estas sustancias se denominan aleloquímicos, y suelen ser productos secundarios de reacciones metabólicas de la propia planta que pueden liberarse al medio a partir de las hojas, raíces e incluso de restos vegetales en el suelo (Siyar *et al.*, 2017; de Albuquerque *et al.*, 2011). *C. album* tiene propiedades alelopáticas que influyen negativamente en los cultivos. Siyar *et al.* (2017) comprobaron el efecto fitotóxico sobre semillas de trigo aplicando disoluciones de extractos de *C. album* en distintas concentraciones. Los resultados obtenidos corroboraron que, a medida que aumentaba la concentración de los extractos, se registraban menores tasas de germinación y un menor desarrollo de la plúmula y la radícula. Bajwa *et al.* (2019) indicaron varios de los principales aleloquímicos que se pueden encontrar en extractos acuosos a partir de *C. album*: alcaloides, aldehídos, apocarotenoides, esteroides, flavonoides, saponinas, ácidos carboxílicos, etc. En las ceras de las hojas de *C. album* se han identificado trece tipos de aldehídos y acetatos (Bassett y Crompton, 1978). Se sabe que *C. album* puede interferir en la germinación y en el desarrollo inicial de plántulas de especies como la zanahoria (*Daucus carota* L.), el cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), el maíz, el trigo y la soja (Bajwa *et al.*, 2019; Namvar *et al.*, 2009). Extractos etanólicos de *C. album* redujeron la germinación de semillas de remolacha azucarera y maíz en un 61% y 53,4%, respectivamente (Rezaie y Yarnia, 2009). Reinhardt y Meissner (1994) demostraron el efecto inhibidor de *C. album* en el crecimiento de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), tomate y girasol (*Helianthus annuus* L.). Sin embargo, en cuanto a la germinación no documentaron ningún efecto negativo. No obstante, existen numerosas plantas con propiedades alelopáticas capaces de controlar la germinación y desarrollo de *C. album*, y que suponen una fuente muy valiosa de herbicidas naturales aptos para utilizar en agricultura ecológica. Varios autores han analizado la capacidad herbicida de los compuestos alelopáticos de estas plantas, obteniendo resultados muy prometedores que se mencionarán más adelante.

### 1.3. La Gestión Integrada de Plagas

Actualmente en España es obligatorio seguir las pautas establecidas de la Gestión Integrada de Plagas, Enfermedades y Malas Hierbas (GIP) para el control de hierbas adventicias, cumpliendo con el Real Decreto

1311/2012, de 14 de septiembre, obligatorio desde el año 2014, que transpone a la legislación española la legislación europea para conseguir el uso sostenible de productos fitosanitarios (Directiva 2009/128/EC).

La Gestión Integrada de Plagas, Enfermedades y Malas Hierbas se promueven en Europa el 21 de octubre del año 2009, cuando el Parlamento Europeo y el Consejo aprueban dos nuevas normativas en materia de comercialización y utilización de los plaguicidas en la Unión Europea. En primer lugar, el Reglamento (CE) n.º 1107/2009 con el que se establece una regulación de la comercialización de productos sanitarios; en segundo lugar, la Directiva 2009/128/CE para la creación de un marco de actuación común en los países miembros de la Unión Europea para conseguir un uso sostenible de los fitosanitarios. El objetivo de esta nueva legislación es “reducir los riesgos y los efectos de la utilización de plaguicidas en la salud humana y en el medio ambiente”, a la vez que fomentar el uso de nuevos métodos alternativos al control químico. La aplicación de esta nueva normativa es obligatoria en todos los países miembros de la Unión Europea. En España entró en vigor con la publicación en el Boletín Oficial del Estado del Real Decreto 1311/2012, por el que se establece un marco de actuación nacional para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios, y el Real Decreto 1702/2011, de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios. En esta nueva legislación se contempla la “realización de un Plan de Acción Nacional que establezca un cronograma de actuaciones, además de los objetivos cuantitativos, metas y medidas necesarias para garantizar el objetivo general”. Por otro lado, también se incluyen medidas de protección de zonas sensibles y espacios naturales.

El primer Plan de Acción Nacional para el uso sostenible de productos fitosanitarios tuvo vigencia desde 2013 hasta 2017, y actualmente está en vigor un nuevo Plan de Acción Nacional para el uso sostenible de productos fitosanitarios, cuya duración está prevista de 2018 a 2022. Dentro del Plan Nacional 2013-2017, se estableció la elaboración de una serie de Guías de Gestión Integrada de Plagas para los principales cultivos. La función de estas guías es servir de referencia a agricultores y asesores para conseguir implantar los principios de la gestión integrada de plagas en toda la producción agrícola nacional, uno de los requisitos para todas las explotaciones agrícolas que desarrollen su actividad en España. Las Guías de Gestión Integrada de Plagas se pueden encontrar en la página web del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), y se apoyan sobre una serie de principios. En primer lugar, cuando los niveles poblacionales de organismos nocivos estén por debajo de niveles perjudiciales se deberán realizar estrategias de control diferentes al químico (rotación de cultivos, falsa siembra, utilización de variedades resistentes...). Por el contrario, cuando sí se superen dichos niveles y sea necesario intervenir, se podrá utilizar medidas de control químico, aunque se antepondrán métodos de control diferentes a este (control biológico, biotecnológico, mecánico...). En segundo lugar, se deberá llevar un seguimiento de la plaga y se mantendrá un historial de incidencias de las fincas en producción. Por último, los productos fitosanitarios deberán ser específicos para la plaga en cuestión y se comprobará su eficacia con los datos del registro de dicho producto. Cuando sea necesaria su utilización se deberá optimizar la dosis, limitándose a lo necesario para el control de la plaga. Y, por último, en el caso de que se hayan documentado resistencias a una materia activa, que se vaya a utilizar, se realizarán las estrategias convenientes para evitar su aparición con el objetivo de mantener la eficacia del producto (MAPA, 2020).

Las guías publicadas por el MAPA también muestran varios aspectos generales de los planes de Gestión Integrada, entre los cuales hay varias obligaciones y prohibiciones. En cuanto a la utilización de productos fitosanitarios, se podrán usar sólo aquellos autorizados en el Registro de Productos Fitosanitarios. Para garantizar que se cumplen las medidas de seguridad se deberán: cumplir estrictamente los plazos de seguridad para cada producto, que serán indicados por el fabricante; llevar un registro de las materias activas utilizadas en cada parcela; reutilizar los restos de productos de otras aplicaciones o eliminarlos siguiendo las medidas de seguridad según el artículo 39 del R.D. 1311/2012; entregar los productos caducados y los envases vacíos a un gestor de residuos autorizado y puntos de recogida autorizados respectivamente; y revisar y calibrar la maquinaria necesaria con

frecuencia por el titular. Por último, el manual establece una serie de prácticas que pasan a estar prohibidas tales como la utilización de calendarios de tratamientos, el abandono del control de plagas sin haber finalizado el ciclo del cultivo, el vertido de residuos cerca de zonas sensibles y la aplicación de productos fitosanitarios en condiciones meteorológicas desfavorables.

De acuerdo con lo expuesto, el control de *C. album* tanto en España como el cualquier país miembro de la Unión Europea deberá seguir las pautas de la Gestión Integrada.

## **1.4. Métodos de control de hierbas adventicias**

### **1.4.1. Métodos culturales**

Las prácticas culturales se basan en favorecer al cultivo frente a la hierba en cuestión, reducir la competencia de la adventicia y prevenir nuevas infestaciones. Algunas forman parte de prácticas agrícolas habituales en campos de cultivo, como por ejemplo la rotación de cultivos, la planificación del abonado o el transplante (en lugar de siembra directa). A parte de las anteriormente mencionadas, otras prácticas culturales recomendadas para el manejo de adventicias son las cubiertas vegetales, los cultivos adyacentes, la limpieza del material agrícola (maquinaria, material para aplicación de fitosanitarios, etc), el diseño del marco de plantación, la incorporación de restos vegetales al suelo o la elección de variedades que se adapten a las condiciones específicas del cultivo. La mayoría son medidas preventivas que evitan la entrada de semillas de adventicias o eliminan las semillas que ya se encuentran en el cultivo y pueden poner en riesgo la siguiente cosecha. Varias de estas prácticas traen beneficios para el suelo como, por ejemplo, la incorporación de restos de cosecha. Estos restos aumentan el contenido en materia orgánica y, debido a las propiedades alelopáticas que tienen, ejercen un efecto herbicida que inhibe la germinación de las semillas o reduce el crecimiento de las plántulas. La rotación de cultivos es otra práctica muy común, sobre todo en cultivos cerealícolas, aunque es recomendable en todos. Según Tariq *et al.* (2019), la rotación es una práctica de la que se tiene constancia desde la época de la Antigua Grecia. Sin embargo, con la llegada de los primeros herbicidas sintéticos esta práctica se abandonó. La rotación tiene varios beneficios para el suelo y los cultivos: permite aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, aumenta la productividad y evita la reducción de los recursos del suelo. Además, sus propiedades alelopáticas permiten controlar las poblaciones de adventicias. Eso significa que favorece la reducción de herbicidas de síntesis. Según Bowles *et al.* (2020), la rotación aumenta la resistencia de los cultivos frente a situaciones climáticas adversas. Gagnon *et al.* (2019) demostraron que se consiguen mayores rendimientos en maíz y soja en sistemas de rotación con trigo comparado con monocultivos. Se tiene constancia de que varias de estas prácticas tiene una alta eficacia en el control de *C. album*. Las guías de Gestión Integrada de Plagas (MAPA) recomienda en la mayoría de los cultivos llevar a cabo dichas prácticas, como veremos más adelante.

### **1.4.2. Métodos mecánicos y físicos.**

Los métodos de control mecánicos y físicos engloban, de carácter general, todo lo relacionado con enterrar, cortar, cubrir, arrancar, asfixiar o quemar hierbas adventicias. La escarda manual es el procedimiento más antiguo para el control de adventicias en la agricultura. El interés por el uso de las labores mecánicas para el control de las hierbas adventicias ha incrementado en las últimas décadas debido a la opinión pública sobre los herbicidas químicos y el auge de la agricultura ecológica (Pannacci y Tei, 2014; Melander *et al.*, 2005; Kunz *et al.*, 2018). Es más, con el surgimiento de los planes de Gestión Integrada en Europa, el interés fue en aumento. Dichos planes también contemplan la posibilidad de un uso combinado de diferentes estrategias. Es por ello que se planteó complementar el control químico con labores mecánicas para incrementar su eficacia o incluso la posibilidad de sustituirlo completamente, con el fin de reducir la dependencia de los herbicidas y la aparición de resistencias (Kunz *et al.*, 2018). Sin embargo, varios autores afirman que su eficacia no es comparable con el control químico. El control

mecánico tiene un gran potencial en la gestión de las adventicias si se acompaña con el control químico. Sin embargo, es necesario estudiar en qué cultivos y hierbas su eficacia es la mejor. De este modo, se podrá definir una estrategia que funcione a largo plazo (Melander *et al.*, 2005).

El control físico de las hierbas adventicias surgió como alternativa al control químico y al volteo del suelo que conlleva el control mecánico. Sabemos que el volteo, además de modificar la estructura del suelo, promueve la germinación de las semillas. De este modo, si evitamos voltear el suelo se reduce la germinación de adventicias y, por tanto, conseguimos un mejor control de ellas (Rasmussen, 2003). Entre los métodos de control físico encontramos el uso del fuego, controlado o sin control (*flaming* en inglés), el vapor a alta temperatura (*soil steaming* en inglés) y la solarización. Todos ellos se han incluido en el control de adventicias de cultivos como el maíz, la remolacha azucarera y otros cultivos que conforman hileras (Upadhyaya y Blackshaw, 2007). La principal ventaja que presenta esta alternativa, y la más importante, es la reducción del uso de herbicidas para el control de adventicias. Sin embargo, este método tiene, como todos los expuestos, algunos inconvenientes. El más destacable sin duda es el gran coste que conlleva realizarlos, sobre todo en combustible (Ascard, 1995). Bajwa *et al.* (2015) consideran que métodos como el mecánico y el térmico, que han demostrado dar buenos niveles de control, son compatibles con el desarrollo de sistemas de producción más modernos y sostenibles y su uso está permitido en agricultura ecológica. A continuación, se hará una breve explicación de los métodos físicos más conocidos.

El tratamiento conocido como *flaming* o *flame weeding* en inglés, ha sido la opción predominante en cultivos en hileras de germinación lenta, como el maíz (Melander *et al.*, 2005). El aspecto de la germinación es esencial para usar este método ya que, si emergen ambos al mismo tiempo, se dañaría al cultivo con las llamas. Por el contrario, si emergen primero las adventicias, se puede llevar a cabo sin deteriorar el cultivo. Según Upadhyaya y Blackshaw (2007), el uso del *flaming* como método de control es el más extendido y usado entre los tratamientos térmicos mencionados en América. Se introdujo para el manejo de arvenses en 1940 en las explotaciones de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en Estados Unidos. Sin embargo, su uso no está tan popularizado en Europa. La base de este método consiste en aumentar la temperatura en la planta, provocando la ruptura de sus células y su posterior desecación (Mutch *et al.*, 2008). La principal ventaja del *flaming* es que no deja residuos, no modifica la estructura del suelo y mantiene intactas las raíces de los cultivos. Asimismo, puede usarse en cualquier tipo de suelo, independientemente de su textura, profundidad o humedad. Sin embargo, tiene el gran inconveniente de consumir grandes cantidades de combustibles fósiles (como el gas natural o el propano), de incidir negativamente sobre la fauna del suelo, de tener una baja selectividad y de necesitar más de una aplicación para conseguir buenos resultados (Ascard, 1995). Además, se debe realizar cuando no haya mucho viento y cuando las adventicias estén secas, pues la humedad puede disminuir la eficacia del tratamiento. Debido a su baja selectividad, se suele combinar con labores mecánicas de postemergencia para aumentar la eficacia (Upadhyaya y Blackshaw, 2007). Ascard (1995) recalca que es esencial planificar el tratamiento cuando la hierba se encuentre en el momento más susceptible para aumentar la productividad del tratamiento y del combustible utilizado. Según Mutch *et al.* (2008), las adventicias de hoja ancha son más susceptibles que las de hoja fina. También señala que la mejor eficacia se consigue cuando tienen una altura entre 2,5-5 cm y un estado fenológico de 3 a 5 hojas. En la susceptibilidad también influye la anatomía de la planta. Si el punto de crecimiento de la adventicia se encuentra bajo tierra, el calor de la llama no es capaz de penetrar y no tendría el mismo efecto supresor. Existen dos tipos de tratamientos térmicos: aquellos que producen una llama mediante una reacción de combustión y aquellos que emiten radiación infrarroja cuando se calienta un objeto. Según Ascard (1998), los que emiten una llama presentan mejores tasas de control en *Sinapsis alba*, una dicotiledónea anual como *C. album*, cuando esta se encontraba en estado de 4 hojas. Sin embargo, en estado de cotiledón las mejores tasas se consiguieron con la radiación infrarroja. Por otro lado, la velocidad efectiva de trabajo era mayor en la llama, así como la temperatura alcanzada.

Katan *et al.* (1976) propusieron la utilización de cubiertas plásticas para el control de patógenos y enfermedades mediante desinfección térmica, en lugar de utilizar métodos químicos más caros. Se trata del método de la solarización, muy extendido en nuestra agricultura actual. De acuerdo con Bello *et al.* (2000), la eficacia de la solarización es comparable a la de los fumigantes convencionales, como el conocido bromuro de metilo. A partir del Protocolo de Montreal (1987), se estableció el control y eliminación final del bromuro de metilo como desinfectante del suelo, junto con otros compuestos como los CFCs y halones, por su alta toxicidad para el medio ambiente y por dañar la capa de ozono. En Europa, el uso del bromuro de metilo está regulado según el Reglamento (UE) n.º 1087/2013 de la Comisión, del 4 de noviembre de 2013, que modifica el Reglamento (CE) n.º 1005/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al uso del bromuro de metilo. El mecanismo de acción de la solarización incluye procesos físicos, químicos y biológicos (Ioannou, 2000). El suelo se riega y se cubre con un acolchado durante un largo periodo de tiempo, normalmente entre 4-5 semanas durante los meses de verano (Upadhyaya y Blackshaw, 2007). A causa de la radiación solar, se produce un aumento de la temperatura en el interior que desinfecta el suelo. En nuestras zonas agrícolas, es un método de desinfección viable para realizar durante los meses de verano. De hecho, la solarización es muy común en explotaciones ecológicas donde los herbicidas o fungicidas de síntesis están prohibidos. El resultado es una reducción del número de patógenos (hongos, bacterias, nemátodos, adventicias e insectos). Stapleton y DeVay (1986) afirman que la solarización también mejora la calidad del suelo, pues aumenta la proliferación de microorganismos beneficiosos e incrementa el contenido de nutrientes disponibles en el suelo, que resulta en un aumento del rendimiento final de la cosecha. Ioannou (2000) consiguió mejorar los rendimientos en tomate en suelos solarizados. Se ha demostrado que el efecto desinfectante de la solarización mejora con la aplicación de estiércol u otra enmienda orgánica, conocido como biosolarización, debido a que permite incrementar la temperatura del suelo entre 1 y 3°C más y se generan gases biotóxicos volátiles durante su descomposición (Upadhyaya y Blackshaw, 2007; López-Martínez *et al.*, 2006; Ioannou, 2000; Bello *et al.*, 2000). Para llevar a cabo la solarización se utilizan con más frecuencia cubiertas plásticas. El material por excelencia es el polietileno transparente. También podemos encontrar polietileno negro, pero se ha demostrado que emite parte de la radiación absorbida hacia el exterior. Con lo cual, las temperaturas que se alcanzan en el suelo son menores comparado con el polietileno transparente. Cuando se usa polietileno transparente, el resultado que se consigue es similar a lo que ocurre en un invernadero. La radiación incide sobre la superficie, y parte de esa radiación es absorbida y transmitida al suelo. Esta energía se transforma en calor y aumenta la temperatura del suelo. La cubierta plástica evita que se evapore el agua contenida en el suelo y también evita que se pierda radiación en forma de longitud de onda larga. Esta necesidad de plásticos es la principal desventaja de la solarización. Según Upadhyaya y Blackshaw (2007), en la última década se han propuesto alternativas al plástico como ceras parafínicas o restos vegetales, pero ninguna ha tenido la misma eficacia que el polietileno.

La técnica de la vaporización del suelo o *soil steaming* consiste en esterilizar el suelo aplicando vapor a alta temperatura. Normalmente el vapor se aplica sobre los primeros 5-6 cm del suelo, causando la muerte de las semillas acumuladas. Por lo tanto, permite conseguir un control efectivo y a largo plazo. Las semillas de *C. album*, al ser de pequeño tamaño, pueden germinar si se encuentran en los primeros 2 cm de suelo. De manera que la vaporización del suelo sería una opción interesante para el control de esta adventicia. Según Upadhyaya y Blackshaw (2007), la emergencia de plántulas de adventicias se redujo en un 99% cuando se aplicó vapor a 70°C sobre el suelo. Asimismo, afirman que existen determinados cultivos que han demostrado ser tolerantes a las altas temperaturas del vapor. Entre ellos se encuentran la remolacha azucarera, el maíz, el puerro (*Allium porrum* L.), la cebolla y la zanahoria. La vaporización del suelo también tiene sus inconvenientes: tiene un gran consumo de energía, es muy laborioso y daña los microorganismos del suelo. Se requieren grandes cantidades de combustibles fósiles como el diesel, lo que supone un coste medioambiental y económico. Cabe mencionar que este último es muy variable, pues depende del precio del combustible en el mercado. Upadhyaya y Blackshaw (2007) señalan que se necesitan entre 70-100 horas, lo que equivale a 3-4 días, para completar una hectárea. Por eso, surgió

como alternativa la aplicación de vapor en bandas (*band steaming* en inglés), que consiste en aplicar vapor a un volumen de suelo limitado, normalmente sobre el espacio que hay entre las filas del cultivo (Melander *et al.*, 2005). Sin embargo, se ha demostrado el efecto letal que tiene el uso del vapor en el suelo sobre los organismos del suelo. De acuerdo con los estudios de Melander *et al.* (2004), las altas temperaturas inhiben la actividad de las bacterias responsables de la oxidación del amonio a nitritos, de enzimas y de hongos beneficiosos para el suelo. El proceso de recuperación es largo, aunque no se sabe con certeza de cuánto tiempo se trata. Sin embargo, las condiciones físicas y químicas del suelo (pH, contenido de agua, contenido de nitratos, etc) no se vieron afectadas.

### 1.4.3. Métodos químicos

Hasta principios del siglo XX, el control de adventicias se llevaba a cabo mediante labores mecánicas y con el uso de sales inorgánicas, como el sulfato de cobre en cereales, que tenían una baja eficacia y selectividad (Labrada *et al.*, 1996). La historia comienza cuando en 1892 apareció en el mercado el primer herbicida bajo el nombre de dinitro-ortocresol o DNOC, un compuesto que se usaba también como fungicida e insecticida. A día de hoy está prohibida su comercialización y uso en la agricultura debido a su elevada toxicidad para el ambiente y la salud humana (Bidstrup y Payne, 1951; Parker *et al.*, 1951). Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) surgieron en el mercado los primeros herbicidas selectivos que todavía se utilizan en la agricultura actual. En los años cuarenta aparecieron las auxinas sintéticas compuestas a partir de derivados del ácido indolacético (IAA), hormona natural de las plantas. Las primeras en comercializarse fueron el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y el ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCPA) (Mithila *et al.*, 2011). Este grupo de herbicidas, las auxinas sintéticas (grupo O), son el tercero más utilizado en el mundo, siendo el 2,4-D el más utilizado de este grupo (Busi *et al.*, 2018). Dichas auxinas son compuestos que generan una respuesta similar al ácido indolacético, sólo que con más intensidad que el anterior debido a su mayor estabilidad en la planta (Grossmann, 2010). Estas auxinas no sólo se usan como herbicidas, sino también como reguladores del crecimiento. En cítricos, se pueden usar para incrementar el calibre de los frutos y aumentar la producción, lo que se conoce como engorde (Agustí *et al.*, 2003). Esto ocurre cuando se dan en pequeñas concentraciones. Por el contrario, si la concentración aumenta, el efecto que se obtiene es todo lo contrario: reducción del crecimiento, deterioro de los tejidos y, finalmente, senescencia (Grossman, 2010). El 2,4-D y el MCPA fueron los primeros herbicidas selectivos, especialmente en dicotiledóneas de hoja ancha, de bajo coste y con bajo poder residual. Más tarde surgieron otras auxinas como el famoso dicamba, clopiralida, picloram y quinclorac. En los años cincuenta aparecieron los herbicidas del grupo de las triazinas (grupo C1, C2). El más conocido es la atrazina, que se extendió en el cultivo del maíz, sorgo, caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y trigo (Hanson *et al.*, 2020). Es el herbicida con más casos documentados de resistencias en *C. album* y su uso no está permitido en Europa desde 2004 (Pannaci y Onofri, 2016; Bajwa *et al.*, 2019). En 1974, la compañía Monsanto pone a la venta el herbicida glifosato, bajo el nombre comercial *Roundup*. Es el herbicida más efectivo y usado en el mundo actual según Beckie *et al.* (2020), y uno de los más polémicos. En 1996 se pusieron a la venta los primeros cultivos resistentes al glifosato bajo el nombre comercial *Roundup Ready* (Holt *et al.*, 2013). Casi el 90% de los cultivos transgénicos del mundo son *Roundup Ready* (Verdeguer, 2011). Desde los años noventa se han ido conociendo nuevos casos de resistencia al glifosato. En los años ochenta surgieron los inhibidores ALS (grupo B), cuyo uso se extendió rápidamente en los cultivos de trigo, maíz y soja (Mithila *et al.*, 2011).

La explosión demográfica de las últimas décadas ejerce una enorme presión sobre el sector agroalimentario, pues debe suplir la demanda de alimentos que exige una población cada vez mayor (Bajwa *et al.*, 2015). Varios autores afirman que las hierbas adventicias son uno de los mayores causantes de la pérdida de producción debido a su competitividad y a las interacciones alelopáticas (Bajwa *et al.*, 2015; Bajwa *et al.*, 2019; Alebrahim *et al.*, 2012). De acuerdo con Tworkoski (2002), el control de adventicias es aún más complicado en la agricultura ecológica, donde el uso de herbicidas está más limitado. El método

de control predominante en países desarrollados es el químico, que ha permitido durante años un control eficaz, económico y con efecto a largo plazo de adventicias en los campos de cultivo (Bajwa *et al.*, 2015). Sin embargo, en las últimas décadas se ha demostrado que este método no es la panacea para el manejo de las adventicias. El uso continuado de herbicidas ha alterado la dinámica poblacional de las adventicias con la aparición de biotipos resistentes a estos (Kniss *et al.*, 2007).

La introducción de estos herbicidas a lo largo de los años ha revolucionado el sector agroalimentario, permitiendo un mejor manejo de las arvenses, una mayor intensificación de la producción y una mejora del rendimiento. No obstante, se ha demostrado en numerosas ocasiones que no se debe enfocar el control de estas hierbas en este método en exclusiva.

#### **1.4.4. Métodos biológicos y bioquímicos**

El aprovechamiento de microorganismos vivos, o de compuestos provenientes de estos, supone una herramienta eficaz en el control de plagas en cultivos. Este método tiene la principal ventaja de tener una baja incidencia de casos de resistencias, ser altamente selectivos y respetuosos con el medio (Evidente *et al.*, 1998). La lucha biológica ha prosperado, sobre todo, en sistemas bajo plástico como los que encontramos en el sur de España. Sin embargo, se ha verificado el control de adventicias por ciertos organismos, el control biológico no ha prosperado lo suficiente como para que se consolide como un método eficaz comparado con los herbicidas. Desde la aparición de las primeras resistencias a herbicidas, la comunidad científica se centró en la búsqueda de alternativas más respetuosas con el medio ambiente y que permitieran un control eficiente a largo plazo. Aunque son pocos los organismos que se han propuesto para el manejo de *C. album*, se tiene evidencias de la existencia de hongos e insectos que atacan a esta arvense. Estos organismos son una herramienta muy valiosa por sus sostenibilidad y respeto por el medio ambiente, que encaja en sistemas de producción ecológica y en la Gestión Integrada de Plantas.

#### **1.4.5. Métodos biotecnológicos**

El aumento de la población mundial y la creciente preocupación por la seguridad alimentaria y el cambio climático son las principales motivaciones para la creación de nuevos sistemas de producción que cubran estas necesidades y, además, se adapten a ambientes de mayor estrés ambiental, aumento de enfermedades y plagas, etc. Ahí es donde la biotecnología puede tomar parte y liderar este cambio. La incorporación de la biotecnología, a pesar de haber sido relativamente reciente, ha sido clave en la creación de nuevas herramientas para la mejora de la productividad y seguridad alimentaria en muchas zonas agrícolas. Las herramientas, basadas en la modificación genética, han permitido la obtención de nuevas variedades y de técnicas de cultivo más avanzadas y adecuadas a las condiciones de cultivo (Slater *et al.*, 2008). Sin embargo, son varios los autores que advierten sobre las consecuencias del uso de cultivos transgénicos para el medio ambiente y la salud humana (Bonny, 2016).

Los principales objetivos de la modificación genética de plantas se han centrado principalmente en la resistencia a insectos y herbicidas, de los cuales se pueden beneficiar enormemente los agricultores. En el segundo caso, la introducción de cultivos resistentes ha permitido el control de adventicias mediante el uso masivo de herbicidas sin producir daño alguno en las plantas. La opinión pública sobre la utilidad de los organismos modificados genéticamente (OMG) ha influido enormemente en su comercialización y autorización en regiones de todo el mundo. En los últimos años ha ido creciendo una fuerte disconformidad con estos cultivos en algunas partes del mundo, mientras que en otras se les considera seguros y de gran utilidad para afrontar los problemas en el futuro (Bonny, 2016).

## 2. Resultados

### 2.1. Prácticas culturales

Melander *et al.* (2005) defienden que la competitividad del cultivo puede jugar un papel importante en el control de adventicias, pues aquellas especies que desarrollan una masa foliar densa que cubra la mayor superficie posible son mucho más competitivas. Por el contrario, en especies que se disponen en filas y que desarrollan poca masa foliar, hay una mayor posibilidad de incidencia de adventicias y el nivel de intervención necesario será mayor. Grundy *et al.* (2004) comprobaron lo mismo con coles: su rápido crecimiento permitía que desarrollara una cubierta foliar tupida que privaba de luz a las plantas de *C. album*. El resultado fue una reducción del peso seco y de la producción de semillas. Bajo esta afirmación se ha propuesto la posibilidad de estrechar el marco de plantación, de manera que la distancia entre plantas sea menor, o la utilización de cubiertas vegetales que cubran la superficie. Grundy *et al.* (2004) comprobaron que, cuando las densidades de plantación son altas y en compañía de cultivos muy competitivos como las coles, las plantas de *C. album* tenían menor peso en fresco y la producción de semillas era también mucho menor. Al cuadruplicar el marco de plantación en coles, se obtuvo una reducción del 67% del número de semillas con respecto a la cebolla a baja densidad. Bajwa *et al.* (2019) coinciden en que un marco de plantación más estrecho permite reducir la emergencia de *C. album* y aumentar la competitividad del cultivo. El cultivo de remolacha azucarera en alta densidad es capaz de reducir la emergencia de *C. album* (Heidari *et al.*, 2011). Sin embargo, se debe tener en cuenta las necesidades del cultivo para determinar el mínimo espacio que necesitan para desarrollarse adecuadamente. De no ser así, las plantas del cultivo competirían entre sí mismas.

La técnica de la falsa siembra es una práctica común para el control de adventicias en los cultivos de secano. Según la *Sociedad Española de Malherbología* (2020), se trata de una labor superficial acompañada de la humedad adecuada para provocar nascencia de las hierbas adventicias y poder eliminarlas después mediante métodos químicos o mecánicos antes de comenzar el cultivo. Esta práctica es frecuente en los cereales y se suele realizar de manera que coincida con las lluvias de otoño (González, 2006). En el caso de los cereales que son afectados por *C. album*, esta alternativa es interesante para reducir las poblaciones hasta niveles tolerables. Además, es aplicable en sistemas de conservación y en producción ecológica si se combina con un pase de escarda final para arrancar las plántulas de esta hierba. En el resto de los cultivos se puede implementar mediante un riego abundante para provocar su germinación. No obstante, dado que *C. album* germina en primavera, esta práctica sólo se puede realizar en los meses previos. En ciclos de producción de verano se puede realizar antes de comenzar el cultivo y en los de invierno se puede utilizar durante los meses de descanso. El efecto de la falsa siembra es acumulativo, es decir, las tasas de control aumentan a medida que se suceden ciclos. Este efecto es general en todas las adventicias. En el caso de *C. album*, van der Weide *et al.* (2002) estudiaron la eficacia de este método en dos años consecutivos. En el primero se obtuvo hasta un 49% de control, mientras que al año siguiente aumentó hasta a un 92%. También comprobó que cuanto más cerca de la fecha de siembra, mejores tasas se obtenían.

Las guías de Gestión Integrada de Plagas y Enfermedades del MAPA recomiendan la rotación de cultivos como estrategia de prevención de resistencias a herbicidas. Según Bhowmik (2003), la rotación de cultivos es una herramienta eficaz para el manejo de adventicias. Cheema y Khaliq (2000) proponen la utilización del sorgo en sistemas de rotación, pues la incorporación de sus restos vegetales en el suelo tras la cosecha redujo 40-50% el peso seco de arvenses (entre ellas, *C. album*) e incrementó el rendimiento del trigo en un 15%. Bhowmik (2003) señala que el girasol en rotación permite controlar especies arvenses problemáticas. Los factores que determinan la supresión de la germinación de las adventicias son químicos, debido a interacciones alelopáticas, y físicos, ya que los residuos impiden la penetración de la luz del sol y el calentamiento del suelo.

A pesar de que se recomiendan con más frecuencia en cultivos arbóreos, varios autores afirman la eficacia de las cubiertas vegetales en cultivos herbáceos para el control de *C. album*. Según Bajwa *et al.* (2019), las cubiertas ofrecen un control eficaz en el cultivo del trigo. El mismo autor señala que introducir cultivos perennes permite reducir el banco de semillas y que el uso de cubiertas hechas a base de *Vicia villosa* Roth dificultó la germinación de *C. album* en maíz, sin producir efecto negativo alguno sobre este último. Según Hatcher y Melander (2003), el asentamiento y crecimiento de las adventicias se reduce debido a que compiten con la cubierta por los nutrientes y el agua, así como las posibles interacciones alelopáticas que pueden ocurrir. No obstante, pueden presentar algunas dificultades a la hora de ponerlo en práctica en los campos de cultivo. De acuerdo con los mismos autores, se ha demostrado que las cubiertas de centeno en el cultivo de maíz a baja densidad pueden controlar las infestaciones de *C. album*, mientras que es incapaz a altas densidades. Esto supondría reducir la producción por hectárea y, por tanto, una reducción del beneficio final. Las cubiertas plásticas en cultivos hortícolas intensivos también permiten un control eficaz de las arvenses, ya que el efecto es similar al de las vegetales. No obstante, no permite aprovechar las propiedades alelopáticas de ciertas especies y aumenta el consumo de plásticos.

Por último, *C. album* responde positivamente a las aplicaciones de fertilizantes minerales, sobre todo de nitrógeno y fósforo (Bajwa *et al.*, 2019). Recordemos que Alshallash (2018) comprobó que las aplicaciones de nitrato potásico a semillas de *C. album* favorecían la germinación. Es por ello que se recomienda fraccionar los abonos nitrogenados o planificar la aplicación de manera que no coincida con el momento más competitivo del cultivo. Todo ello procurando realizar los abonados cuando el cultivo lo necesite.

## **2.2. Control mecánico y físico en *C. album***

Las labores mecánicas en la agricultura convencional sirven para la preparación, modificación y mantenimiento del terreno para el cultivo. Entre estas funciones, se incluye la eliminación de plantas adventicias no deseadas mediante labores como escarda, pase de cultivador o pase de gradas con varillas flexibles. Sin embargo, el laboreo tiene una serie de efectos negativos como el aumento de la erosión y la pérdida del suelo. Para reducir el impacto de las labores sobre el suelo surgió el concepto de laboreo de conservación, que consiste en dejar al menos un 20-30% de la superficie cubierta por restos vegetales para prevenir las pérdidas de suelo (Osca, 2007). De acuerdo con Gruber y Claupein (2009), el laboreo de conservación permite aumentar el contenido en materia orgánica (se reduce la tasa de mineralización) y la vida microbiana del suelo, además de proteger el suelo de la erosión por el viento y corrientes de agua. Por otro lado, se reducen los costes de producción y las emisiones de dióxido de carbono. Los agricultores pueden reducir hasta un 40% el laboreo y el combustible (Chauhan *et al.*, 2012). Los rendimientos de cosecha que se pueden alcanzar con un sistema de conservación son equiparables a aquellos en sistemas convencionales (Chauhan *et al.*, 2012). Existen varios sistemas de laboreo de conservación, como por ejemplo la siembra rápida, el mínimo laboreo o la siembra directa, donde se sustituye una labor profunda por el uso de un herbicida para el control de adventicias. Sin este último, no habría sido posible el desarrollo de las técnicas de conservación (Osca, 2007). Esto se contradice con el enfoque anteriormente mencionado (*many little hammers approach*), ya que estos sistemas tienen una gran dependencia del control químico. Según Gruber y Claupein (2009), a pesar de las ventajas que presenta este sistema, algunos agricultores son reticentes a incorporarlas ya que prefieren las labores más profundas para controlar la propagación de adventicias.

Las labores mecánicas tienen varias consecuencias para el cultivo, y es por ello que es necesario establecer las condiciones de laboreo adecuadas para el control de adventicias. En primer lugar, es esencial definir el momento de realización: labor temprana, cuando la adventicias son pequeñas y están poco enraizadas, o labor tardía, cuando las hierbas han avanzado en su crecimiento y han formado un buen sistema de raíces. Según Pardo *et al.* (2006), en el cultivo del maíz es mejor realizar una labor temprana con grada de varillas ya que se trata de un cultivo poco competitivo frente a

adventicias, pero conlleva el riesgo de no eliminar completamente todas las hierbas o favorecer la germinación de más. Esto último se debe a la hipótesis de que, al remover la tierra, las semillas acumuladas en el banco del suelo reciben la luz necesaria para germinar (Dorado *et al.*, 1994; Gruber y Claupein, 2009). En base a esta hipótesis se ha propuesto la posibilidad de realizar las labores mecánicas por la noche o utilizando coberturas opacas a la luz, pero no se han obtenido resultados concluyentes (Melander *et al.*, 2005). Una labor tardía permite arrancar las hierbas más fácilmente, pero eso significa que permanecerán más tiempo en el suelo compitiendo por los nutrientes y el agua que necesita el cultivo. En segundo lugar, se debe determinar la profundidad de la labor: cuanto mayor sea, mejor elimina las adventicias. No obstante, se causan mayores daños a las plantas cultivadas, lo que se traduce en una reducción del rendimiento de la cosecha (Melander *et al.*, 2005). Por lo tanto, es necesario establecer a qué profundidad se consigue un control eficaz, haciendo el menor daño posible al cultivo y sin comprometer la producción.

En la agricultura convencional, las labores profundas que voltean o remueven el suelo (arado de vertedera o grada de discos) han sido utilizadas para eliminar las hierbas adventicias que hayan podido surgir en los cultivos. Los aperos arrancan las plantas de raíz, o las rompen, y entierran las semillas a una profundidad suficiente para evitar su germinación y emergencia (Chauhan *et al.*, 2012). Según Gruber y Claupein (2009), al enterrar a una profundidad de 20 cm semillas pequeñas se puede inhibir la germinación. Por lo tanto, bajo esta afirmación se puede deducir que un pase de arado de vertedera sería suficiente para inhibir la germinación y, por tanto, la emergencia de plantas de *C. album*. Sin embargo, el propio autor reconoce que, al tratarse de una semilla con una alta longevidad, podría sobrevivir durante varios años en el suelo y, eventualmente, germinar. Es más, el volteo podría ser el desencadenante de esta, dado que se expone la semilla a la luz y aumenta la concentración de oxígeno en el suelo. Recordemos que en semillas de *C. album* la germinación aumenta un 50% cuando está expuesta a ciclos de luz y oscuridad, en comparación con ciclos constantes de oscuridad (Alshallash, 2018). Por otro lado, sabemos que *C. album* presenta el fenómeno de la latencia y que puede mantener su viabilidad durante muchos años, así que esta opción podría no ser interesante. Mishra y Singh (2012) coinciden también en que el laboreo, especialmente el superficial (profundidad de trabajo menor de 10 cm), provoca que la mayoría de las semillas se acumulen en la superficie, favoreciendo su germinación y emergencia. También hay que tener en cuenta que el pase de la maquinaria durante las labores del suelo puede ser un foco de dispersión de adventicias, pues las semillas pueden adherirse a las ruedas. Por esta razón se recomienda la limpieza de la maquinaria entre pases.

Las guías de Gestión Integrada de Plagas (MAPA, 2020) proponen estrategias de control mecánico para aquellos cultivos afectados por *C. album*. En el cultivo del girasol, las labores mecánicas consiguen un buen control de dicotiledóneas anuales (como *C. album*) antes y durante el cultivo, sobre todo si se realizan en sus primeros estadios de desarrollo y antes de la floración. Los manuales sugieren realizar pases de cultivador previo a la siembra para reducir las poblaciones de *C. album* en otoño y principios de primavera. Durante el cultivo, recomiendan realizar más pases de cultivador entre filas antes de que alcance el estado de 6 hojas. También plantean el empleo de rastra de varillas flexibles por toda la superficie del cultivo cuando esté bien arraigado. En el cultivo del maíz recomiendan utilizar labores que entierren o que arranquen cuando *C. album* se encuentre en estado de plántula. Sugieren utilizar labores de escarda entre filas de cultivo, gradas de varillas flexibles o cultivador entre líneas. Los manuales señalan que la remolacha es muy sensible a la competencia con adventicias en sus primeras fases de crecimiento, pero más tarde produce una cubierta foliar que la vuelve más competitiva. Por lo tanto, se recomienda actuar durante las primeras semanas para ayudar al cultivo, como realizar laboreo del suelo antes de la siembra para eliminar hierbas. En el cultivo de la patata, recomiendan la escarda mecánica con pase de cultivador entre filas realizando un aporcado del caballón. En el caso de cultivos en llano con riego por aspersión sugieren usar grada de varillas flexibles.

A pesar de que el control de las adventicias en el laboreo de conservación puede presentar más desventajas que en el convencional (Chauhan *et al.*, 2012), algunos autores afirman que en el cultivo del trigo se pueden controlar las poblaciones de *C. album* en sistemas de no laboreo. Mishra y Singh (2012) comprobaron que se conseguían menores tasas de densidad de *C. album* (plantas m<sup>-2</sup>) en trigo en un sistema de no laboreo, mientras que en los años sucesivos no se registraron incidencias de más infestaciones. Bajwa *et al.* (2019) también coinciden en que los sistemas de no laboreo son eficientes en el control de *C. album*. Según Chauhan *et al.* (2012), el control de las adventicias en sistemas de laboreo de conservación puede ser problemático en las primeras fases de adopción, pero con el tiempo se consigue reducir la incidencia de adventicias. Paralelamente, este autor propone también todo lo contrario: fomentar la germinación para después tratar las hierbas cuando son más susceptibles y reducir el banco de semillas del suelo. Dado que *C. album* tiene una semilla de tamaño reducido y con tendencia a acumularse en las capas más superficiales del suelo, esta alternativa es una opción viable en sistemas de conservación y con potencial de dar buenos resultados.

La introducción de nuevas tecnologías en el ámbito agrícola ha dado lugar al surgimiento de nuevas metodologías de control que, hasta ahora, han conseguido obtener resultados prometedores y mejorar la eficacia del control actual (Melander *et al.*, 2005). La incorporación de la teledetección, los modelos informáticos y la robótica ha conseguido sofisticar los métodos de control de adventicias y ha dado lugar al nacimiento de la Agricultura de Precisión. La *International Society of Precision Agriculture* (2020) la define como una estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otras informaciones para respaldar las decisiones de manejo de acuerdo con la variabilidad estimada, y así mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola. De acuerdo con Bajwa *et al.* (2015), las innovaciones tecnológicas que incluye la Agricultura de Precisión nos permiten sentar las bases del camino hacia un manejo de las adventicias más selectivo, económico y eficiente. Por esta razón, muchos autores han propuesto en los últimos años incorporar una o varias de estas tecnologías. Fogelberg y Gustavsson (1998) propusieron un método de control mecánico selectivo que fuera capaz de identificar hierbas adventicias de las plantas de zanahoria. Su mecanismo de selección se apoyaba sobre la diferencia en la fuerza de arranque que ofrecen las hierbas adventicias anuales (entre las estudiadas estaba *C. album*) y el cultivo. En sus ensayos comprobaron que la zanahoria, al tener una raíz con buen anclaje, requería mayor fuerza de arranque que las adventicias. De esta manera, se puede programar cualquier máquina que, según la fuerza de arranque, podría diferenciar entre el cultivo y la adventicia. Sin embargo, esta opción presenta dos inconvenientes. Para empezar, se requiere de la equipación y la maquinaria adecuada, además de mano de obra cualificada para llevarlo a cabo. Para Melander *et al.* (2005), estos son los grandes inconvenientes de la Agricultura de Precisión, además de la gran inversión necesaria al inicio. En segundo lugar, la fuerza de arranque puede variar según el estado de desarrollo de la planta y la textura del suelo. Fogelberg y Gustavsson (1998) comprobaron que en suelos limosos y con alto contenido en materia orgánica era necesario ejercer más fuerza de arranque, independientemente del estado de desarrollo de la planta y de la especie. El control mecánico dirigido por cámara es otro de los avances tecnológicos que permiten un control mejor y más preciso. Tradicionalmente la maquinaria se maneja a mano por un operario, pero consumía mucho tiempo y restringía la capacidad de trabajo de la maquinaria y de la mano de obra. Además, se corría el riesgo de dañar el cultivo (Melander *et al.*, 2005). Sin embargo, al incluir una cámara el guiado es automático, lo que permite mayor velocidad de trabajo, dañar menos al cultivo y una mayor precisión, especialmente con las adventicias que pueden aparecer dentro de las filas (*intra-row weeds* en inglés). Kunz *et al.* (2018) comprobaron que con el guiado automático en la labor de escarda se conseguía incrementar un 20% la eficacia del control de hierbas adventicias en remolacha azucarera, maíz y soja (entre ellas, *C. album*). Esto se debía a que, con el control automático, se podía acercar el apero más a las filas de cultivo que con el control manual.

De entre los métodos de control físicos, podemos encontrar algunos con eficacia comprobada en el control de *C. album*. Es el caso de la solarización, el uso del fuego (*flaming*) y el vapor de agua (*soil steaming*) Sin embargo, los dos últimos no están extendidos en nuestras zonas agrícolas. A pesar de las dificultades que puede plantear la técnica del *flaming*, varios autores han apuntado que es una buena estrategia de control de *C. album*. Mutch *et al.* (2008) señalan que es especialmente eficaz en el cultivo del maíz, pues este tiene su principal punto de crecimiento bajo tierra donde las llamas no llegan a dañar la planta. Aunque se quemaran las primeras hojas, esto no afectaría al rendimiento final. Por el contrario, en cultivos como la soja, cuyo punto de crecimiento sí está por encima del suelo, los daños causados pueden reducir el rendimiento final. Bajwa *et al.* (2019) también coinciden en que el uso del fuego ha mostrado ser eficaz en el control de *C. album*. Según Ascard (1995), se obtienen mejores resultados con una sola aplicación entre los estados 0 y 4 hojas. Según el mismo autor, el éxito de esta técnica radica en que *C. album* es una planta sensible a las temperaturas debido a su fino y delicado hipocótilo que, una vez dañado, es incapaz de volver a crecer. Teniendo en cuenta esta última afirmación, se puede concluir que el *soil steaming* también es eficaz en el control de *C. album*. No obstante, recordemos que el uso del fuego para el control de adventicias no están tan extendido y aceptado en Europa por las consecuencias negativas sobre la calidad del suelo.

Son varios los autores que afirman que la solarización es un método eficaz para el control de *C. album*. Upadhyaya y Blackshaw (2007) clasifican a *C. album* como una planta “susceptible” y que se puede controlar completamente mediante solarización. Ioannus (2000) consiguió un control del 90% de *C. album* en tomate con un tratamiento de solarización durante 8 semanas en los meses de julio y agosto. Bajwa *et al.* (2019) afirman también que la solarización es una buena estrategia para reducir el banco de semillas de *C. album* en el suelo.

### 2.3. Control químico

En la agricultura actual son cada vez más frecuentes los casos de resistencias a herbicidas en las adventicias más problemáticas, que han puesto patas arriba los sistemas de producción en muchas regiones agrícolas del mundo (Bajwa *et al.*, 2015). El caso de *C. album* no es una excepción. *C. album* posee la habilidad de sobrevivir y producir semilla resistente a herbicidas tan importantes como el glifosato (Kniss *et al.*, 2007) o las triazinas (Taberner, 2005). Esto es debido a que presenta un alto polimorfismo y una gran plasticidad fenotípica, por lo que dentro de una población de *C. album* pueden darse distintos biotipos con diferentes niveles de susceptibilidad a herbicidas. Un caso peculiar de resistencias es el que documentó Rahman *et al.* (2014), que estudiaron las consecuencias de la aparición de resistencias a la atrazina en *C. album* en los cultivos de maíz en Nueva Zelanda. El desarrollo de esta resistencia provocó que los agricultores comenzaran a usar el herbicida dicamba para controlar las poblaciones resistentes, que a su vez ha llevado al desarrollo de nuevas resistencias a este último. El control químico ha demostrado ser una herramienta útil en el control de *C. album*, pero este debe utilizarse con cautela y en combinación con otros métodos alternativos, que permitan controlar y restringir el crecimiento de poblaciones resistentes a herbicidas (Rahman *et al.*, 2014).

De acuerdo con Bajwa *et al.* (2019), con los herbicidas se obtienen las mejores tasas de control de *C. album*, pudiendo llegar a tasas de control superiores al 95%. Autores como Bajwa *et al.* (2019) y Taberner (2005) elaboraron revisiones de los herbicidas utilizados para el manejo de *C. album*. De ambos trabajos se puede concluir que existe un gran número de herbicidas que permiten un control excelente de *C. album*, que pueden aplicarse tanto en preemergencia como postemergencia. Taberner apunta que en cultivos como el maíz es bastante común encontrar infestaciones de varias especies juntas, en especial de los géneros *Amaranthus*, *Chenopodium* y *Solanum*. Es por ello que en el manejo de las adventicias es más frecuente el uso de mezclas para tratar diferentes especies. La utilización de mezclas con distintos herbicidas de distinto mecanismo de acción, e incluso de aplicación, es cada vez

más frecuente en la agricultura actual. La mezcla de materias activas es un método que ha demostrado ser eficaz para evitar la aparición de resistencias (Pannaci y Onofri, 2016). Sin embargo, algunos herbicidas que aparecen en este tipo de revisiones, como el diquat, el paraquat o las atrazinas, ya no están autorizados en el Registro de Productos Fitosanitarios.

Las auxinas sintéticas (grupo O) como el 2,4-D, dicamba y MCPA, son utilizadas con frecuencia para el control de *C. album*. Como ya se ha mencionado, Rahman *et al.* (2014) indicaron que la expansión de individuos de *C. album* resistentes a la atrazina en el cultivo del maíz en Nueva Zelanda obligó a los agricultores a utilizar otro que permitiera un mejor control. En este caso, fue el dicamba el que más se utilizó, pues permite un control eficiente y económico de *C. album* y de otras hierbas problemáticas. De acuerdo con la revisión de Taberner (2005), *C. album* es sensible a los tratamientos con MCPA y dicamba. Asimismo, las adventicias asociadas a *C. album*, como *Amaranthus* spp., también son sensibles a estos dos herbicidas. Según Bajwa *et al.* (2019), el 2,4-D y el dicamba permiten obtener un control total de *C. album* en trigo. Estas tres auxinas están autorizados en el Registro de Productos Fitosanitarios del MAPA, pero se recomienda alternar sustancias activas con diferentes modos de acción para evitar la propagación de resistencias. Otras auxinas también utilizadas en el manejo de adventicias son la clopiralida y el fluroxipir. Según Taberner ambas no permiten un control eficaz de *C. album*. No obstante, pueden encontrarse en mezclas con otros herbicidas del mismo tipo o de otra familia distinta para el control de otras malezas que acompañan a *C. album*. Por ejemplo, la aplicación de fluroxipir + MCPA en postemergencia en trigo permite un control del 80% de malezas, entre ellas *C. album*, que conlleva una mejora del rendimiento en grano final (Hayyat *et al.*, 2016). La clopiralida y el fluroxipir también están autorizados en el Registro de Productos Fitosanitarios.

El glifosato (grupo G) es el herbicida por excelencia en el control de adventicias en todo el mundo. Es el más vendido y utilizado, aunque en su origen no fue diseñado para utilizarse en explotaciones agrícolas. Según Woodburn (2000), la aparición de prácticas como la agricultura de conservación propició que este compuesto se introdujera en los campos de cultivo. Es un herbicida de amplio espectro, con una gran eficacia y no presenta competencia con otros (puesto que su mecanismo de acción es único), pero con una baja toxicidad para el ser humano (Verdeguer, 2011). *C. album* es sensible al glifosato (Taberner, 2005), y se utiliza con frecuencia en el cultivo del maíz y la soja (Sivesind *et al.*, 2011). Es más, se suele utilizar en solitario, al contrario que otros herbicidas. Bajwa *et al.* (2019) afirman que el glifosato en postemergencia permite un control entre el 94-100% en maíz. El glifosato está autorizado en el Registro de Productos Fitosanitarios en forma de sal amónica, potásica y isopropilamina, y se puede utilizar para el control de *C. album* en maíz, patata, remolacha azucarera y girasol.

Los inhibidores ALS (grupo B) también puede utilizarse para el control de *C. album*, y algunos de ellos siguen autorizados en el Registro de Productos Fitosanitarios. Sin embargo, no parece haber un consenso sobre la eficacia de determinadas sustancias. De acuerdo con Taberner (2005), *C. album* es insensible al nicosulfuron y rimsulfuron y clasifica su eficacia como no satisfactoria. Esto se contradice con los resultados de Rahman *et al.* (2014), que afirman que, en poblaciones resistentes a las triazinas y al dicamba, el nicosulfuron en postemergencia ofrece un control muy eficaz de esta en el cultivo del maíz e incrementó el rendimiento final, aunque el aumento no fue significativo. Los resultados de Rahman *et al.* coinciden con los de James *et al.* (2005), que consiguieron un control de hasta el 99% en plantas de *C. album* resistentes a los mismos herbicidas. No obstante, si tenemos en cuenta la afirmación de Taberner (2005) sobre la aparición de otras arvenses junto con *C. album*, se puede intuir que el nicosulfuron actúa sobre el resto de adventicias y reduce la competencia con el cultivo. Eso explicaría el aumento del rendimiento final. Los ensayos de Stewart *et al.* (2012) muestran que la aplicación de mezclas que incluyen rimsulfuron o nicosulfuron permiten un excelente control en el maíz frente a malezas como *C. album*. En condiciones óptimas, se pueden alcanzar tasas de control totales (es decir, del 100%). Por ejemplo, la mezcla rimsulfuron + S-metolacoloro (inhibidor de la síntesis de aminoácidos de cadena larga, grupo K3) + dicamba en preemergencia permite un

control total de *C. album* en maíz. Cabe señalar la conclusión final de dicho estudio: la precipitación puede afectar a la eficacia del herbicida utilizado. Una precipitación de hasta 17 mm siete días después de la aplicación afecta a la eficacia de las atrazinas, entre otros. Esto demuestra la importancia de la planificación y de la elección correcta del tipo de herbicida. Alebrahim *et al.* (2012) concluyeron que el rimsulfuron aplicado en preemergencia conseguía un control de *C. album* del 89% en patata. Glenn *et al.* (1997) comprobó que la combinación de nicosulfuron + 2,4-D era efectivo en el control de poblaciones de *C. album* resistentes a las triazinas. Cabe destacar que Rahman *et al.* (2014) observaron que el nicosulfuron tiene una alta capacidad residual en el suelo, lo que implica que deberá tenerse en cuenta en el caso de cultivos rotacionales. El tifensulfuron también ha demostrado ser efectivo para el control de *C. album* en soja (Monks *et al.*, 1993). Este herbicida es común encontrarlo en combinación con otros, pues la sensibilidad de *C. album* a este es media y se aumenta la eficacia del tratamiento si se aplica con un herbicida de otro tipo (Taberner, 2005). No obstante, algunos autores afirman que pueden causar daños en los cultivos. Wall (1995) documentó un retraso en el desarrollo, entre otros daños severos, en plantas de judía cuando realizaba aplicaciones de mezclas con bentazona y tifensulfuron para el tratamiento de *C. album*. El triasulfuron también se ha usado para el control de *C. album* desde hace tiempo, y es por eso que se puede encontrar en bibliografía (Bajwa *et al.*, 2019). Sin embargo, su uso ya no está autorizado en el Registro de Productos Fitosanitarios en España. Todos los herbicidas hasta ahora mencionados sí están autorizados. Dentro de los inhibidores ALS existe una familia conocida como las imidazolinonas, apreciada por su eficacia en un amplio abanico de adventicias, incluso a bajas dosis, y por su bajo impacto negativo sobre la salud humana y el medio ambiente (Haukka *et al.*, 2005). El imazamox pertenece a esta familia, y su uso está autorizado en el cultivo del maíz y girasol (MAPA, 2020). Según Haukka *et al.* (2005), el imazamox sirve para el control de *C. album* en colza. Hekmat *et al.* (2008) afirma que el imazamox permite un control efectivo de numerosas adventicias, como *C. album*, en judías.

La pendimetalina (grupo K1) es otro herbicida bastante común en el control de *C. album*. Este compuesto inhibe el ensamblaje de los microtúbulos durante la mitosis (Mallory-Smith y Retzinger, 2003). La pendimetalina está autorizada en el Registro de Productos Fitosanitarios. Se aplica en preemergencia o en emergencia muy temprana. Tiene la peculiaridad de que se aplica sobre el suelo, al contrario que otros herbicidas como el glifosato, que se aplican sobre la planta. Son varios los autores que han demostrado que se puede obtener un buen control de *C. album* con la pendimetalina. Según Taberner (2005), *C. album* es medianamente sensible a la pendimetalina y, aunque permite un control bueno, a veces necesita un refuerzo o control de repaso. Es por ello que se suelen utilizar en mezclas. La pendimetalina también es eficaz para el manejo de otras adventicias, que pueden aparecer a la vez que *C. album*, como *Echinochloa crus-galli*, *Portulaca oleracea* y *Amaranthus spp.* Jursik *et al.* (2016) demostró que el uso de cubiertas junto con aplicaciones de pendimetalina permitió un control de *C. album* de hasta el 100% en lechuga. Stewart *et al.* (2012) consiguió hasta un 99% de control de *C. album* en maíz cuando este se combinaba con dicamba en preemergencia. Por otro lado, afirma que consiguió un control total de esta misma adventicia en postemergencia cuando se combina con nicosulfuron y dicamba. Según Alebrahim *et al.* (2012), la pendimetalina aplicada en preemergencia es una buena opción para el manejo de *C. album* en la patata y es capaz de controlar individuos resistentes a las triazinas en un 91% también en preemergencia.

A pesar de que varios herbicidas del grupo de las triazinas (grupo C1, C2) están restringidos en la Unión Europea, algunos siguen estando autorizados en el Registro de Productos Fitosanitarios. La terbutilazina es ejemplo de ello. Para Taberner, *C. album* es sensible a la terbutilazina y con esta se consigue un buen control y manejo. Según Pannaci y Onofri (2016), la terbutilazina en mezcla con S-metolacloro y mesotriona, o solamente con S-metolacloro, permite un control total de *C. album* en maíz. La primera combinación se puede aplicar tanto en preemergencia como en postemergencia, mientras que la segunda sólo en preemergencia. Según Meseldžija y Dudić (2018), con la aplicación

foliar de terbutilazina y mesiotrona se consiguió un control del 89% en la primera aplicación y del 95% en la segunda. La metribuzina, otro inhibidor de la fotosíntesis en el PS-II (grupo C1, C2) del grupo de las triazinonas, también se utiliza para el control de malezas en la patata o la soja. Según Alebrahim *et al.* (2012), la metribuzina aparece con frecuencia en estrategias de control de adventicias de hoja ancha por su eficacia. Tiene la característica de no tener efecto residual en el suelo, con lo cual no ofrece un control a largo plazo en adventicias tan persistentes como *C. album*. Además, algunos cultivares de patata son muy vulnerables a este herbicida. No obstante, el historial de resistencias a las triazinas en *C. album* hace que estos herbicidas se usen cada vez menos.

**Tabla 1: Resumen de herbicidas para el control de *C. album*.**

Periodo de comercialización <sup>1</sup>	Modo de acción <sup>1</sup> y grupo <sup>3</sup>	Familia química <sup>2</sup>	Nombre común	Restricciones de uso
1892	Disruptor de la membrana celular	Dinitrofenoles	DNOC	Prohibido su uso en agricultura desde 2004
1939-1945	Disruptor fisiológico, grupo O	Auxinas sintéticas	2,4-D MCPA Dicamba Clopiralida Picloram Quinclorac	Ninguna
1957-2001	Inhibidor Fotosistema II, grupos C1 y C2	Triazinas	Atrazina Terbutilazina	La atrazina está prohibida en Europa desde 2004
		Triazinonas	Metribuzina	Ninguna
		Imidazolinonas	Imazamox	
1972	Inhibidor del Fotosistema II, grupos C1 y C2	Tiadiazinas	Bentazona	Ninguna
1974	Inhibidor de la enzima EPSP sintasa, grupo G	Glicinas	Glifosato	Ninguna
1976	Inhibidor de la síntesis de ácidos grasos largos, grupo K3	Cloroacetamidas	Metolacoloro	El metolacoloro no está autorizado en el Registro de Productos Fitosanitarios
1985-1991	Inhibidor de la enzima ALS, grupo B	Sulfonilureas	Nicosulfuron Rimsulfuron Tifensulfuron Triasulfuron	El triasulfuron no está autorizado en el Registro de Productos Fitosanitarios

1. PPDB: Pesticide Properties DataBase (2020).

2. Mallory-Smith & Retzinger (2003).

3. International Herbicide-Resistant Weed Database (2020).

### 2.3.1. La problemática del desarrollo de resistencias en *C. album* a los principales herbicidas.

Según Heap (2014), hay un total de 14 países donde han aparecido casos de resistencias en *C. album*. La aparición y expansión de una resistencia comienza por una modificación en el metabolismo de la adventicia, una mutación, que la hace tolerante o resistente a un herbicida. Dichas mutaciones ya existen de manera natural, pero han adquirido importancia en las últimas décadas en el sector agrícola (Heap, 2014). Según Mithila *et al.* (2011), la característica de la resistencia a un herbicida depende de si se confiere a través de un gen o de varios, y de si dicho gen es dominante o recesivo. Los genes dominantes tienen mayor probabilidad de expresarse en la herencia. Si la característica de la resistencia está determinada por un único gen o un grupo específico de genes, esta se propagará con mayor facilidad y rapidez que si se tratara de una característica poligénica. En el último caso, para que se exprese dicha característica en una adventicia se requieren mutaciones en varias localizaciones de su genoma, que es más improbable. Otro factor influyente en la dispersión de individuos resistentes es el flujo de genes a través del polen. Dado el mecanismo de dispersión tan inespecífico que posee de *C. album* (recordemos que se dispersa a través de corrientes de agua y aire, y a través de animales y maquinaria a los cual se adhiere con facilidad), la transferencia de los alelos resistentes a través del polen puede jugar un papel importante en la expansión de la resistencia (Yerka *et al.*, 2012). A continuación, se hará una breve revisión del desarrollo de los principales casos de resistencias en *C. album* a herbicidas.

La resistencia a los inhibidores de la fotosíntesis PS-II (grupos C1, C2) es la segunda con mayor incidencia de casos a nivel mundial, después de los inhibidores ALS (grupo B). No obstante, es el caso más frecuente de resistencia en *C. album*, concretamente a las triazinas (Heap, 1997). Heap (2014) confirma que *C. album* es especialmente susceptible al desarrollo de resistencias a estos herbicidas. Según Bajwa *et al.* (2019), las resistencias de *C. album* a la atrazina son muy comunes en cultivo del maíz. En España se han dado casos de resistencias a la atrazina en maíz, patata, remolacha azucarera y soja (Heap, 2020). La mayoría de los casos de resistencias se deben a una mutación en el gen *psbA* que reduce la eficacia del herbicida (Bettini *et al.*, 1987). Esto confirma la teoría de Mithila *et al.* (2011), aunque en la expansión de esta resistencia también han influido enormemente las prácticas de mínimo laboreo y la alta capacidad residual en el suelo de las triazinas. A pesar de la mayor incidencia de casos en las triazinas, también se han dado resistencias a los inhibidores ALS en *C. album*. Se conocen resistencias a los herbicidas tifensulfuron-metil, tribensulfuron-metil e imazamox (Bajwa *et al.*, 2019). Konstantinović *et al.* (2015) confirmaron la aparición de resistencias al nicosulfuron en *C. album*. Las semillas, recogidas de campos de cultivos donde se había tratado con inhibidores ALS durante años, fueron sometidas a ensayos de germinación donde se aplicó nicosulfuron en uno de los lotes. Las tasas de germinación del lote tratado y el no tratado no presentaban diferencias significativas, así como la longitud del epicotilo e hipocotilo de ambos, lo que confirma que las semillas eran resistentes al nicosulfuron.

A día de hoy, la suma de especies de adventicias donde se han identificado biotipos resistentes a las auxinas sintéticas asciende a 36 (LeClere *et al.*, 2018). Sin embargo, la incidencia de resistencias es mucho menor, sobre todo en las últimas décadas, si lo comparamos con los inhibidores ALS o las triazinas. Esta menor incidencia se debe a varios factores: las auxinas sintéticas actúan sobre varios puntos de acción en el metabolismo de la planta; algunos casos de resistencias son desencadenados por genes recesivos, que no se expresan en la descendencia; la baja capacidad residual de las auxinas en el medio; y por último, los individuos resistentes no se adecúan a las condiciones de competitividad con el cultivo. Rahman *et al.* (2014) documentaron casos de resistencia al dicamba en *C. album* en el cultivo del maíz en Nueva Zelanda. Los resultados de LeClere *et al.* (2018) confirman que la resistencia al dicamba procede de una mutación dominante en la familia de genes *Aux/IAA*. Esta familia codifica la expresión de un grupo de proteínas que regulan toda una compleja cadena de reacciones bioquímicas implicada en la regulación del crecimiento y en la maduración, que se desencadena en presencia de auxinas (Luo *et al.*, 2018). Aunque esto coincide con las conclusiones de Mithila *et al.* (2011), la baja incidencia de resistencias puede estar

debida al uso de mezclas de auxinas de diferentes familias, a órganos subterráneos que permiten rebrotes o a la utilización de otros métodos de control alternativos al químico.

A pesar de que varios autores afirman que existe una baja probabilidad de aparición de resistencias al glifosato (Heap, 2014), su gran eficacia en la mayoría de adventicias y la introducción de los cultivos *Roundup Ready*, que permiten un tratamiento masivo con glifosato a elevadas dosis sin dañar al cultivo, hacen que la probabilidad de aparición sea mayor (Verdeguer, 2011). El número de casos de resistencias al glifosato es mayor en estos cultivos. Kniss *et al.* (2007) demostraron la habilidad de *C. album* de producir semilla en cultivos *Roundup Ready* debido a mecanismos adaptativos que habían desarrollado. Las semillas, que habían sido recogidas de campos con un amplio y largo historial de aplicaciones de glifosato, presentaban menor mortalidad cuando se trataban con glifosato en comparación con aquellas que habían sido expuestas ocasionalmente o nunca.

Se ha demostrado en algunos herbicidas que la aparición de resistencias es más improbable, como es el caso de las auxinas. No obstante, es algo que se debe tener en cuenta en todo momento en el diseño y planificación de cualquier estrategia de control que incluya alguna de estas sustancias. Por este motivo, las guías de Gestión Integrada (MAPA, 2020) recomiendan seguir unas pautas para evitar el desarrollo de resistencias, basadas la mayoría en diversificar las materias activas con diferentes modos de acción y los medios de control utilizados. En el caso del maíz, donde se han dado más casos de resistencia, recomiendan además evitar el monocultivo e introducir la rotación.

#### **2.4. Control de *C. album* en agricultura ecológica**

En la producción ecológica los herbicidas químicos sintéticos han pasado a estar prohibidos para el manejo de las adventicias. En el Reglamento 834/2007 del Consejo Europeo del 28 de junio de 2007 sobre la producción y etiquetado de los productos ecológicos, artículo 4 se establece la “estricta limitación del uso de medios de síntesis”, salvo en casos excepcionales, y la “restricción del recurso a medios externos”, que se limitarán a medios procedentes de la producción ecológica, sustancias naturales o derivadas de sustancias naturales y fertilizantes minerales de baja solubilidad. Muchos autores han propuesto en los últimos años sustancias alternativas a los herbicidas tradicionales para poder usar en producción ecológica. Estas alternativas se basan en productos naturales, algunos en combinación con prácticas culturales o labores mecánicas, que permiten un control de las adventicias y la obtención de mejores rendimientos.

La mayoría de los productos naturales se basan en aprovechar las propiedades alelopáticas de algunas plantas mediante sus aceites esenciales, restos vegetales o extractos acuosos de sus hojas, flores, raíces, etc. Los aleloquímicos que contienen estas plantas provocan un efecto inhibitorio en el desarrollo de adventicias como *C. album*. Según Ercoli *et al.* (2007), los aleloquímicos actúan mediante tres mecanismos distintos: inhibición de la germinación, alargamiento del proceso germinativo y reducción del crecimiento de las plántulas. Aprovechar estas plantas y sus propiedades abre todo un abanico de posibles herbicidas de origen natural, de gran diversidad, específicos y respetuosos con el medio ambiente (Synowiec y Nowicka-Poleć, 2016). La incorporación de estos herbicidas en estrategias de control integrado supone una alternativa a los herbicidas sintéticos convencionales.

Se ha demostrado la eficacia de innumerables compuestos procedentes de plantas en el control de *C. album*. En algunos de ellos, utilizan restos de cultivos, o extractos provenientes de estos, para inhibir el crecimiento o la germinación. Esta opción resulta muy interesante ya que se podrían reutilizar residuos vegetales, o extractos a partir de estos, de viejos cultivos que de otra manera se iban a desperdiciar. Algandaby *et al.* (2014) demostraron que los extractos acuosos de las hojas de *Mangifera indica* tenían un efecto inhibitorio de la germinación y crecimiento de *C. album*. Anjum *et al.* (2005) comprobaron que los extractos de hojas de girasol inhibían el crecimiento de *C. album* hasta en un 97%. Verdeguer (2011) consiguió reducir hasta en un 97% la germinación de *C. album* con extractos acuosos de *Lantana camara* L. Cheema y Khaliq (2000) señalan que existen nueve aleloquímicos solubles contenidos en plantas maduras de sorgo (*Sorghum* spp.) fitotóxicos para *C. album*, concretamente en las raíces. Los restos vegetales de este cultivo han demostrado ser efectivos, disminuyendo el

peso seco de las adventicias en un 20-40% e incrementando el rendimiento en un 14% en el cultivo del trigo. Las cubiertas vegetales de cultivos de invierno también han demostrado ser eficaces para el control de *C. album*. Los restos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) permiten reducir su crecimiento hasta en un 90%, mientras que las de *Vicia villosa* reducen su emergencia entre un 84-100% (Bajwa *et al.*, 2019). Los restos de cultivo del centeno [*Secale cereale* (L.) M. Bieb] y de la mostaza marrón (*Brassica juncea* L.) también inhiben el crecimiento de *C. album* (Ercoli *et al.*, 2007). Isik *et al.* (2016) comprobaron que los extractos de romero (*Rosmarinus officinalis* L.), menta (*Mentha piperita* L.), tomillo (*Thymus vulgaris* L.), salvia (*Salvia officinalis* L.) y cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en altas dosis podían inhibir totalmente la germinación de *C. album*. Los aceites esenciales de orégano (*Origanum* spp.), albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y mejorana (*Origanum majorana* L.) también se han probado para el control de *C. album*, aunque sin gran éxito (Vasilakoglou *et al.*, 2007). Verdeguer (2011) utilizó los aceites de *Cistus ladanifer* L. y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Para el control *in vitro* de *C. album*, consiguiendo una inhibición del crecimiento del 86 y 92%, respectivamente. El aceite de *E. camaldulensis* también inhibió la germinación de *C. album*, aunque sólo cuando la dosis superaba 1 µl/ml. García Plasencia (2013) consiguió una inhibición total de la germinación de *C. album in vitro* usando aceite esencial de *Thymra capitata* (L.) Cav., incluso a pequeñas dosis. Según Tworkoski (2002), los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris* L.) ajedrea (*Satureja hortensis* L.), canela (*Cinnamomum verum* J. Presl) y clavo [*Syzygium aromaticum* (L.) Merr] son potenciales herbicidas en muchas adventicias, pues causan la ruptura de la membrana celular provocando una pérdida de electrolitos y, finalmente, la muerte celular. Los herbicidas más fitotóxicos en *C. album* fueron el de canela y clavo, pues incluso a bajas dosis (1%) se observaban daños severos en poco tiempo. A concentraciones del 5%, las plantas estaban ya completamente dañadas. En el caso de la ajedrea y el tomillo, para alcanzar la totalidad de daños eran necesarias dosis ligeramente más altas. El autor achaca el éxito de los dos primeros aceites, sobre todo el de canela, a su contenido en eugenol, un compuesto fenólico volátil presente en las semillas de clavo, canela y en la nuez moscada (*Myristica* spp.), y cuya fitotoxicidad lo convierte en un potencial herbicida natural. Stokłosa *et al.* (2012) coinciden con Tworkoski. Es más, demostró que existe una relación negativa entre la intensidad lumínica y la eficacia del aceite de clavo y eugenol en *C. album*: el daño celular se reducía a medida que aumentaba la intensidad de la luz. Esto ocurre probablemente porque a mayor intensidad lumínica las plantas producen más biomasa, lo que se traduce en más masa foliar, comparado con plantas que se desarrollan en intensidades lumínicas bajas. Otros componentes contenidos en aceites esenciales de los que se ha demostrado su poder herbicida es el timol, que se encuentra en los aceites de tomillo y orégano, y el carvacrol, que también se encuentra en orégano, tomillo, *C. ladanifer* y *E. camaldulensis*. Este último se encuentra en grandes cantidades en *T. capitatus*, sobre todo en floración donde constituye hasta un 77% del total (Verdeguer, 2011). También podemos encontrar eugenol en la composición de *C. ladanifer*. El aceite de romero también tiene en su contenido los tres compuestos mencionados. La presencia de estos compuestos en los aceites esenciales explicaría la eficacia de los mismos en el control de *C. album*.

Algunos autores han señalado los inconvenientes que tiene el control con productos naturales, a pesar de las ventajas aparentes que ofrece. Bhowmik (2003) señala tres: periodo de actividad muy corto porque se degradan rápidamente, posible toxicidad en determinados compuestos y altos costes de producción. A pesar de que existen compuestos con un amplio espectro de acción (como el carvacrol), algunos compuestos son tan selectivos que puede no ser suficiente para conseguir un control adecuado (Albuquerque *et al.*, 2011). Dado que las adventicias se suelen asociar con otras especies (Taberner, 2005), en ese caso sería necesario utilizar varios compuestos fitotóxicos para cada una. Se sabe que determinados aleloquímicos actúan sinérgicamente entre ellos, por lo que dichas relaciones se pueden utilizar para la elaboración de mezclas. Además, cuando son puestos en práctica en campo, es más complicado conseguir la misma eficacia que en el laboratorio. Esto ocurre en especial con los aceites esenciales, pues la mayoría requieren el empleo de tensioactivos o mojantes que faciliten su aplicación (estos aceites están formados principalmente por terpenoides, que son inmiscibles en agua) y se volatilizan rápidamente en el suelo, reduciendo su eficacia (Verdeguer, 2011). Para mejorar la

estabilidad de los aceites en el suelo se ha propuesto la microencapsulación, que permite retardar la degradación del aceite en el medio. Aunque varios aceites pierden eficacia cuando se microencapsulan, el aceite de tomillo sí que mantiene una eficacia similar a la conseguida *in vitro* (Verdeguer, 2011). Hazrati *et al.* (2017) consiguieron mediante la nanoemulsión de aceites esenciales de *Satureja hortensis* L. reducir la germinación y crecimiento de *C. album*.

**Tabla 2: Aceites esenciales para el control de *C. album*.**

Especie	Utilización: los aceites se disuelven en agua con un tensioactivo y se pulverizan, bien en preemergencia o postemergencia.
<i>Cistus ladanifer</i> L.	Aplicación en postemergencia
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Aplicación en preemergencia (dosis mayor de 1 µl/ml) y postemergencia.
<i>Satureja hortensis</i> L.	Aplicación en postemergencia
<i>Lantana camara</i> L.	Aplicación en postemergencia
<i>Artemisia gallica</i> Willd.	Aplicación en postemergencia
<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Aplicación en postemergencia
<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr	Aplicación en postemergencia
<i>Thymbra capitatus</i> (L.) Cav.	Aplicación en preemergencia, con posibilidad de microencapsularse.

**Tabla 3: Cubiertas vegetales para el control de *C. album*.**

Especie	Aplicación
<i>Sorghum spp.</i>	Utilización de los restos vegetales en preemergencia para la inhibir la emergencia y el crecimiento de <i>C. album</i> .
<i>Hordeum vulgare</i> L.	
<i>Vicia villosa</i>	
<i>Secale cereale</i> (L.) M. Bieb	
<i>Brassica juncea</i> L.	

**Tabla 4: Extractos acuosos para el control de *C. album*.**

Especie	Utilización: aplicación de las disoluciones mediante pulverizadores sobre plantas de <i>C. album</i> .
<i>Mangifera indica</i> L.	Aplicación en preemergencia y postemergencia
<i>Lantana camara</i> L.	Aplicación en preemergencia y postemergencia
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	Aplicación en preemergencia y postemergencia
<i>Helianthus annuus</i> L.	Aplicación en postemergencia
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Aplicación en preemergencia
<i>Mentha piperita</i> L.	Aplicación en preemergencia
<i>Thymus vulgaris</i> L.	Aplicación en preemergencia.
<i>Salvia officinalis</i> L.	Aplicación en preemergencia
<i>Coriandrum sativum</i> L.	Aplicación en preemergencia

**Tabla 5: Compuestos patrón para el control de *C. album*.**

Especie	Aplicación
Timol	Pulverización de la disolución del compuesto natural en agua, procurando mojar bien todas las plántulas.
Carvacrol	
Eugenol	

## 2.5. Control biológico y bioquímico

El control biológico se ha desarrollado enormemente durante estas últimas décadas. La lucha biológica es cada vez más común en cultivos bajo plástico en el sur de España, y ha demostrado su eficacia frente a plagas de insectos. Aunque el número de organismos disponibles para el control de adventicias es menor, podemos encontrar estudios que proponen especies para utilizarlas para el manejo de arvenses como *C. album*. El proyecto COST-816 (1994-1999), financiado por la Unión Europea, es un ejemplo de ello. En este proyecto, científicos europeos estudiaron las posibilidades que tenía el control biológico en las principales adventicias en Europa, entre las cuales estaba *C. album*. Se han propuesto varias especies de hongos como potenciales microherbicidas para el manejo de *C. album*. La incorporación de estos organismos a las estrategias de control sigue estando pendiente, pues estos organismos son selectivos únicamente contra *C. album* y no ofrecen un control general de un conjunto de adventicias (Scheepens *et al.*, 1997; Bajwa *et al.*, 2019). Esto no mejoraría los problemas de competitividad en los cultivos. Sin embargo, un plan integrado de control que incluya el uso de estos microorganismos sería una solución prometedora para el manejo de *C. album* y del resto de adventicias. Además, daría más confianza a los agricultores en este tipo de alternativas y reduciría la dependencia de los herbicidas químicos de síntesis.

El hongo *Ascochyta caulina* (P. Karst) v.d. Aa & v. Kest. ha sido el más estudiado para el control de *C. album*. Las esporas que produce este hongo causan la aparición de tejido necrótico en las hojas y en los tallos y clorosis, pudiendo provocar la muerte de la planta (Cimmino *et al.*, 2015). El poder herbicida de este hongo se debe al contenido de toxinas que produce de forma natural, que también podrían utilizarse aisladas como herbicida natural. Algunas de esas toxinas son la llamada “ascaulitoxina”, así como la aglicona de esta misma toxina, y la *trans*-4-aminoprolina. Según Cimmino *et al.* (2015) la ascaulitoxina actúa como inhibidor del crecimiento, causando la aparición de zonas cloróticas y, finalmente, la muerte. Por otro lado, la *trans*-4-aminoprolina provoca la rápida aparición de grandes necrosis en las zonas de aplicación (de entre 6 y 7 mm de diámetro). La época de aplicación influye enormemente en el resultado, pues la sensibilidad a este hongo varía durante el desarrollo de *C. album*. Según Scheepens *et al.* (1997), las plantas más jóvenes son más vulnerables que las más desarrolladas. Las esporas de *A. caulina* también afectan a las flores, por lo que las primeras etapas de la floración también son un periodo vulnerable. Scheepens *et al.* (1997) defienden que la utilización de este tipo de organismos tiene una serie de inconvenientes, sobre todo en cuanto a su aplicación. Aunque por lo general es inofensivo en la mayoría de los cultivos, se sabe que *A. caulina* es tóxico en espinaca (*Spinacia oleracea* L.) y quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Por otro lado, para obtener la máxima eficacia se necesita un periodo prolongado de alta humedad tras su aplicación para la proliferación del hongo (Netland *et al.*, 2001). Una solución a este problema sería la utilización de cepas de *A. caulina* más tolerantes a condiciones adversas. Por último, la integración de estos organismos debe ser compatible con el resto de los métodos de control que se planifiquen para una producción, pues determinados fungicidas pueden reducir la eficacia de este hongo.

Scheepens *et al.* (1997) consiguieron con esporas de *A. caulina* una mortalidad de hasta el 70% y una reducción del crecimiento del 90% en *C. album* en maíz, sin producir ninguna merma en el rendimiento

del cultivo. Vurro *et al.* (2001) comprobaron que la utilización de distintas combinaciones entre la toxina, las esporas y pequeñas dosis de herbicidas mejoraban la eficacia del tratamiento comparado con lo que se obtenía cuando se utilizaban por separado. La combinación de una suspensión de cultivo junto con esporas aisladas de *A. caulina* permitió una reducción del 80% del peso fresco de plantas de *C. album*. Por otro lado, la combinación de toxinas de *A. caulina* con un quinto de la dosis recomendada de metribuzina y rimsulfuron consiguió reducir el peso fresco hasta en un 68 y 62% respectivamente. Esto demuestra que existe una sinergia entre los herbicidas y el hongo *A. caulina*, que podría considerarse para definir una estrategia integrada de control de *C. album*. Además, este tipo de combinaciones permiten que *A. caulina* sea menos dependiente de las condiciones ambientales, sobre todo de humedad, para garantizar su eficacia (Netland *et al.*, 2001). Ögüt *et al.* (2012) llegaron a la misma conclusión realizando tratamientos que combinaban el uso de dosis muy bajas de nicosulfuron, a un cuarto de la recomendada, y *A. caulina*. El nicosulfuron, en las dosis establecidas, no afectaba al desarrollo de este hongo, por lo que la mezcla era viable. El resultado fue una reducción del peso seco de hasta un 90%. Netland *et al.* (2001) consiguieron eliminar completamente plantas de *C. album* con una octava parte de la dosis recomendada de rimsulfuron y esporas de *A. caulina*.

El coleóptero *Cassida nebulosa* es otro organismo que se ha propuesto para el control de *C. album*. Este insecto aparece con frecuencia como plaga en la remolacha y se alimenta principalmente de plantas de la familia de las Amaranthaceae, en especial de *C. album* y de *C. album var. centrorubrum* Makino. Esta predisposición hizo que autores como Xiurong *et al.* (1999) propusieran la utilización de *C. album* para atraer a este coleóptero y evitar que ataque a las plantas de remolacha. Nagasawa y Matsuda (2005) estudiaron el comportamiento alimentario de *C. nebulosa* para analizar la posibilidad de utilizarlo como método de control. Aunque de manera natural prefiere alimentarse de *C. album*, *C. nebulosa* puede atacar a las hojas de espinaca (que es de la misma familia). Los ensayos de Nagasawa y Matsuda (2005) concluyeron que los hábitos alimentarios de *C. nebulosa* dependían de lo que se conoce como la inducción de preferencia alimentaria (*induction of food preference* en inglés). Si durante el desarrollo habían sido alimentados a base de *C. album*, los adultos preferirán alimentarse de esta adventicia y rechazaban la espinaca. Desde un punto de vista práctico, esto significa que si se crían larvas de *C. nebulosa* y su alimentación es a base de *C. album* exclusivamente, los adultos se utilizarían para controlar poblaciones de *C. album* sin dañar al resto de cultivos. Los mismos autores publicaron más adelante ensayos que analizaban más en detalle los hábitos alimentarios de *C. nebulosa*. (Nagasawa y Matsuda, 2010). Comprobaron, de nuevo, que estos insectos desarrollan una sensibilidad a la espinaca cuando se habían habituado a comer *C. album*.

Se han probado otros microorganismos aparte de *A. caulina*, que podrían funcionar como micoherbicidas. Sin embargo, no existe suficiente bibliografía que ahonde en las posibilidades de estos en el manejo de adventicias, ya que la mayoría son ensayos experimentales. El hongo *Stagonospora vitensis* también se ha probado como agente de control en *C. album*. El nicosulfuron a un 25% de la dosis recomendada junto con esporas de *S. vitensis* consiguió una reducción del peso seco de *C. album* del 96% (Ögüt *et al.*, 2012). Además, la adición de nicosulfuron tuvo un efecto sinérgico con el hongo porque estimuló su crecimiento en un 39%. El hongo *Phoma chenopodiicola* también es tóxico en *C. album* y en otras adventicias como el sorgo. Evidente *et al.* (2015) estudiaron el origen de su toxicidad y concluyeron que se debía al contenido de unas toxinas que contiene de manera natural. Aquellas que mostraron toxicidad en *C. album* fueron las toxinas *chenopodolan D* y *chenopodolin B*, que fueron capaces de producir lesiones necróticas en el tejido foliar (Panpatte *et al.*, 2017). Siddiqui *et al.* (2010) propusieron utilizar como micoherbicida el hongo *Alternaria alternata* en el cultivo del trigo, que causa marchitez en las hojas de *C. album*. Con suspensiones concentradas de esporas de *A. alternata* se consiguió una reducción de su peso en fresco de hasta el 90% en la variedad Inqalab 91 y del 88% en Punjab 96, e incluso incrementó el peso fresco de las espigas de trigo en un 47% en la primera.

## 2.6. Control biotecnológico

Actualmente no existen estudios concretos sobre las posibilidades de las herramientas biotecnológicas en el control de *C. album*. No obstante, se abordará este apartado desde una visión más general. Desde finales de los años noventa comenzaron a comercializarse los primeros cultivos modificados genéticamente. La compañía Monsanto (que pertenece a Bayer desde 2018) fue la productora de las variedades resistentes al glifosato de soja, maíz, algodón, colza, alfalfa (*Medicago sativa* L.), trigo y remolacha azucarera. Los primeros en comercializarse fueron la soja y la colza en 1996, seguido del algodón y el maíz en 1997 y 1998, respectivamente (Mall *et al.*, 2019; Slater *et al.*, 2008). Son varias las estrategias para conseguir la resistencia, pero la mayoría lo son porque poseen una modificación de la enzima EPSP insensible a la acción de este herbicida (Mall *et al.*, 2019). Según Bonny (2016), los primeros años de adopción de los cultivos resistentes al glifosato provocaron un descenso del uso de herbicidas más nocivos. La gran eficacia de este herbicida junto con los cultivos resistentes provocó que los agricultores centraran sus estrategias en el uso exclusivo del glifosato, así como la expansión de sistemas de conservación. Esto fue usado por aquellos que afirmaban que los cultivos resistentes traerían beneficios para el medioambiente. Sin embargo, como ya sabemos, el uso repetido del glifosato, sin usar ninguna otra alternativa, acabó por favorecer la aparición de resistencias. Según Mall *et al.* (2019), una solución a la aparición de resistencias en este caso sería realizar varias modificaciones que confieran resistencia apilada a varios herbicidas. De esta manera, se podría alternar materias activas y retrasar la aparición de resistencias.

En la Unión Europea está permitido el cultivo de organismos modificados genéticamente (OMG) de maíz, algodón, colza, soja y remolacha azucarera. En España sólo está autorizado el maíz desde 1998 (MAPA, 2020). No obstante, el uso de OMG está prohibido en producción integrada y ecológica, lo que significa que este tipo de control tiene una limitada utilidad en España. En el mercado también existen cultivos resistentes a las imidazolinonas, conocidos comercialmente como *Clearfield*. El más conocido es el girasol, y tienen la peculiaridad de que se basa en una mutación natural que confiere resistencia a estos herbicidas. Con lo cual, esta variedad no se clasifica legalmente como OMG. Su cultivo está autorizado en España para el control del *Orobancha* sp., comúnmente conocido como jopo. Actualmente, existen en el mercado otras variedades *Clearfield* de más cultivos como la soja, arroz, trigo, etc.

De acuerdo con Bhowmik (2003), la producción de plantas modificadas genéticamente para producir grandes cantidades de aleloquímicos fitotóxicos puede ser un enfoque interesante y con futuro en el ámbito de la biotecnología. Así se podría manejar de manera eficiente a las adventicias sin necesidad de utilizar herbicidas. Las especies objetivo de este tipo de proyectos serían plantas de las que se conoce su contenido natural de aleloquímicos. En el caso de *C. album* serían, por ejemplo, el sorgo, el centeno, el clavo, la canela, *Cistus ladanifer*, *Eucalyptus camaldulensis*, etc. A día de hoy, no se tiene constancia de que existan variedades de este tipo.

## 2.7. Propuesta de estrategia de gestión integrada de *C. album*

A lo largo de este trabajo se han analizado todas las herramientas disponibles para el control de *C. album*, además de los últimos avances en investigación de otras nuevas. Todas ellas coinciden en no ser lo suficientemente efectivas o presentar varios inconvenientes cuando son utilizadas por sí solas. Esto plantea la posibilidad de utilizarlas en conjunto, de manera integrada, como propone el enfoque *many little hammers approach* de Liebman *et al.* (1997). También coincide con las bases de la Gestión Integrada de Plagas. Como se ha mostrado a lo largo del trabajo, algunas técnicas permiten obtener excelentes resultados en unos cultivos, mientras que en otros el control no es suficiente. Es por ello, que no se puede establecer una estrategia única para todos los cultivos afectados por *C. album*. No obstante, los métodos preventivos son eficaces en la mayoría de ellos (Upadhyaya y Blackshaw, 2007; van der Weide *et al.*, 2002). La mayoría son prácticas respetuosas con el medio ambiente (son aptas para la producción ecológica) y han demostrado ser de gran ayuda en el control de *C. album*. La solarización es el método más eficaz en cuanto

a desinfección del suelo, sin olvidar los beneficios que trae al suelo. La falsa siembra también es otra práctica preventiva muy recomendable. Las guías de Gestión Integrada de Plagas (GIP) del MAPA recomiendan la falsa siembra en el cultivo de la patata (MAPA, 2020). Otra práctica preventiva de utilidad es el control mecánico, que se ha utilizado desde antaño para el control de adventicias y sigue siendo igual de eficaz. De hecho, las guías de GIP del MAPA recomiendan el control mecánico en la mayoría de los cultivos afectados por *C. album*, del cual hablaremos más adelante. Además, señalan la importancia que tiene evitar el transporte de semillas mediante maquinaria y el uso de variedades certificadas limpias de semillas de *C. album*. Sin embargo, no podemos olvidar que el control químico es aún la opción más eficaz y económica. Esto significa que no se puede eliminar por completo el uso de herbicidas drásticamente, pues la dependencia que tenemos de ellos es aún enorme. Por ello, se recomienda seguir utilizando los herbicidas de manera integrada cuando esté justificado, es decir, cuando la infestación supere un nivel o umbral por encima del cual se puede llegar a perder la cosecha.

El control mecánico es una herramienta muy recurrida en Gestión Integrada, sobre todo como método preventivo en preemergencia o en emergencia temprana. En las guías de GIP del MAPA podemos observar que, para cada cultivo, se utilizan distintos pases y en distintas fases del cultivo. En el cultivo del maíz, se debe realizar una labor temprana entre líneas cuando *C. album* esté en fase de plántula, pues el maíz es muy poco competitivo frente a esta adventicia. En el caso del girasol, se puede realizar tanto labores tempranas como labores durante el cultivo. Además, el aporcado contra las plantas de girasol favorece el control de *C. album*. En la patata ocurre lo mismo que en el girasol. Se recomiendan los pases previos a la siembra y durante el cultivo en los primeros estadios de crecimiento (cuando es más sensible *C. album*). En el caso de la remolacha, al igual que en el maíz, el laboreo en preemergencia previene la aparición de plantas de *C. album*.

Los métodos biológicos son opciones muy interesantes, sobre todo en cultivos protegidos por su mayor facilidad para controlar a estos organismos. El coleóptero *C. nebulosa* tiene gran potencial en cultivos bajo plástico, como el tomate. Sin embargo, no se recomienda su uso en remolacha o espinaca. A su vez, el manejo del hongo *A. caulina* también se simplifica en cultivos protegidos. Las altas humedades que requiere este hongo para proliferar se consiguen fácilmente dentro de un invernadero. También se sabe que su eficacia se puede mejorar si se combina con bajas dosis de herbicidas como el nicosulfuron, metribuzina o rimsulfuron. Esta última combinación facilita su utilización en cultivos al aire libre como el maíz.

En la mayoría de los cultivos extensivos se recomienda llevar a cabo una rotación de cultivos, en especial con aquellos conocidos por tener propiedades alelopáticas. Entre estos cultivos están el girasol, cebada, centeno o sorgo. Una vez finalizados estos cultivos, sus restos se dejarán sobre el suelo o se incorporarán para realizar una biosolarización. En el cultivo de la patata se recomienda realizar abonados en verde, con lo cual se podrían utilizar algunos de los anteriormente mencionados para este fin. La rotación de cultivos, así como la de materias activas con distintos modos de acción, son prácticas que previenen la aparición de hierbas resistentes y están altamente recomendadas en las guías de GIP del MAPA. Se recomienda esta práctica en remolacha, en maíz (con cultivos forrajeros o de invierno como el girasol o la soja) y en patata. Como se ha visto, el laboreo de conservación ha permitido el control de adventicias en determinados cultivos. Es el caso del trigo, cuya producción bajo este sistema ha permitido el control de *C. album* a niveles aceptables. En el cultivo del maíz, el uso de cubiertas a base de *Vicia villosa* consiguió restringir la germinación de *C. album*. Los tratamientos térmicos, como la vaporización del suelo o el uso del fuego, funcionan bien en el cultivo de la remolacha y maíz, respectivamente. Sin embargo, no están muy extendidos en Europa puesto que su puesta en marcha es muy cara y empeora la calidad del suelo. Por lo tanto, su uso estaría justificado cuando la infestación sea muy grave. Se sabe que la reducción del marco de plantación en remolacha reduce la germinación de *C. album* porque aumenta su competitividad frente a esta adventicia. Por ello, esta última medida sería una opción mucho más económica. Las guías de GIP del MAPA

recomiendan una densidad entre 110 y 120.000 plantas por hectárea. De forma general, en este cultivo se recomienda facilitar en la medida de lo posible la rápida implantación del cultivo ajustando la fecha de siembra y favoreciendo el vigor y la nascencia de la planta. La guía de GIP en remolacha del MAPA establece un protocolo para el control de *C. album* mediante medios químicos. Dicho protocolo se basa en llevar a cabo varios tratamientos a dosis bajas: un primer tratamiento en preemergencia para debilitar la adventicia, y un segundo en postemergencia al inicio de la nascencia. Ambos tratamientos deben ir acompañados de riegos ligeros. En el cultivo del girasol, las labores mecánicas son bastante eficaces para el control de dicotiledóneas. Debido a las propiedades alelopáticas del girasol, los restos vegetales de viejas cosechas se pueden utilizar para la desinfección del suelo incluso en monocultivo.

A continuación, se presentan unas tablas con propuestas para la Gestión Integrada de *C. album* en diferentes cultivos: maíz (Tabla 6), girasol (Tabla 7), remolacha (Tabla 8), patata (Tabla 9) y cultivos protegidos (Tabla 10).

**Tabla 6: Estrategia integrada de control de *C. album* en maíz.**

Periodo de realización	Medida de control
Preparación del suelo	Utilizar los restos vegetales de cultivos anteriores en la rotación (girasol, sorgo) como abono en verde y para la desinfección del suelo. Falsa siembra, eliminación de las plántulas emergidas mediante pase de cultivador. Utilizar semilla certificada.
Preemergencia	Laboreo entre líneas mediante gradas de varillas flexibles o cultivador.
Postemergencia	Alternar materias activas para evitar la aparición de resistencias. Utilizar fitosanitarios que no afecten a los cultivos en rotación.
Cosecha	Evitar la entrada de semillas durante la recolección a través de la maquinaria.

**Tabla 7: Estrategia integrada de control de *C. album* en girasol.**

Periodo de realización	Medida de control
Preparación del suelo	Utilizar los restos vegetales de cosechas anteriores como abono en verde y para la desinfección del suelo. Falsa siembra, eliminación de las plántulas emergidas mediante pase de cultivador. Utilizar semilla certificada. Laboreo con pase de cultivador.
Preemergencia	Labor de escarda entre líneas mediante gradas de varillas flexibles o cultivador.
Postemergencia	Laboreo con pase de cultivador entre líneas hasta que alcance el estado de 6 hojas. Evitar las sulfonilureas (inhibidores ALS), pues pueden tener un efecto fitotóxico sobre las plantas de girasol. Alternar materias activas para evitar la aparición de resistencias. Utilizar fitosanitarios que no afecten a los cultivos en rotación.
Cosecha	Evitar la entrada de semillas durante la recolección a través de la maquinaria.

**Tabla 8: Estrategia integrada de control de *C. album* en remolacha.**

Periodo de realización	Medida de control
Preparación del suelo	Utilizar los restos vegetales de cosechas anteriores como abono en verde y para la desinfección del suelo. Falsa siembra, eliminación de las plántulas emergidas mediante pase de cultivador. Utilizar semilla certificada. Laboreo con pase de cultivador. Ajustar el marco de plantación hasta una densidad que confiera

	competitividad al cultivo (110.000-120.000 plantas/ha). Ajustar la siembra al momento más favorable para su nascencia.
Preemergencia	Promover la nascencia mediante riegos posteriores a la siembra. Realizar primer tratamiento de herbicida a dosis bajas para debilitar a <i>C. album</i> . Acompañar las aplicaciones de riegos ligeros.
Postemergencia	Realizar segundo y tercer tratamiento de herbicida, este último si la situación lo requiere, al principio de la nascencia de <i>C. album</i> . Acompañar las aplicaciones de riegos ligeros. Evitar el uso de herbicidas sulfonilureas (inhibidores ALS), pues pueden tener un efecto fitotóxico sobre las plantas de girasol. Alternar materias activas para evitar la aparición de resistencias. Utilizar fitosanitarios que no afecten a los cultivos en rotación.
Cosecha	Evitar la entrada de semillas durante la recolección a través de la maquinaria.

**Tabla 9: Estrategia integrada de control de *C. album* en patata.**

Periodo de realización	Medida de control
Preparación del suelo	Utilizar los restos vegetales de cosechas anteriores como abono en verde y para la desinfección del suelo. Falsa siembra, eliminación de las plántulas emergidas mediante pase de cultivador. Utilizar semilla certificada. Laboreo con pase de cultivador.
Preemergencia	Laboreo entre líneas con grada de varillas flexibles en cultivos llanos por aspersion, o cultivador aporcando suelo hacia la planta en caballones. Realizar preferiblemente durante los primeros estadios de desarrollo de <i>C. album</i> (momento de mayor sensibilidad).
Postemergencia	Se recomienda aplicar los herbicidas cuando <i>C. album</i> se encuentre en el estado de cotiledones. Alternar materias activas para evitar la aparición de resistencias. Utilizar fitosanitarios que no afecten a los cultivos en rotación.
Cosecha	Evitar la entrada de semillas durante la recolección a través de la maquinaria.

**Tabla 10: Estrategia integrada de control de *C. album* en cultivos protegidos.**

Periodo de realización	Medida de control
Preparación del suelo	Realizar solarización durante los meses de verano. Se recomienda la incorporación de materia orgánica o restos vegetales para incrementar el poder desinfectante. Utilizar semilla certificada. Utilizar cubiertas vegetales o cubiertas plásticas de polietileno para inhibir la nascencia de <i>C. album</i> entre líneas.
Preemergencia	Implantar poblaciones de <i>C. nebulosa</i> como método de control biológico en fincas con historial de infestaciones de <i>C. album</i> .
Postemergencia	Utilizar cultivos de esporas de <i>A. caulina</i> . Aumentar la humedad relativa tras su aplicación. Si la infestación es grave, se podrá utilizar las esporas junto con bajas dosis de herbicidas (rimsulfuron, nicosulfuron, metribuzina). Alternar materias activas para evitar la aparición de resistencias. Utilizar fitosanitarios que no afecten a los cultivos en rotación.
Cosecha	Evitar la entrada de semillas durante la recolección a través de la maquinaria.

Finalmente, cabe mencionar que técnicas como la biotecnología o el uso de aceites esenciales y extractos de plantas presentan todavía varias limitaciones para ponerlos en práctica en campos de cultivo. En el caso de los OMG, su prohibición en los sistemas ecológicos y en producción integrada en España limitan aún más su expansión. En el caso de los herbicidas de origen natural, se está avanzando mucho en su investigación y desarrollo, y se espera que en los próximos años puede haber productos disponibles en el mercado. Estas y otras alternativas deben seguir estudiándose para dotar al sector agroalimentario de nuevas herramientas.

### 3. Conclusiones

Tras haber analizado todos los métodos actuales disponibles para el control de *C. album*, se puede concluir que las estrategias de control integradas son la mejor opción para el manejo no sólo de *C. album*, sino de cualquier arvense. A pesar de que nuestra agricultura aún es muy dependiente de los herbicidas de síntesis, combinándolos con otros métodos podemos conseguir un control eficaz y a largo plazo de las plantas arvenses. En los últimos años la agricultura está pasando por una profunda transformación. Cada vez es mayor la preocupación por el medio ambiente y la seguridad alimentaria, y esto se ha visto reflejado en el sector agroalimentario: prohibición de materias activas que pueden causar daños al medio ambiente y a la salud de los seres vivos o fomento de sistemas de conservación. La nueva legislación en cuanto a Gestión Integrada de Plagas forma parte de esta serie de cambios que permite avanzar hacia una agricultura más sostenible.

### 4. Bibliografía

1. Abendroth, J., Martin, A., & Roeth, F. (2006). Plant Response to Combinations of Mesotrione and Photosystem II Inhibitors. *Weed Technology*, 20(1), 267-274. doi:10.1614/WT-05-020R.1
2. Agusti, M., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C., Mariano, J., & Almela, V. (2003). *Cuajado y Desarrollo de los Frutos Cítricos*. Instituto Agroforestal Mediterráneo-Universidad Politécnica de Valencia. Serie divulgación técnica, Valencia, 52-58.
3. Alebrahim, M. T., Majd, R., Mohassel, M. R., Wilcockson, S., Baghestani, M. A., Ghorbani, R., & Kudsk, P. (2012). Evaluating the efficacy of pre-and post-emergence herbicides for controlling *Amaranthus retroflexus* L. and *Chenopodium album* L. in potato. *Crop Protection*, 42, 345-350. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.06.004>.
4. Algandaby, M. M., El-Kenany, E. T., & El-Darier, S. M. (2014). Management of *Chenopodium album* L. through the Allelopathic Effect of *Mangifera indica* L. *Journal of Life Sciences*, 8(3), 230-237.
5. Alshallash, K. S. (2018). Germination of weed species (*Avena fatua*, *Bromus catharticus*, *Chenopodium album* and *Phalaris minor*) with implications for their dispersal and control. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1), 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2018.05.003>
6. Anjum, T., Stevenson, D. H., & Bajwa, R. (2005, August). Allelopathic potential of *Helianthus annuus* L.(sunflower) as natural herbicide. In *Proceedings of the 4 th World Congress on Allelopathy: Establishing the Scientific Base*, 21-26.
7. Aper, J., De Riek, J., Mechant, E., De Cauwer, B., Bulcke, R. & Reheul, D. (2010). The origin of herbicide resistant *Chenopodium album*: analysis of genetic variation and population structure. *Weed Research*, 50: 235-244. doi:10.1111/j.1365-3180.2010.00777.xg

8. Ascard, J. (1995). Thermal weed control by flaming: biological and technical aspects (Tesis doctoral). Swedish University of Agricultural Sciences. Recuperado en: <https://pub.epsilon.slu.se/3853/>
9. Ascard, J. (1998). Comparison of flaming and infrared radiation techniques for thermal weed control. *Weed Research*, 38(1), 69-76.
10. Bajwa, A. A., Mahajan, G., & Chauhan, B. S. (2015). Nonconventional weed management strategies for modern agriculture. *Weed Science*, 63(4), 723-747.
11. Bajwa, A. A., Zulfiqar, U., Sadia, S., Bhowmik, P., & Chauhan, B. S. (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 <https://doi.org/10.1007/s11356-018-04104-y>
12. Bassett, I.J. & Crompton, C.W. (1978). The biology of Canadian weeds. 32. *Chenopodium album* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 58, 1061-1072.
13. Beckie, H. J., Flower, K. C., & Ashworth, M. B. (2020). Farming without Glyphosate?. *Plants*, 9(1), 96. DOI: 10.3390/plants9010096
14. Bello, A., López-Pérez, J. A., & Díaz-Viruliche, L. (2000). Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo. *Memorias del Simposium Internacional de la Fresa Zamora, México*, 24-50.
15. Bettini, P., McNally, S., Sevignac, M., Darmency, H., Gasquez, J., & Dron, M. (1987). Atrazine resistance in *Chenopodium album*: low and high levels of resistance to the herbicide are related to the same chloroplast psbA gene mutation. *Plant Physiology*, 84(4), 1442-1446. <https://doi.org/10.1104/pp.84.4.1442>
16. Bhowmik, P. C. (2003). Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. *Crop protection*, 22(4), 661-671. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00242-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00242-9)
17. Bhowmik, P. C. (2010). Current status of herbicide resistant weeds around the Globe. *Journal of Crop and Weed*, 6(1), 33-43.
18. Bidstrup, P. L., & Payne, D. J. H. (1951). Poisoning by dinitro-ortho-cresol. *British Medical Journal*, 2(4722), 16. doi:[10.1136/bmj.2.4722.16](https://doi.org/10.1136/bmj.2.4722.16)
19. Bonny, S. (2016). Genetically modified herbicide-tolerant crops, weeds, and herbicides: overview and impact. *Environmental management*, 57(1), 31-48. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0589-7>
20. Bowles, T. M., Mooshammer, M., Socolar, Y., Calderón, F., Cavigelli, M. A., Culman, S. W., Deen, W., Drury, C. F., García y García, A., Gaudin, A. C. M., Lehman, R. M., Osborne, S. L., Robertson, G. P., Salerno, Schmer, M. R., Strock, J., Grandy, A. S. & Harkcom, W. S. (2020). Long-Term evidence shows that crop-rotation Diversification increases agricultural resilience to Adverse Growing conditions in North America. *One Earth*, 2(3), 284-293.
21. Busi, R., Goggin, D.E., Heap, I.M., Horak, M.J., Jugulam, M., Masters, R.A., Napier, R.M., Riar, D.S., Satchivi, N.M., Torra, J., Westra, P. & Wright, T.R. (2018). Weed resistance to synthetic auxin herbicides. *Pest management science*, 74(10), 2265-2276. <https://doi.org/10.1002/ps.4823>
22. Chauhan, B. S., Singh, R. G., & Mahajan, G. (2012). Ecology and management of weeds under conservation agriculture: a review. *Crop Protection*, 38, 57-65.

23. Cheema, Z. A., & Khaliq, A. (2000). Use of sorghum allelopathic properties to control weeds in irrigated wheat in a semi arid region of Punjab. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 79(2-3), 105-112. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00140-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00140-1)
24. Cimmino, A., Masi, M., Evidente, M., Superchi, S., & Evidente, A. (2015). Fungal phytotoxins with potential herbicidal activity: chemical and biological characterization. *Natural product reports*, 32(12), 1629-1653. <https://doi.org/10.1177/1934578X1501000677>
25. de Albuquerque, M. B., dos Santos, R. C., Lima, L. M., de Albuquerque Melo Filho, P., Nogueira, R. J. M. C., Da Câmara, C. A. G., & de Rezende Ramos, A. (2011). Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(2), 379-395. <https://doi.org/10.1051/agro/2010031>
26. Dorado, J., Lacasta, C., & Meco, R. (1994). Relaciones entre tipo de labor y malas hierbas en un sistema cerealista. *Prácticas Ecológicas para una Agricultura de Calidad*, Toledo, 172-182.
27. Ercoli, L., Masoni, A., Pampana, S. & Arduini, I. (2007). Allelopathic effects of rye, brown mustard and hairy vetch on redroot pigweed, common lambsquarter and knotweed. *Allelopathy Journal*, 19(1), 249.
28. Evidente, A., Capasso, R., Cutignano, A., Tagliatalata-Scafati, O., Vurro, M., Zonno, M. C., & Motta, A. (1998). Ascaulitoxin, a phytotoxic bis-amino acid N-glucoside from *Ascochyta caulina*. *Phytochemistry*, 48(7), 1131-1137.
29. Evidente, M., Cimmino, A., Zonno, M.C., Masi, M., Berestetskyi, A., Santoro, E., Superchi, S., Vurro, M. & Evidente, A. (2015). Phytotoxins produced by *Phoma chenopodiicola*, a fungal pathogen of *Chenopodium album*. *Phytochemistry*, 117, 482-488. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.07.008>
30. Fogelberg, F., & Gustavsson, A. D. (1998). Resistance against uprooting in carrots (*Daucus carota*) and annual weeds: a basis for selective mechanical weed control. *Weed Research* (Oxford), 38(3), 183-190.
31. Freckleton, R. & Watkinson, A. (1998). Predicting the determinants of weed abundance: a model for the population dynamics of *Chenopodium album* in sugar beet. *Journal of Applied Ecology*, 35, 904-920. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.1998.tb00008.x>
32. Gagnon, B., Pouleur, S., Lafond, J., Parent, G., & Pageau, D. (2019). Agronomic and Economic Benefits of Rotating Corn with Soybean and Spring Wheat under Different Tillage in Eastern Canada. *Agronomy Journal*, 111(6), 3109-3118.
33. García Plasencia, S. (2014). Actividad herbicida del aceite esencial de *Thymus capitatus* (L.) Hoffmanns. et Link. y su efectividad en función de distintos métodos de aplicación (Trabajo Final de Máster). Universitat Politècnica de València.
34. Glenn, S., Phillips, W. H., & Kalnay, P. (1997). Long-term control of perennial broadleaf weeds and triazine-resistant common lambsquarters (*Chenopodium album*) in no-till corn (*Zea mays*). *Weed technology*, 11, 436-443. Recuperado en: [www.jstor.org/stable/3988418](http://www.jstor.org/stable/3988418)
35. González Ponce, R. (2006) Métodos para el control de malas hierbas: Culturales (I). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaria General Técnica, Madrid
36. Grossmann, K. (2010). Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. *Pest Management Science*, 66, 113-120. doi:[10.1002/ps.1860](https://doi.org/10.1002/ps.1860)
37. Gruber, S., & Claupein, W. (2009). Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil and Tillage Research*, 105(1), 104-111. doi: 10.1016/j.still.2009.06.001

38. Grundy, A.C., Mead, A., Burston, S. & Overs, T. (2004). Seed production of *Chenopodium album* in competition with field vegetables. *Weed Research*, 44: 271-281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00399.x>
39. Hanson, W., Strid, A., Gervais, J., Cross, A. & Jenkins, J. (2020). Atrazine Fact Sheet. National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. Recuperado de: <http://npic.orst.edu/factsheets/atrazine.html>
40. Haukkipää, A. L., Junnila, S., & Eriksson, C. (2005). Efficacy of imazamox in imidazolinone-resistant spring oilseed rape in Finland. *Agricultural and Food Science*, 14(4), 377-388. <https://doi.org/10.2137/145960605775897650>
41. Hatcher, P.E. & Melander, B. (2003). Combining physical, cultural and biological methods: prospects for integrated non-chemical weed management strategies. *Weed Research*, 43(5), 303-322. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00352.x>
42. Hayyat, M. S., Safdar, M. E., Akram, M., & Iqbal, Z. (2016). Screening of herbicides for efficient control of broadleaf weeds in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 22(3), 365-379.
43. Hazrati, H., Saharkhiz, M. J., Niakousari, M., & Moein, M. (2017). Natural herbicide activity of *Satureja hortensis* L. essential oil nanoemulsion on the seed germination and morphophysiological features of two important weed species. *Ecotoxicology and environmental safety*, 142, 423-430.
44. Heap, I. M. (1997). The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide. *Pesticide science*, 51(3), 235-243. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199711\)51:3<235::AID-PS649>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199711)51:3<235::AID-PS649>3.0.CO;2-N)
45. Heap, I. (2014). Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest management science*, 70(9), 1306-1315. <https://doi.org/10.1002/ps.3696>
46. Heap, I. The International Herbicide-Resistant Weed Database. Recurso online. Recuperado en: <http://www.weedscience.org/Pages/SOADescription.aspx> (Acceso el 27 de julio de 2020).
47. Heap, I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Recurso online. Recuperado en: <http://www.weedscience.org> (Acceso el 19 de julio de 2020).
48. Heidari, G., Sohrabi, Y., Mohammadi, K., Heidari, A., & Majidi, M. (2011). Interference of common lambsquarters (*Chenopodium album* L.) with sugar beet. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 11, 451-455.
49. Hekmat, S., Soltani, N., Shropshire, C. & Sikkema, P.H. (2008). Effect of imazamox plus bentazon on dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Protection*, 27(12), 1491-1494. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.07.008>
50. Holm, L.G., Plucknett, D.L., Pancho, J.V. & Herberger, J.P. (1977). The world's worst weeds. The University Press of Hawaii, Honolulu, 84-91
51. Holt, J. S., Welles, S. R., Silvera, K., Heap, I. M., Heredia, S. M., Martinez-Berdeja, A., Palenscar K. T., Sweet, L. C. & Ellstrand, N. C. (2013). Taxonomic and life history bias in herbicide resistant weeds: Implications for deployment of resistant crops. *PLOS ONE*, 8(9) doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0071916>
52. International Society of Precision Agriculture (20 de junio de 2020). *Precision Agriculture Definition*. Recuperado en: <https://www.ispag.org/about/definition>

53. Ioannou, N. (2000). Soil solarization as a substitute for methyl bromide fumigation in greenhouse tomato production in Cyprus. *Phytoparasitica*, 28(3), 248-256.
54. Isik, D., Mennan, H., Cam, M., Tursun, N., & Arslan, M. (2016). Allelopathic potential of some essential oil bearing plant extracts on Common Lambsquarters (*Chenopodium album* L.). *Revista De Chimie (Bucharest)*, 67(3), 455-459.
55. James, T. K., Rahman, A., & Meilsop, J. M. (2005). Fathen (*Chenopodium album*) a biotype resistant to dicamba. *New Zealand Plant Protection*, 58, 152-156. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2005.58.4321>
56. Jursik, M., Hamouzová, K., Soukup, J., & Šuk, J. (2016). Effect of nonwoven fabric cover on the efficacy and selectivity of pendimethalin in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 200, 7-12. doi: 10.1016/j.scienta.2015.12.054
57. Katan, J., Greenberger, A., Alon, H., & Grinstein, A. (1976). Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*, 66(5), 683-688.
58. Kniss, A. R., Miller, S. D., Westra, P. H., & Wilson, R. G. (2007). Glyphosate susceptibility in common lambsquarters (*Chenopodium album*) is influenced by parental exposure. *Weed science*, 55(6), 572-577.
59. Konstantinović, B., Blagojević, M., Konstantinović, B., & Samardžić, N. (2015). Resistance of weed species *Chenopodium album* L. to ALS-inhibitors. *Romanian Agricultural Research*, 32, 253-261.
60. Kunz, C., Weber, J.F., Peteinatos, G.G., Sökefeld, M. & Gerhards, R. (2018) Camera steered mechanical weed control in sugar beet, maize and soybean. *Precision Agriculture*, 19, 708–720. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9551-4>
61. Labrada, R., Caseley, J. C., & Parker, C. (1996). *Manejo de malezas para países en desarrollo* (Vol. 120). *Food & Agriculture Organization*.
62. LeClere, S., Wu, C., Westra, P., & Sammons, R. D. (2018). Cross-resistance to dicamba, 2, 4-D, and fluroxypyr in *Kochia scoparia* is endowed by a mutation in an AUX/IAA gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(13), E2911-E2920.
63. Lewis, J. (1973). Longevity of crop and weed seeds: survival after 20 years in soil. *Weed Research*, 13, 179-191. doi: [10.1111/j.1365-3180.1973.tb01262.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1973.tb01262.x)
64. Liebman, M., Gallandt, E. R., & Jackson, L. E. (1997). Many little hammers: ecological management of crop-weed interactions. *Ecology in agriculture*, 1, 291-343.
65. López-Martínez, N., Castillo, S., Aguirre, I., González-Zamora, J. E., Avilla, C., & López-Medina, J. (2006). Effect of biofumigation on typical weeds of strawberry fields. *Acta Horticulturae*, 708, 193-196.
66. Luo, J., Zhou, J.J. & Zhang, J.Z. (2018). Aux/IAA Gene Family in Plants: Molecular Structure, Regulation, and Function. *International Journal of Molecular Sciences*, 19, 259. doi: 10.3390/ijms19010259.
67. Mall, T., Gupta, M., Dhadialla, T. S., & Rodrigo, S. (2019). Overview of biotechnology-derived herbicide tolerance and insect resistance traits in plant agriculture. *Transgenic Plants*. Humana Press, New York, 313-342. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8778-8\\_21](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8778-8_21)
68. Mallory-Smith, C. A., & Retzinger, E. J. (2003). Revised classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. *Weed Technology*, 17(3), 605-619. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2003\)017\[0605:RCOHBS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2003)017[0605:RCOHBS]2.0.CO;2)

69. Melander, B., Jørgensen, M. H., & Elsgaard, L. (2004). Recent results in the development of band steaming for intra-row weed control. In Abstracts 6th *EWSR Workshop on Physical and Cultural Weed Control*, 21.
70. Melander, B., Rasmussen, I. A., & Bàrberi, P. (2005). Integrating physical and cultural methods of weed control—examples from European research. *Weed Science*, 53(3), 369-381. doi: 10.1614/WS-04-136R
71. Meseldžija, M., & Dudić, M. (2018). Terbutylazine application with herbicides of different mode of action in maize crop. In *IX International Scientific Agriculture Symposium "AGROSYM 2018", Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 4-7 October 2018. Book of Proceedings*, 1019-1025. University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture.
72. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (14 de julio de 2020). Guías de Gestión Integrada de Plagas. Recuperado en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/guias-gestion-plagas/>
73. Mishra, J. S., & Singh, V. P. (2012). Tillage and weed control effects on productivity of a dry seeded rice–wheat system on a Vertisol in Central India. *Soil and Tillage Research*, 123, 11-20.
74. Mithila, J., Hall, J. C., Johnson, W. G., Kelley, K. B., & Riechers, D. E. (2011). Evolution of resistance to auxinic herbicides: historical perspectives, mechanisms of resistance, and implications for broadleaf weed management in agronomic crops. *Weed science*, 59(4), 445-457. <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00062.1>
75. Monks, C. D., Wilcut, J. W., & Richburg III, J. S. (1993). Broadleaf weed control in soybean (*Glycine max*) with chlorimuron plus acifluorfen or thifensulfuron mixtures. *Weed Technology*, 317-321. [www.jstor.org/stable/3987606](http://www.jstor.org/stable/3987606)
76. Müller-Schärer, H., Scheepens, P.C., & Greaves, M.P. (2002). Biological control of weeds in European crops: recent achievements and future work. *Weed Research*, 40, 83-98. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2000.00170.x>
77. Mutch, D.R., Thalmann, S.A, Martin, T.E. & Baas, D.G. (2008) Flaming as a method of weed control in organic farming systems. *Michigan State University Extension Bulletin E-3038*, Michigan.
78. Nagasawa, A., & Matsuda, K. (2005). Effects of feeding experience on feeding responses to spinach in *Cassida nebulosa* L.(Coleoptera: Chrysomelidae). *Applied Entomology and Zoology*, 40(1), 83-89.
79. Nagasawa, A., & Matsuda, K. (2010). Suppressive effect of exposure to *Chenopodium album* var. *centrorubrum* on the feeding response of the tortoise beetle, *Cassida nebulosa*, to spinach. *Entomologia experimentalis et applicata*, 134(1), 89-96.
80. Namvar, A., Seyed Sharifi, R., Khandan, T., & Molaei, P. (2009). Influence of extracts of *Chenopodium album* and NaCl salinity on germination and seedling growth of soybean. *Allelopathy Journal*, 23(1), 193-202.
81. Netland, J., Dutton, L. C., Greaves, M. P., Baldwin, M., Vurro, M., Evidente, A., ... & French, L. W. (2001). Biological control of *Chenopodium album* L. in Europe. *BioControl*, 46(2), 175-196. <https://doi.org/10.1023/A:1011425826359>
82. Ögüt, D., Doğan, M. N., & Einhorn, G. (2012). Control of *Chenopodium album* L. utilizing two plant pathogenic fungi in combination with reduced doses of nicosulfuron. *Julius-Kühn-Archiv*, (434), 281.

83. Osca Lluch, J.M. (2007) *Cultivos herbáceos extensivos*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 40-42 <https://elibro.net/ereader/elibrodemo/57368>.
84. Pandey, H.N., Misra, K.C., & Mukherjee, K.L. (1971) Phosphate Uptake and its Incorporation in Some Crop Plants and their Associated Weeds. *Annals of Botany, Volume 35*(2),367–372, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a084484>
85. Pannacci, E. & Tei, F. (2014). Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean. *Crop Protection, Volume 64*, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.001>.
86. Pannacci, E., & Onofri, A. (2016). Alternatives to terbuthylazine for chemical weed control in maize. *Communications in Biometry and Crop Science, 11*(1), 51-63.
87. Panpatte, D.G., Jhala, Y.K., Vyas, R.V. & Shelat, H.N. (2017). *Microorganisms for Green Revolution. Volume 1: Microbes for Sustainable Crop Production*. Springer, 412.
88. Pardo, G., Cirujeda, A., Anzalone, A., Aibar, J., & Zaragoza, C. (2006). Control mecánico de flora arvense con grada de varillas flexibles en cultivo de maíz. VII Congreso SEAE, n.º 60, Zaragoza.
89. Parker, V. H., Barnes, J. M., & Denz, F. A. (1951). Some observations on the toxic properties of 3: 5-dinitro-ortho-cresol. *British Journal of Industrial Medicine*, 8(4), 226. doi: [10.1136/oem.8.4.226](https://doi.org/10.1136/oem.8.4.226)
90. Pascual España, B., Pascual Seva, N., San Bautista Primo, A. & Castell Zeising, V. (2020). *Propagación de plantas*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia, 105.
91. Pesticide Properties Database. (24 de julio de 2020). *University of Hertfordshire*. Recuperado en: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/index.htm>
92. Rahman, A., James, T., & Trollove, M. (2014). Characteristics and control of dicamba-resistant common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed biology and management, 14*(2), 88-98. doi:[10.1111/wbm.12036](https://doi.org/10.1111/wbm.12036)
93. Rasmussen, J. (2003) Punch planting, flame weeding and stale seedbed for weed control in row crops. *Weed Research, 43*, 393-403. doi:[10.1046/j.0043-1737.2003.00357.x](https://doi.org/10.1046/j.0043-1737.2003.00357.x)
94. Reinhardt, C. F., Meissner, R., & Labuschagne, N. (1994). Allelopathic interaction between *Chenopodium album* L. and certain crop species. *South African Journal of Plant and Soil, 11*(1), 45-49. doi: [10.1080/02571862.1994.10634292](https://doi.org/10.1080/02571862.1994.10634292)
95. Rezaie, F., & Yarnia, M. (2009). Allelopathic effects of *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* and *Cynodon dactylon* on germination and growth of safflower. *Journal of Food, Agriculture and Environment, 7*(2), 516-521.
96. Rice, E.L. (1984). *Allelopathy*. Academic Press, London, 1-2.
97. Scheepens, P. C., Kempenaar, C., Andreasen, C., Eggers, T. H., Netland, J., & Vurro, M. (1997). Biological control of the annual weed *Chenopodium album*, with emphasis on the application of *Ascochyta caulina* as a microbial herbicide. *Integrated Pest Management Reviews, 2*(2), 71-76. doi: [10.1023/A:1018484530615](https://doi.org/10.1023/A:1018484530615)
98. Siddiqui, I., Bajwa, R., & Javaid, A. (2010). Mycoherbicidal potential of *Alternaria alternata* for management of *Chenopodium album* under field condition. *African Journal of Biotechnology, 9*(49), 8308-8312.
99. Siehl, D.L., & Roe, R.M. (1997). Inhibitors of EPSP synthase, glutamine synthetase and histidine synthesis. *Reviews in Toxicology, 1*, 37-68.

100. Sivesind, E. C., Gaska, J. M., Jeschke, M. R., Boerboom, C. M., & Stoltenberg, D. E. (2011). Common lambsquarters response to glyphosate across environments. *Weed Technology*, 25(1), 44-50. <https://doi.org/10.1614/WT-D-10-00056.1>
101. Siyar, S., Chaudhry, Z., Hussain, F., Hussain, Z., & Majeed, A. (2017). Allelopathic Effects of Some Common Weeds Prevailing in Wheat Fields on Growth Characteristics of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *PSM Biological Research*, 2(3), 124-127.
102. Slater, A., Scott, N. W., & Fowler, M. R. (2008). *Plant biotechnology: The genetic manipulation of plants*. Oxford University Press, Nueva York, 111-121.
103. Sociedad Española de Malherbología. (20 de julio de 2020). El laboreo de verano para la gestión de malas hierbas en cereales de invierno. <https://semh.net/registro/el-laboreo-de-verano-para-la-gestion-de-malas-hierbas-en-cereales-de-invierno/>
104. Stapleton, J.J. & DeVay, J.E. (1986) Soil solarization: a non-chemical approach for management of plant pathogens and pests. *Crop Protection* 5(3), 190-198. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(86\)90101-8](https://doi.org/10.1016/0261-2194(86)90101-8)
105. Stewart, C. L., Soltani, N., Nurse, R. E., Hamill, A. S., & Sikkema, P. H. (2012). Precipitation influences pre-and post-emergence herbicide efficacy in corn. *American Journal of Plant Sciences*, 3(09), 1193-1204. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.39145>
106. Stokłosa, A., Matraszek, R., Isman, M. B., & Upadhyaya, M. K. (2012). Phytotoxic activity of clove oil, its constituents, and its modification by light intensity in broccoli and common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed science*, 60(4), 607-611. <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00210.1>
107. Synowiec, A., & Nowicka-Polec, A. (2016). Effect of aqueous extracts of selected medicinal plants on germination of windgrass [*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.] and lambsquarters (*Chenopodium album* L.) seeds. *Acta Agrobotanica*, 69(3). DOI: [10.5586/aa.1668](https://doi.org/10.5586/aa.1668)
108. Taberner, A. (2005) Manejo de poblaciones resistentes con herbicidas en los cultivos de cereales de invierno, maíz y arroz. *Taller Iberoamericano sobre Resistencia a Herbicidas y Cultivos Transgénicos*, Uruguay, 52-63
109. Tariq, M., Ali, H., Hussain, N., Nasim, W., Mubeen, M., Ahmad, S., & Hasanuzzaman, M. (2019). Fundamentals of crop rotation in agronomic management. In *Agronomic Crops*, 545-559. [https://doi.org/10.1007/978-981-32-9151-5\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9151-5_24)
110. Toole, E.H. (1946). Final results of the Duvel buried seed experiments. *Journal of Agricultural Research*, 72, 201-210.
111. Tworkoski, T. (2002). Herbicide effects of essential oils. *Weed science*, 50(4), 425-431. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0425:HEOEO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0425:HEOEO]2.0.CO;2)
112. Upadhyaya, M. K., & Blackshaw, R. E. (2007). Non-chemical weed management: principles, concepts and technology. *Cabi*, 155-200.
113. Van der Weide, R. Y., Bleeker, P. O., & Lotz, L. A. P. (2002). Simple innovations to improve the effect of the false seedbed techniques. *5th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control. Pisa, Italy*, 3-4.
114. Vasilakoglou, I., Dhima, K., Wogiatzi, E., Eleftherohorinos, I. & Lithourgidis, A., (2007). Herbicidal potential of essential oils of oregano or marjoram (*Origanum* spp.) and basil (*Ocimum basilicum*) on *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. and *Chenopodium album* L. weeds. *Allelopathy Journal*, 20, 297-306.

115. Verdeguer Sancho, M. M. (2011). Fitotoxicidad de aceites esenciales y extractos acuosos de plantas mediterráneas para el control de arvenses (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de València. Recuperado en: <https://www.riunet.upv.es>
116. Vurro, M., Zonno, M. C., Evidente, A., Andolfi, A., & Montemurro, P. (2001). Enhancement of efficacy of *Ascochyta caulina* to control *Chenopodium album* by use of phytotoxins and reduced rates of herbicides. *Biological Control*, 21(2), 182-190. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0933>
117. Wall, D. A. (1995). Bentazon tank-mixtures for improved redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) and common lambsquarters (*Chenopodium album*) control in navy bean (*Phaseolus vulgaris*). *Weed Technology*, 9(3), 610-616. <https://www.jstor.org/stable/3987680>
118. Warwick, S.I. (1991). Herbicide resistance in weedy plants: physiology and population biology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 22, 95-114.
119. Woodburn, A.T. (2000). Glyphosate: production, pricing and use worldwide. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 56(4), 309-312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1526-4998\(200004\)56:4<309::AID-PS143>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1526-4998(200004)56:4<309::AID-PS143>3.0.CO;2-C)
120. Warwick, S.I. & Black, L. (1980). Uniparental inheritance of atrazine resistance in *Chenopodium album*. *Canadian Journal of Plant Science*, 60(2), 751-753. <https://doi.org/10.4141/cjps80-108>
121. Xiurong, Z., Dongbao, S., & Lizheng, W. (1999). Study on *Cassida nebulosa* L. tempted by *Chenopodium album* L. Weed to Be Killed. *Journal of Changjiang Vegetables*, 12(1).
122. Yao, S., Lan, H. & Zhang, F. (2010). Variaton of seed heteromorphism in *Chenopodium album* and the effect of salinity stress on the descendants. *Annals of Botanny*, 105, 1015-1025. doi: 10.1093/aob/mcq060
123. Yerka, M. K., de Leon, N., & Stoltenberg, D. E. (2012). Pollen-mediated gene flow in common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed Science*, 60(4), 600-606.
124. Zhou, Q., Liu, W., Zhang, Y. & Liu, K.K. (2007). Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 89(2), 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2007.04.004>.