

Experiencia en el control de malas hierbas invasoras en Cataluña desde el punto de vista de su gestión

J.M. Llenes^{1,*}, S. Cónsola¹, J.M. Montull² y A. Taberner³

¹ Servicio Sanidad Vegetal, Generalitat de Catalunya. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España

² Grupo de Malherbología y Ecología Vegetal, Agrotecnio, ETSEA, Universitat de Lleida. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España

³ Dr. Ingeniero Agrónomo. Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España

Resumen

En este documento se revisa la experiencia en los trabajos de control y erradicación de plantas invasoras realizados en los cultivos de Cataluña a partir del año 2005, desde el punto de vista de su gestión. Los resultados permiten afirmar que se trata de un proceso complejo y no inmediato. Dado que evitar la entrada de nuevas plantas resulta muy difícil y costoso, resulta fundamental para tener éxito, una rápida detección y una pronta actuación sobre la mala hierba. Esto pone en relieve la importancia de disponer de una buena red de técnicos sobre el terreno que dé aviso cuando se detecte un problema, y también disponer de normativa que permita actuar de forma inmediata. La evaluación del riesgo de invasión y de la viabilidad del control de cada mala hierba de forma individual, aumenta la probabilidad de tener éxito en el proceso de erradicación y ayuda a optimizar los recursos. Se describen los caracteres biológicos que se han observado como más importantes para el éxito de una nueva introducción. Se repasan los criterios a tener en cuenta para el inicio y la finalización de actividades en una campaña de gestión ante la introducción de una nueva especie en los campos de cultivo de un territorio. Así mismo, se mencionan los criterios económicos ligados a estas actividades, los costes de su realización y la posibilidad de indemnizar a los agricultores afectados analizando los baremos a tener en cuenta.

Palabras clave: *Sicyos angulatus*, *Leptochloa fusca*, *Zea mays* subsp., teosinte, *Amaranthus palmeri*.

Experience in the control of invasive weeds in Catalonia from the point of view of its management

Abstract

This document describes the experience in the control and eradication tasks of invasive weeds carried out in the crops of Catalonia since 2005, from its management point of view. The results allow to affirm that is a complex and not immediate process. Since avoiding the arrival of new plants is very difficult and expensive rapid detection and rapid action on introduced weeds are essential for success. This fact highlights the importance of having a good network of technicians all around the agricultural areas that transfer the information when a problem is detected; also having regulations that allow immediate action is essential. The invasion risk evaluation and the viability of weed control increases the likelihood of success in the eradication process and helps optimizing resources. The biological characters that have been observed as most important for the success of a new introduction are described. The criteria to

* Autor para correspondencia: josepma.llenes@gencat.cat

be taken into account for the start and end of activities in a management campaign after the introduction of a new species in the fields of a territory are reviewed. Likewise, the economic criteria related to these activities are mentioned, such as the costs of their realization and the possibility of compensating economically the affected farmers by analyzing the criteria to be taken into account.

Keywords: *Sicyos angulatus*, *Leptochloa fusca*, *Zea mays* subsp., teosinte, *Amaranthus palmeri*.

Introducción

La definición más ampliamente aceptada de una planta invasora la muestra como aquella planta alóctona o exótica que se ha naturalizado (Heywood y Brunel, 2008). En el ámbito agrícola, se trataría de una planta que si bien no se encontraba con anterioridad afectando a un cultivo en un territorio determinado, en la actualidad se propaga por sí misma y causa problemas y daños económicos.

La teoría y la lógica presentan la prevención como la medida de lucha más eficaz para evitar la entrada de plantas en un territorio (Davies y Sheley, 2007). La práctica se encarga de mostrar la gran complejidad que eso comporta. En primer lugar, cabe resaltar la dificultad de identificar las plantas potencialmente invasoras y con riesgo de ser introducidas en los campos de cultivo, lo cual complica la elaboración de listados oficiales de plantas cuya entrada se tendría que evitar. Esta dificultad se ve reflejada en la inexistencia en España de una relación de estas características, tomándose como referencia el listado de la EPPO de plantas con posible riesgo de comportarse como invasoras (EPPO, 2018). Esta relación resulta muy útil en el momento de tomar la decisión de actuar sobre una planta sospechosa de ser invasora.

En segundo lugar, controlar todas las vías de entrada supondría un coste económico gigantesco, difícil de asumir (Perrings, 2001). Ante la inexistencia en la actualidad de una actuación de contención que trate de evitar la entrada de estas plantas, el control y lucha precoz sobre el terreno pasan a ser la primera

y más eficaz medida de lucha contra las malas hierbas invasoras. Cuando se detecta una planta en el medio agrícola, se identifica correctamente y se constata que es una planta alóctona, la pregunta que surge es: ¿se comportará como invasora?. Son numerosos los criterios y análisis de riesgo descritos para evaluar esta posibilidad, revisados por Del Monte y Zaragoza (2004). En ocasiones, a efectos prácticos es suficiente observar alrededor y observar su agresividad y su capacidad de expansión para encontrar una respuesta. En otras ocasiones, existe abundante información que hace sospechar que la planta se comportará como invasora y, otras veces es necesario hacer un seguimiento en el tiempo con el fin de averiguar si se trata de una especie invasora o simplemente estamos delante de una especie subespontánea o adventicia.

El tener que actuar de la forma más inmediata posible ante la aparición de una especie de estas características pone en relieve la necesidad de disponer de una buena red de técnicos en el territorio que dé un aviso rápido cuando tenga constancia de algún organismo que a su parecer puede causar daños mayores en la zona. Es aquí donde entran en juego las Agrupaciones de Defensa Vegetal (ADV) en Cataluña, u otras redes de técnicos en otras regiones, como ATRIAS en Andalucía y Aragón, que actúan de nexo entre el agricultor, quien da la primera voz de alarma y la administración, que toma la decisión de actuar y pone los medios para hacerlo.

La erradicación de una planta invasora no es un proceso inmediato, sino que requiere de un tiempo, ya que en numerosas ocasiones es

necesario tener en cuenta la persistencia del banco de semillas. Por este motivo, muy a menudo, la estrategia consiste en identificar todos los focos de la mala hierba invasora, evitar su propagación e ir favoreciendo el agotamiento del banco de semillas hasta que llega un momento en el que la planta se puede considerar erradicada (Regan et al., 2006; Rout et al., 2009). Este es prácticamente el caso de *Sicyos angulatus* L. en Cataluña.

El proceso es mucho más complejo en el caso de aquellas plantas invasoras que afectan al medio acuático (del Monte y Zaragoza, 2004), tal y como ocurre con las especies invasoras de los géneros *Leersia* y *Leptochloa* en el arroz cultivado por inundación en el Delta del Ebro, donde el agua facilita enormemente el movimiento de las semillas de plantas dificultando enormemente el proceso de erradicación.

Se entiende como planta naturalizada a aquella planta alóctona de introducción voluntaria o involuntaria que aparece de forma constante en una zona y que es capaz de propagarse por sus propios medios comportándose como si fuera una especie autóctona. Por otra parte, planta exótica o alóctona es una especie que ha sido introducida fuera de su área de distribución natural pasada o presente.

Hay que destacar que, en el término invasora, en realidad, se incluye la capacidad de adaptarse al nuevo medio en que se ha introducido. Radosevich et al. (2007) proponen distinguir entre planta invasora y planta que tiene una gran capacidad de adaptación a un territorio nuevo en el que sean introducidas.

Esto es interesante tenerlo en cuenta porque la mayoría de malas hierbas se pueden considerar invasoras como sinónimo de capacidad de expansión en el espacio en un territorio en el que ya llevan muchos años presentes. Sin embargo, no todas las especies que se comportan como malas hierbas en un territorio lo acaban siendo en otros. Así, hay que hacer un

estudio especie por especie en cada territorio y observar su evolución real para constatar si se está ante una nueva mala hierba invasora.

Ejemplos de la aparición de malas hierbas invasoras en el medio agrícola de Cataluña

La primera intervención de la administración catalana para el control y eliminación de una mala hierba invasora en Cataluña fue en el año 2005 ante la presencia de *S. angulatus* (DOGC, 2005). Desde entonces, se han llevado a cabo acciones sobre siete especies invasoras de los campos de cultivo en Cataluña. Estas especies se han desarrollado tanto en condiciones de cultivo de maíz en regadío como en campos inundados de arroz. Previamente, se había tenido experiencia con el comportamiento de dos especies invasoras como *Abutilon theophrasti* Medik. (Recasens et al., 2005) y *Hetheranthera reniformis* Ruiz & Pav. (Llenes et al., 2006), que se habían adaptado perfectamente a las condiciones climáticas y a los cultivos de Cataluña, obligando a cambiar sustancialmente su manejo, pero sobre las cuales no se realizó ninguna actuación desde la administración competente más allá del asesoramiento a los agricultores para su control, realizado por el Servicio de Sanidad Vegetal. También hay que mencionar los casos de otras especies que no han llegado a establecerse de forma definitiva, como *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schltdl. (DOGC, 2006a) o *Solanum carolinense* L. (DOGC, 2006b) y, en la actualidad se ha citado a la presencia de *Urochloa texana* (Buckley) R.D. Webster (Webster et al., 2013), que no parece instalarse definitivamente en el territorio. La falta de adaptación a unas determinadas condiciones climáticas, a menudo puntuales en el momento de introducción, así como actividades humanas, a menudo involuntarias, contribuyen a la falta de éxito en algunas de estas introducciones. Por lo contrario, las entradas repetidas de la mala hierba invasora en una

zona, permiten sortear dificultades climáticas puntuales, así como acciones humanas perjudiciales para estas plantas. En aquellos casos en los que no se ha tomado ninguna medida oficial de control y erradicación, los costes generados por su competencia con los cultivos han ascendido a cantidades muy superiores a las que han supuesto los trabajos de control, como se ha podido describir para los casos de *Abutilon teophrasti* Medik. (Recasens et al., 2007 y 2008) o teosinte (Martínez et al., 2018). Por ello, se considera que desde la administración competente es imprescindible promover trabajos de control para intentar ahorrar esos gastos.

Supuestos previos a tener en cuenta

Cuando se constata la presencia de una especie nueva en un campo de cultivo o prado, primero se debe identificar la planta; posteriormente es necesario tratar de cuantificar el riesgo potencial que supone su aparición, utilizando alguno de los métodos de evaluación de riesgo existentes (Pheloung, 1999; Williams y Panetta, 2003 en Del Monte y Zaragoza, 2004). Antes de decidir si es conveniente tomar alguna decisión desde la administración, se hace necesaria la evaluación del coste y de las posibilidades de éxito de posibles medidas de control y de erradicación a adoptar. En la revisión de Panetta (2015) numerosos expertos evidencian que el control y posterior erradicación de una planta invasora en medio agrícola es una operación muy dificultosa, los costes y las probabilidades de éxito van estrechamente ligados a una detección precoz cuando los focos de infestación todavía son reducidos y muy delimitados. En este primer estadio de detección, la invasión no tendría que superar 1 km² de superficie, ni el número de campos tendría que exceder los 5 si se desea poder alcanzar el objetivo de erradicación, si bien otros trabajos citan superficies incluso muy inferiores (Rejmánek y Pitcairn, 2002; Woldendorp y Bumford, 2004). Pluess

et al. (2012a y 2012b) hacen una relación de los factores considerados más importantes para que una campaña de erradicación sea exitosa; después de analizar 137 campañas de erradicación sobre 75 especies, citan los cuatro factores que consideran más importantes: (1) el tiempo de reacción entre la llegada de la invasión y el inicio de la campaña de erradicación, (2) la extensión inicial de la infestación, (3) el conocimiento de la biología del organismo a erradicar y (4) que la infestación se dé en condiciones de insularidad.

Caracteres biológicos que se consideran de especial interés en una mala hierba invasora

Para que una especie se comporte como invasora debe tener la capacidad de desarrollarse y mantenerse en el tiempo una vez introducida en un territorio. Según Baker (1986) y Groves (1986), pueden resumirse los siguientes aspectos:

1. Debe ser capaz de un crecimiento rápido.
2. Ha de tener pocos o nulos enemigos naturales (depredadores, parásitos etc.) en el nuevo territorio.
3. Ha de poder sobrevivir en condiciones adversas, ya sean naturales o debidas a la presencia de perturbaciones antrópicas.
4. Debe haber una afinidad climática entre la región de origen y la región invadida.
5. Ha de poseer mecanismos de dispersión de las diásporas tanto a corta como a larga distancia. Se debe valorar que tenga capacidad de desplazarse fuera del campo infestado inicialmente.
6. Le favorece el tener capacidad de producción de sustancias alelopáticas sobre la flora autóctona.
7. Ha de producir semillas longevas con capacidad de formar bancos persistentes en el suelo. La longevidad del banco de semi-

llas constituye un factor determinante a la hora de predecir la duración de las campañas de control y erradicación de una mala hierba, lo que a su vez determinará la viabilidad agronómica y económica de dichas campañas.

8. Debe tener alta valencia ecológica, con capacidad para sobrevivir, crecer y reproducirse en un amplio rango de condiciones ambientales.

Las especies arvenses alóctonas que se han establecido en Cataluña, según Recasens y Conesa (2003), presentan como caracteres más frecuentes tener un ciclo anual, preferentemente estival, dispersarse de forma no especializada y relacionada con la actividad antrópica, tener metabolismo fotosintético C4, ser autógamias y poliploides.

Los diferentes sistemas de análisis del riesgo de introducción de una nueva mala hierba (Weed Risk Assessment (WRA) (Pheloung, 1999) también tienen en cuenta estos atributos, junto con aspectos climáticos o de adaptabilidad al medio que podrían afectar. En la tabla 1 se recopilan algunas de las citadas características de las malas hierbas invasoras más importantes en Cataluña. Destaca que todas las especies consideradas son de emergencia primaveral o estival y afectan a cultivos de verano, algunas en regadío y otras en condiciones de cultivo en medio acuático.

Legislación aplicada en Cataluña y en otras partes del mundo

La aparición de malas hierbas invasoras no es un hecho de tiempos recientes. De siempre ha existido la posibilidad de introducción de nuevas especies en un territorio y el riesgo es especialmente elevado en territorios insulares, lo que ha motivado el desarrollo de una legislación para combatirlas.

Son de aplicación en el ámbito comunitario, entre otras, el Reglamento (UE) 2016/2031

del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de octubre de 2016, relativo a las medidas de protección contra las plagas de los vegetales, así como el Reglamento (UE) n° 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014, sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras.

También deben contemplarse desde un punto de vista legislativo las directrices comunitarias sobre ayudas estatales al sector agrario y forestal 2007-2013 (2006/C319/01) (DOUE, 2006), que establecen la compatibilidad con el mercado común de las ayudas compensatorias destinadas a la lucha contra enfermedades de los vegetales, si se cumplen las exigencias previstas en el artículo 10 del Reglamento CE 1857/2006, de la Comisión, de 15 de diciembre, sobre la aplicación de los artículos 87 y 88 del Tratado a las ayudas estatales para las pequeñas y medianas empresas dedicadas a la producción de productos agrícolas y por el que se modifica el Reglamento CE 70/2001.

A nivel estatal se dispone de la Ley de Sanidad Vegetal de 2002 (BOE, 2002) que ha contribuido a la adopción de dichas medidas brindando el apoyo legal necesario (Maillet y Zaragoza, 2003).

A nivel autonómico en el artículo 116 del estatuto de Autonomía de la Comunidad Autónoma de Cataluña se establece que ésta dispone de competencias plenas en lo referente a salud animal y vegetal en aquellos casos que no interfiera con la salud humana. Por ello, frente a la introducción de un organismo, en nuestro caso mala hierba, que pueda causar perjuicios económicos severos, el Decreto 6/1985, de 14 de enero derogado por Decreto 137/2014, de 7 de octubre, estableció el régimen para la adopción de las medidas urgentes para la erradicación de focos de plagas especialmente peligrosas para los vegetales en Cataluña.

Tabla 1. Características de las malas hierbas invasoras en cultivos más importantes en Cataluña. Nd: dato no disponible. N/P: No procede.
 Table 1. Characteristics of the invasive weeds in the most important crops in Catalonia. We distinguish between the already established species and the newly-introduced. Nd: data not available. N/P: Not Applicable.

	<i>Abutilon theophrasti</i>	<i>Heteranthera spp.</i>	<i>Sicyos angulatus</i>	<i>Leptochloa fusca</i>	<i>Leersia oryzoides</i>	<i>Zea mays subsp. (teosinte)</i>	<i>Amaranthus palmeri</i>
Cultivo	Maíz	Arroz	Maíz	Arroz	Arroz	Maíz	Maíz
Año de introducción	1985	1992	1996	2005	2005	2012	2007
Año de detección en medio agrícola	Nd	Nd	2002	2005	2005	2014	2018
Año de detección en medio natural	Nd	Nd	1996	2005	2005	2012	2007
Campaña de Control o de Erradicación	No	No	Si	Si	Si	No (únicamente recomendaciones)	No (Solo contención)
Año en el que se toma una medida oficial	No	No	2004-2005	2006	2006	2015	2018
Tiempo entre detección en medio agrícola y actuación	N/P	N/P	Muy corto	Muy Corto	Muy Corto	Muy Corto	Corto
Superficie afectada en detección en medio agrícola (ha)	Nd	Nd	5,7	0,4	2,7	25,45	80,53
Medio al que afecta	Terrestre	Acuático	Terrestre	Acuático	Acuático	Terrestre	Terrestre
Valencia ecológica	Alta	Media	Media	Alta	Media	Media	Alta
Tipo de reproducción	Sexual	Sexual/Asexual	Sexual	Sexual	Sexual/Asexual	Sexual	Sexual
Monoica/Dioica	Monoica	Monoica	Monoica	Monoica	Monoica	Monoica	Dioica
Producción de semillas	Muy alta De 250 a 42.000	Muy alta	Muy alta De 250 a 42.000	Alta	Alta	Media	Muy alta 150.000 a 500.000

Tabla 1. Características de las malas hierbas invasoras en cultivos más importantes en Cataluña. Nd: dato no disponible. N/P: No procede (continuación).

Table 1. Characteristics of the invasive weeds in the most important crops in Catalonia. We distinguish between the already established species and the newly-introduced. Nd: data not available. N/P: Not Applicable (continuación).

	<i>Abutilon theophrasti</i>	<i>Heteranthera spp.</i>	<i>Sicyos angulatus</i>	<i>Leptochloa fusca</i>	<i>Leersia oryzoides</i>	<i>Zea mays subsp. (teosinte)</i>	<i>Amaranthus palmeri</i>
Banco de semillas persistente	Si >15 años	Si >15 años	Si >10 años		Si	No <4 años	No <5 años
Tamaño de la semilla	Mediano	Muy pequeño	Grande	Pequeño	Mediano	Mediano	Muy pequeño
Tamaño de la semilla respecto al cultivo	Pequeña	Muy Pequeño	Similar	Pequeño	Similar	Similar	Muy pequeño
Germinación escalonada	Si	No (poco)	Si	Si	Si	Si	Si
Dehiscencia de las semillas	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aspecto biológico más preocupante	Número de semillas/longevidad banco semillas /germinación escalonada	Número de semillas	Longevidad banco de semillas/ germinación escalonada	Dehiscencia semillas	Dehiscencia semillas y reproducción asexual	Similitud al cultivo y dehiscencia semillas	Número de semillas/rápido crecimiento/ germinación escalonada
Técnica de cultivo que propaga la especie	Cosecha y aplicación purines	Cosecha y laboreo	Cosecha	Cosecha y laboreo	Cosecha y laboreo	Cosecha	Cosecha, laboreo, transporte grano, aplicación purines
Éxito de la medida oficial	Nd	Nd	Alto (próximo a erradicación)	Medio-Alto (contención y control)	Medio-Alto (contención y control)	Alto (contención)	En proceso

Por tanto, el conjunto de normativa anteriormente expuesta configura el fundamento de derecho por el que se puede actuar frente a la presencia de especies vegetales de nueva introducción en los cultivos a fin de evitar perjuicios en sanidad vegetal o económicos para los agricultores.

Del conjunto de esta legislación, el Decreto 137/2014, de 7 de octubre, de forma más concreta, permite incluir a una especie vegetal no deseada en un territorio. Por ello, este Decreto debería activarse ante la presencia de una nueva especie en el caso de que se desee, y se vea viable, hacerlo.

Llama la atención que no fue hasta finales del siglo pasado que no se adaptaron en Cataluña medidas tan contundentes como las actuales en un intento de erradicación de las especies de nueva introducción. Este cambio en la manera de proceder de las administraciones responsables es debido en gran medida a la toma de conciencia de los cambios y daños que habían causado algunas malas hierbas invasoras en los cultivos introducidas a partir de los años 80 como *A. theophrasti* y *Heteranthera* spp.

Otras zonas del mundo, históricamente, se han visto severamente afectadas por la introducción de nuevas plantas invasoras. Es el caso de Australia o de Nueva Zelanda donde Heywood (1989) estimaba que el 50 % de la flora era ya introducida. Esto ha contribuido a la toma de conciencia en estos países del problema que suponen las plantas invasoras y a la adopción de medidas para combatirlas. En este sentido Australia dispone de normativa al respecto mediante la Environment Protection and Biodiversity Conservation Act del año 1999 y de una estrategia nacional para combatir las malas hierbas: la Australian Weed Strategy 2017-2027 (Australian Government, 2017). Otras regiones como los Estados Unidos también disponen de normas de tipo federal como la Plant Protection Act publicada el año 2000, que ya tiene en cuen-

ta las malas hierbas invasoras y algunos de sus estados disponen de leyes, ya muy antiguas como la Kansas Noxious Weed Law de 1937 (KDA, 2019) del Departamento de Agricultura de este estado, lo que es indicativo del problema que han supuesto las plantas invasoras en algunas regiones del mundo.

Objetivo

En esta aportación, se resumen las actuaciones y experiencias en cuanto a la gestión de las plantas invasoras en los cultivos agrícolas en Cataluña desde el año 1980. Se pretende transmitir la experiencia y la visión adquiridas a lo largo de diversas campañas de control y erradicación de las malas hierbas invasoras más recientes que afectan a los cultivos de la geografía catalana, como *Sicyos angulatus* L., *Zea mays* subsp. (teosinte) y *Amaranthus palmeri* S. Wats. en maíz y *Leptochloa fusca* (L.) Kunth. y *Leersia oryzoides* (L.) Swartz en campos de arroz del Delta del Ebro con la finalidad de facilitar la toma de decisiones adecuadas en otras regiones que puedan estar afectadas por estas u otras especies. Las actuaciones que se consideran siempre se realizan en cultivos agrícolas, no en el medio natural, con especies de nueva introducción en los campos de cultivo y desde el mismo momento de detección por parte de las autoridades sanitarias o de los propios agricultores.

Casos de *S. angulatus*, *L. fusca* y *L. oryzoides*, *Z. mays* subsp. y *A. palmeri*

S. angulatus

Se trata de una planta anual, de la familia de las cucurbitáceas, originaria de Norteamérica que se introdujo en Europa como ornamental y que se caracteriza por ser una enredadera que presenta zarcillos ramificados y que puede llegar a tener longitudes superiores a los 10 m (Smeda, 2001). Por las ob-

servaciones en otros países se sabe que tiene un banco de semillas persistente, ya que éstas tienen dormición física (Qu et al., 2010). Por lo observado en las campañas de erradicación en Cataluña la longevidad del banco de semillas es superior a los 8 años.

Otro aspecto relevante de su biología es su germinación escalonada durante el ciclo de cultivo (Smeda, 2001) lo que dificulta enormemente su control, a pesar de ser bien controlada con herbicidas cuando está emergida (Messersmith et al., 1999; Aliaga et al., 2018). En las condiciones de Cataluña, las germinaciones ocurren desde finales de marzo hasta primeros de octubre, pasando por un periodo máximo de germinación que se da en los meses de mayo y junio. El número de germinaciones viene influenciado por las temperaturas, la iluminación y la humedad del suelo, siendo este último factor, determinante para que se produzcan nuevas germinaciones. Qu et al. (2010) atribuyen la dormi-

ción física de las semillas de *S. angulatus* a su impermeabilidad. Se ha observado que esta propiedad se ve alterada por el laboreo con fresadora en suelos con ligera pedregosidad donde se ha constatado un rápido agotamiento del banco de semillas que no se da en suelos franco arcillosos sin pedregosidad (datos sin publicar). Esto, muy posiblemente, es debido al deterioro de la cubierta de las semillas al golpearse con las piedras, lo que reduce su impermeabilidad y permite la germinación al penetrar la humedad.

Se tenía constancia de la presencia de esta especie en Cataluña en los márgenes del río Ter en la provincia de Girona (Fàbregas et al., 1996), así como en Francia donde Larché (2004) indicaba que su desarrollo se ve muy influenciado por la competencia que recibe de los cultivos a los que afecta. Así, en el cultivo del maíz puede acabar por derribar las plantas del cultivo, dificultando enormemente su recolección (Figura 1).



Figura 1. Aspecto de la infestación de *Sicyos angulatus* que ha desarrollado una masa cubriendo el campo de maíz.

Figure 1. View of the infestation of *Sicyos angulatus* that has developed a vegetal mass covering the maize field.

En el año 2002 se detectó esta planta por primera vez en un campo de maíz de la localidad de Miralcamp, en la comarca del Pla d'Urgell en la provincia de Lleida. El hecho de que la planta, lejos de desaparecer se expandiera, alarmó a los agricultores de la zona, que dos años después, en el verano de 2004, se pusieron en contacto con el técnico de la Agrupación de Defensa Vegetal (ADV) de la localidad de Miralcamp, que a su vez lo comunicó al Servicio de Sanidad Vegetal de la Generalitat de Cataluña quien identificó la especie.

Para determinar el nivel de riesgo que podría suponer su introducción en los cultivos de Cataluña, se utilizó la "Clave para la estimación del riesgo de nueva introducción de una mala hierba" propuesta por Williams y Panetta (2003) citada en Del Monte y Zaragoza (2004). Se constató también que se trata de una planta invasora al cumplir los requisitos propuestos por Richardson *et al.* (2000) y además es nociva por su capacidad de causar daños económicos a los cultivos de la zona.

El primer paso que se dió fue declarar su existencia oficial, estableciéndose medidas obligatorias de lucha contra ella (DOG, 2005). Posteriormente se prohibió el movimiento y comercialización de lotes de maíz que pudieran contener la mala hierba, sembrar maíz u otro cultivo de verano y se recomendaron medidas para agotar su banco de semillas en los cultivos de invierno o el barbecho.

Al tener constancia del problema cerca de la época de cosecha, además, se optó por llevar a cabo medidas drásticas para la destrucción de la mala hierba y evitar la recarga del suelo con semillas y su posterior expansión (Taberner y Sans, 2005). Entre ellas destacan la quema del cultivo o el triturado del mismo, con las consiguientes indemnizaciones para los agricultores.

También se llevaron a cabo estrategias de divulgación de la presencia de *S. angulatus* entre los agricultores y chóferes de las cose-

chadoras, para que comunicaran la detección de nuevos focos, si se daba el caso.

Como medida excepcional se promovió el empleo de una sola cosechadora para recolectar todas las parcelas afectadas, empezando por la zona más afectada y acabando por la zona más limpia, de modo que se hiciera una pre-limpieza en el interior de la misma parcela. Al finalizar la cosecha se procedió a una limpieza exhaustiva de la cosechadora (Figura 2). Algunas actuaciones llevadas a cabo, fueron objeto de indemnización para el agricultor. Teniendo en cuenta la evolución a lo largo del tiempo de la superficie afectada por esta especie, se considera que se ha logrado un elevado éxito de control gracias a las medidas adoptadas (Tablas 1 y 2). Posiblemente el aspecto clave haya sido en este caso la pronta actuación.

L. fusca y *L. oryzoides*

L. fusca es una planta anual de la familia de las Poáceas, originaria del continente americano, que se encuentra normalmente en los arrozales. Se conoce su presencia en la península ibérica desde el año 1980, en Extremadura. Se la puede encontrar en todas las zonas arroceras de España. *L. oryzoides* es una mala hierba perenne también de la familia de las Poáceas, que se reproduce por rizomas y por semilla y que no se encontraba afectando los arrozales del Delta del Ebro. El interés en la erradicación de estas especies es debido a que son malas hierbas en el cultivo del arroz con una elevada capacidad de competencia, por lo que han causado importantes daños en otras partes de España anteriormente donde se han convertido en malas hierbas muy importantes, igual o más que *Echinochloa* o el arroz salvaje (Osca, 2013; Romano *et al.*, 2018). Cuando se quieren controlar estas especies con herbicidas de forma masiva se pueden generar resistencias con una relativa facilidad.



Figura 2. Limpieza de la cosechadora, después de trabajar en un campo infestado de *Sicyos angulatus*.
Figure 2. Cleaning process of the harvester after working in a field infested with *Sicyos angulatus*.

En 2005 se detectaron ambas especies por primera vez en el Delta del Ebro (Taberner y Cónsola, 2011). Un año después, en 2006 se publicó la Orden ARP/342/2006, de 30 de junio, por la cual se establecían medidas obligatorias de lucha (DOGC, 2006a); Durante los meses de julio y agosto del mismo año, el Servicio de Sanidad Vegetal de la Generalitat de Cataluña envió un comunicado a los agricultores de la zona, con fichas identificativas de las especies para que conocieran la importancia de estas invasoras, así como para poder reconocerlas y avisar al Servicio de Sanidad Vegetal de su presencia.

Entre las medidas adoptadas destacan la prohibición de sembrar en las parcelas afectadas con lo que se pretendía limitar al máximo la entrada de maquinaria en las parcelas y evitar así que posteriormente esta maquinaria favoreciera la dispersión de las semillas de estas hierbas. También se obligó a realizar el fanguero de las parcelas, enterrar las malas hierbas antes de su floración y limpiar la maquinaria antes de la entrada en otras parcelas. El incumplimiento de esta Orden incurre en un incumplimiento de la Condicionalidad (aspecto clave para acceder ayudas de la Política Agraria Comunitaria Europea), pudiéndose además sancionar al propietario con una disminución en un porcentaje de todas las ayudas recibidas para toda la explotación.

Tabla 2. Evolución de la superficie afectada de malas hierbas invasoras en Cataluña desde el año 2005 al 2019. Datos expresados en hectáreas en cada uno de los años en que se realizaron labores oficiales de erradicación.

Table 2. Changes in the area affected by invasive weeds in Catalonia between 2005 and 2019. Data in hectares in each of the years where official eradication tasks were conducted.

Año de prospección	Superficie Afectada (ha)				
	<i>Sicyos angulatus</i>	<i>Zea mays</i> subsp. (teosinte)	<i>Amaranthus palmeri</i>	<i>Leptochloa fusca</i>	<i>Leersia oryzoides</i>
2005	5,7				
2006	16,5			0,4	2,7
2007	16,5			3,8	0,1
2008	14,8			6,7	3,8
2009	9,1			0,3	3,8
2010	9,1			0,2	7,5
2011	3,3			0,2	4,9
2012	2,7			8,5	4,3
2013	2,7			14,4	0,2
2014	1,5	25,5		4,0	0,1
2015	5,2	80,6		1,9	0,1
2016	5,2	117		0,4	1,8
2017	3,8	138,5		2,6	1,2
2018	2,3	144,1	80,5	–	–
2019	2,3	24,2	220	11,8	3,2

En la mayoría de los campos afectados por *Leptochloa spp.* ha sido suficiente con arrancar las plantas a mano, ya que la mayoría presentan un nivel de afectación muy bajo (Tabla 2). En algún campo con un nivel de afectación algo más elevado, se ha aplicado herbicida: glifosato en la zona afectada por *Leptochloa spp.*, o profoxidim, cihalofop-butilo (sólo o en mezcla con penoxsulam) en todo el campo. En campos que habían estado afectados por esta especie en campañas anteriores, se ha procedido a la siembra de una variedad de arroz tolerante al herbicida imazamox mediante el sistema Clearfield® (BASF).

La propagación de estas especies en la zona arrocera de Cataluña ha sido muy inferior comparado con las infestaciones muy elevadas que se pueden encontrar de *Leptochloa* en otras zonas de España, en Valencia (Osca, 2013) o en Extremadura (Romano et al., 2018), donde se han convertido en las principales malas hierbas a controlar en arroz. Se enumeran varias razones que podrían explicar esta diferencia entre regiones arroceras, siendo la principal la gestión de los niveles de agua. En concreto, en Cataluña estos niveles suelen ser superiores a los que se registran en otras regiones, donde los suelos son más fil-

trantes, reduciendo la altura de la lámina del agua. Esto muestra el diferente comportamiento que puede ocurrir con una nueva especie en un mismo cultivo en zonas diferentes, incluso de un mismo país, demostrando la importancia de llevar a cabo seguimientos regionales de potenciales especies invasoras. Con todo, se considera que en este caso el factor determinante que explica la diferente evolución de estas malas hierbas en el Delta del Ebro comparado con las otras zonas, ha sido una actuación precoz sobre ellas y la prospección constante a lo largo de estos años por parte de una técnico encargada de detectar nuevas infestaciones y de recordar a los agricultores la obligación de destruirlas.

Z. mays subsp. (teosinte)

En la cosecha de maíz de 2014 se detectó en campos de la comarca del Pla de Urgell (Lleida), una planta que era muy parecida al maíz y al sarrajón (*Sorghum halepense* (L.) Pers.). No se controlaba con ningún herbicida selectivo del maíz y se comportaba como una mala hierba compitiendo con el cultivo. Desde un principio la planta se llamó teosinte, fundamentalmente por el parecido de sus inflorescencias y semillas con las del ancestro del maíz, que actualmente se encuentra en algunas zonas concretas, especialmente en México (Andersson y De Vicente, 2010). Una vez desarrolla la inflorescencia y los frutos, tiene unas características morfológicas que hacían pensar que se trataba de *Z. mays* subsp. *mexicana*. A su vez, resultados previos de las pruebas realizadas con biología molecular apuntaban en la misma dirección. Había individuos que tenían una fuerte semejanza con *Zea mays* ssp. *parviglumis*. Mediante técnicas de biología molecular se pudo deducir que se trata de un maíz cruzado con un teosinte. Su genoma es más cercano al maíz comercial que al teosinte estándar presente en México (Trtikova et al., 2017; Devos et al., 2018; Díaz et al., 2019 y 2020).

Se tenía constancia de su presencia en campos de la Comunidad de Aragón, donde esta planta estaba mucho más extendida y ya había provocado pérdidas muy importantes de rendimiento en los campos de maíz afectados (Fuertes et al., 2015). También se había localizado en Francia donde se identificó como *Z. mays* subsp. *parviglumis* (Arvalis, 2013). La información para realizar una evaluación del riesgo era reducida, ya que los únicos datos sobre esta mala hierba estaban en una hoja informativa publicada en Francia para agricultores afectados por su presencia. Los daños provocados en Aragón (Fuertes et al., 2015) hacían presagiar un mismo comportamiento en Cataluña por lo que la primera medida adoptada fue hacer publicidad y difusión de la presencia de la mala hierba, con la finalidad de que los agricultores fueran conscientes de la existencia de ella e informaran de nuevos casos. Esta campaña permitió detectar focos relativamente alejados entre ellos, lo que previo a la prospección, sugirió que la infestación podía ser elevada, hecho que hacía inviable una campaña de erradicación de la mala hierba. La detección de infestaciones en una importante zona productora de maíz de Cataluña, motivó a tomar ciertas medidas oficiales, si bien no tan contundentes como en los ejemplos expuestos anteriormente con *S. angulatus* o *Leptochloa* spp.

Durante la campaña 2015 se realizó una prospección para poder determinar el alcance de la infestación y poder diseñar la estrategia a adoptar, que confirmó que la mala hierba estaba extendida en campos distribuidos por toda la provincia de Lleida. Se visitaron todas las parcelas de los agricultores a los que se les detectó y también aquellas parcelas en las que los agricultores comunicaron infestaciones en alguno de sus campos con el fin de detectar nuevas parcelas afectadas. Esto permitió identificar a las cosechadoras como el posible principal vector de dispersión de la mala hierba, lo cual se confirmó tras un estudio más detallado Montull et al. (en prensa).

Por esta razón en 2015 se hizo una campaña de difusión y reuniones con los propietarios de todas las cosechadoras de la zona maicera de Lleida y Aragón en colaboración con sus Servicios de Sanidad Vegetal. A su vez, vista la distribución, de la infestación se optó por una campaña de contención con la adopción de medidas de acompañamiento y concienciación de los agricultores para que adoptaran las medidas para reducir el banco de semillas de la mala hierba en sus parcelas.

En el marco de la estrategia de contención y concienciación de la existencia de la mala hierba, los siguientes años se realizaron prospecciones en todas las zonas maiceras de la provincia de Lleida.

Se ha llevado a cabo un proyecto de investigación conjuntamente con los investigadores de Aragón (Proyecto INIA ERTA-2014-00011-C02), en el que se ha estudiado la biología y diferentes métodos de control de esta mala hierba. Los resultados de este proyecto muestran que las semillas tienen una escasa viabilidad en el suelo. Es por ello que se han podido generar ante la presencia de infestaciones las siguientes recomendaciones: sembrar un cultivo de invierno y en verano promover la germinación mediante laboreo superficial para destruir las plantas de teosinte mecánicamente o con un herbicida después de su emergencia. También se ha encontrado un método eficaz de reducción de las infestaciones mediante la siembra de alfalfa, ya que en los sucesivos cortes se van eliminando las plantas emergidas y otras semillas que permanecen en el suelo acaban perdiendo la viabilidad. En el caso de sembrar maíz, es preferible destinarlo a ensilado, ya que en el momento del ensilado el número de semillas viables es muy reducido y se consigue una reducción muy importante del banco de semillas. En cuanto a las operaciones de cosecha se repiten las mismas recomendaciones que en la mayoría de las malas hierbas, como utilizar una única cosechadora para recolectar

todas las parcelas con rodales afectados, empezando por la zona más afectada y acabando por la zona más limpia, de modo que se haga una pre-limpieza en el interior de la misma parcela. Limpieza exhaustiva de la máquina, cuando finaliza su labor en la totalidad de los campos afectados.

Las características propias de la mala hierba y la aplicación de las recomendaciones por parte de los agricultores han contribuido a la reducción de las infestaciones y de la nueva superficie afectada. Sin pensar poder alcanzar la erradicación, se esperan, sin embargo, muy pocos casos en las próximas campañas. En este caso, la corta vida de las semillas de teosinte en el suelo favorece la rápida disminución del banco de semillas, favoreciendo la disminución de las densidades de esta planta en el tiempo, siempre y cuando se evite su resiembra.

A. palmeri

Esta especie está ampliamente documentada (Ward, 2013; Webster *et al.*, 2013) por ser en la actualidad una mala hierba clave en los cultivos de maíz, soja, sorgo y algodón en América, tanto del Norte como del Sur (Tuesca *et al.*, 2016). Su presencia en España está documentada desde el año 2007 (Verloove y Sánchez Gullón, 2008; Recasens y Conesa, 2011) aunque en estas primeras citas se la encuentra preferentemente en márgenes de carretera o de caminos y no dentro de campos de cultivo. Además, se han detectado pies aislados en la provincia de Lleida fuera de esta zona y en las vías de transporte desde el puerto de Tarragona a las principales fábricas de piensos compuestos de toda Cataluña. Sus características biológicas (Schonbeck, 2014) facilitan que se distribuya rápidamente por un territorio (Ikley y Jenks, 2019).

La expansión de esta especie en Cataluña está siguiendo un proceso similar al que se describe en la bibliografía, observado para otros países, ya que se ha introducido en el terri-

torio siguiendo las rutas de transporte, en los márgenes de carreteras y caminos. En el caso de España preocupa la vía de entrada que puede tener una especial incidencia, porque se trata de uno de los principales importadores de maíz, sorgo y soja de Europa (US Grains Council, 2019). En Cataluña, la vía de entrada de grano destinado a pienso proveniente de Estados Unidos, Brasil o Argentina, es el puerto de Tarragona (Qualimac, comunicación personal). Desde este puerto, hasta las zonas del interior donde se engorda el ganado, puede observarse *A. palmeri* en las rutas de transporte (datos sin publicar) y en los patios de las fábricas de pienso. Aunque la primera entrada se detectó en primer lugar en 2007, es en 2018 cuando se observó de forma masiva en el interior de los campos en zonas distintas a las primeras detecciones. Todo hace pensar en llegadas constantes de semillas de esta especie invasora en los granos destinados a pienso para alimentación animal. Por ello, se prevé que esta especie no podrá ser erradicada y se tiene como objetivo evitar su expansión y llegar a contenerla. En este sentido, para conseguir este objetivo ha sido publicada la Orden ARP/172/2019, de 10 de septiembre (DOGC, 2009), por la cual se declara la existencia de la mala hierba *A. palmeri* y se califica de utilidad pública la lucha contra ella.

Caracteres y factores clave en el éxito de las malas hierbas invasoras del medio agrícola: ejemplos

La experiencia adquirida durante estos años en las distintas campañas de erradicación y control de malas hierbas invasoras del medio agrícola permite destacar algunos de los atributos más influyentes en el éxito de la introducción de una nueva mala hierba invasora.

El que la especie se encuentra y complete su ciclo vital en ambientes y cultivos acuáticos es

un atributo que influye mucho en su capacidad de propagarse, debido a la facilidad que ofrece este medio para dispersar las semillas. Por este motivo se contempla como carácter especialmente grave en muchos de los análisis del riesgo (WRA) como el de Pheloung (1999).

Especies con producción de semillas abundante tienden a producir invasiones exitosas, (Williamson y Fitter, 1996). Tanto *Leptochloa* y *Leersia* en arroz como *A. theophrasti*, *S. angulatus* o *A. palmeri* en maíz destacan por producir un gran número de semillas, aspecto que asegura una gran abundancia en campo, lo que facilita su expansión y dificulta su control. A su vez estas plantas tienen una germinación escalonada durante la estación de cultivo. Este es un atributo relevante, que complica enormemente la implementación de estrategias encaminadas a su erradicación, ya sea por medios químicos o por control mecánico o manual.

Otro carácter al que concedemos una gran importancia para que una nueva planta en un territorio se expanda, es el tamaño de la semilla. Cuando la semilla es de tamaño inferior a la del cultivo que infesta, se facilita enormemente su expansión, ya sea por favorecer la recarga del banco de semillas en la cosecha, por ser eliminadas de forma diferente que el cultivo recolectado o porque se favorece su dispersión por pérdidas en los vehículos durante el transporte de la cosecha. Este carácter tiene especial importancia cuando capacita a sus semillas a no ser destruidas por las labores de molienda para la fabricación de pienso (Lamban, 1995). Ello permite que la semilla pueda ser consumida por el ganado a través del pienso y pueda incorporarse a los campos mediante estiércoles y purines, fenómeno conocido como endozoocoria, lo que puede facilitar mucho su dispersión.

En el caso de *S. angulatus*, se ha podido observar que la textura del suelo influye también en la supervivencia de las semillas. Así,

texturas arenosas y pedregosas favorecen que con el laboreo se escarifiquen las semillas y se favorezca su germinación.

Otro factor clave es que la introducción de semillas de la planta invasora tenga lugar repetidas veces. Es el caso de *A. palmeri*, en el que se observa que la introducción no ha sido única sino repetida en el tiempo. Casos opuestos son los del teosinte y el de la *Sicyos* en que todo hace pensar en que hubo una introducción única en el tiempo. Esto facilita en gran manera su control y hace posible su erradicación.

Reflexiones sobre el uso de baremos de indemnización y sanciones

En cada uno de los casos estudiados al establecer el correspondiente plan de erradicación de una especie surgió la duda de si se debe contemplar indemnizar a los agricultores afectados o por el contrario se les debe sancionar. Estas preguntas abren un debate que tiene varios aspectos. En primer lugar, se constata la carencia de estudios sobre las consecuencias económicas causadas por la introducción de nuevas especies (Odom et al., 2000). Esta carencia es especialmente importante en el caso de especies invasoras en el medio agrícola (Radosevich et al., 2007). En todo caso, hay más estudios en el ámbito del medio natural debido a las consecuencias negativas que puedan tener en el ámbito de la biodiversidad de los ecosistemas naturales y seminaturales (Saad Alvarado, 2016). En el caso de *S. angulatus*, al tratarse de una especie que presentaba unos pocos focos concentrados en una zona poco extensa, se vieron posibilidades de erradicarla a un coste asumible. Coste, que si se compara con el de no actuar, resulta mínimo si se tiene en cuenta por ejemplo el caso de *A. theophrasti* también en maíz en la misma zona (Recasens et al., 2008). El criterio utilizado fue la compensación de las pérdidas provocadas por las

medidas llevadas a cabo, ya fuera destrucción de cultivo o rotación con cultivos distintos al maíz. De este modo teniendo en cuenta el análisis de costes de los diferentes cultivos que se permitían para cada campaña (cereal de invierno, alfalfa, barbecho), se compensaba al agricultor la diferencia de ingresos respecto al maíz, cultivo habitual en la zona. Debido tanto a las variaciones del precio del grano como de los insumos, la cantidad a indemnizar variaba cada campaña. A partir del año 2011 se dejó de indemnizar a los agricultores, ya que a pesar de las medidas adoptadas, la elevada longevidad del banco de semillas de *S. angulatus* y *A. theophrasti* ha dificultado enormemente la campaña de contención y erradicación de la mala hierba.

En el caso de *Leptochloa* y *Leersia*, la invasión se produjo en arroz cultivado por inundación en una zona de monocultivo obligado por las condiciones del terreno en el Delta del Ebro. Para alcanzar los objetivos de control se aprobó la Orden ARP / 342/2006, de 30 de junio, por la que se declaraba la existencia oficial en Cataluña de las malas hierbas *Leptochloa* spp., *Leersia oryzoides* y *Sagittaria* spp., y se establecieron medidas obligatorias de lucha para obtener los objetivos propuestos. La aplicación de estas medidas supuso para el agricultor afectado los siguientes costes que se indemnizaron: 1. enterrado de las malas hierbas antes de su floración y posterior limpieza en campo de la maquinaria utilizada para tal propósito (esta operación se puede llegar a realizar hasta 3 veces durante el ciclo de cultivo) y 2. eliminación de las malas hierbas una vez sembrado el cultivo. Se indemnizó la operación y la posible destrucción del cultivo. A su vez se prohibió la siembra de arroz la campaña siguiente, lo que también se indemnizó.

Junto con indemnizaciones para estimular la erradicación de una mala hierba invasora también puede preverse la aplicación de sanciones para aquel agricultor afectado que no quiera aplicar ninguna medida de control. El

régimen sancionador aplicable a los incumplimientos de lo establecido en este Decreto es el previsto en la Ley estatal 43/2002, de 20 de noviembre, de sanidad vegetal (BOE, 2002) o la legislación catalana en esta materia.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dra. Alicia Cirujeda, al Dr. Gabriel Pardo y a los revisores anónimos sus comentarios sobre el artículo.

Referencias bibliográficas

- Aliaga C, Carrera A, Nicolier S (2018). Connaître et combattre le sicyos dans le maïs. Publicación Arvalis. 6 pp. Disponible en: <https://www.arvalis-infos.fr/conna-tre-et-combattre-le-sicyos-dans-le-ma-s-@/view-26700-arvarticle.html> (Consultado: 02 mayo 2019).
- Andersson MS, de Vicente MC (2010). Gene flow between crops and their wild relatives. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA. 564 pp.
- Arvalis (2013). Téosinte: une adventice qui demande une vigilance toute particulière. 13/14 Service Communication Marketing Arvalis (Institut du vegetal).
- Australian Government (2017). Australian weeds strategy 2017 to 2027. Invasive Plants and Animals Committee 2016, Australian Government Department of Agriculture and Water Resources, Canberra, Australia.
- Baker HG (1986). Patterns of plants invasions in North America. En: Ecology of biological invasions in North America and Hawaii (Eds. Mooney HA, Drake JA), pp. 44-57. Ecological Studies 58, Springer, Berlín, Alemania. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4988-7_3
- BOE (2002). Ley 43/2002, de 20 de Noviembre de sanidad vegetal. Boletín Oficial del Estado núm. 279, de 21 noviembre de 2002, pp. 40970-40988.
- Davies KW, Sheley RL (2007). A conceptual framework for preventing the spatial dispersal of invasive plants. *Weed Science* 55(2): 178-184. <https://doi.org/10.1614/WS-06-161>
- Del Monte JP, Zaragoza C (2004). La introducción de especies vegetales y la valoración del riesgo de que se conviertan en malas hierbas. *Boletín de Sanidad Vegetal y Plagas* 30: 65-76.
- Devos Y, Ortiz-García S, Hokanson KE, Raybould A (2018). Teosinte and maize × teosinte hybrid plants in Europe-Environmental risk assessment and management implications for genetically modified maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 259: 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.02.032>
- Díaz A, Taberner A, Vilaplana L (2019). Molecular passport of a new *Zea* weed emerged in European maize fields. 4th International *Brachypodium* conference, 25-28 junio 2019, Huesca, España, pp. 64.
- Díaz A, Taberner A, Vilaplana L (2020). The emergence of a new weed in maize plantations: characterization and genetic structure using microsatellite markers. *Genetic Resources and Crop Evolution* 67: 225-239 <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00828-z>
- DOGC (2005). Ordre ARP/10/2005 de 18 de gener, per la qual es declara l'existència oficial de la mala herba *Sicyos angulatus* L., i s'estableixen mesures obligatòries de lluita. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya núm. 4315, de 03 de febrer 2005, p. 2088.
- DOGC (2006a). Ordre ARP/342/2006 de 30 de juny, per la qual es declara l'existència oficial a Catalunya de les males herbes *Leptochloa* sp., *Lersia oryzoides* i *Sagittaria* sp., i s'estableixen mesures obligatòries de lluita. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya núm. 4671, de 07 de juliol de 2006, p. 30422.
- DOGC (2006b). Ordre ARP/339/2006 de 30 juny, per la qual es declara l'existència oficial de la mala herba *Solanum carolinense* i s'estableixen mesures obligatòries de lluita. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya núm. 4671, de 7 juliol de 2006, p. 30421.

- DOGCA (2009). Orden ARP/172/2019, de 10 de septiembre, por la que se declara la existencia de la mala hierba *Amaranthus palmeri* y se califica de utilidad pública la lucha contra esta. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya núm. 7959, de 13 de septiembre de 2019.
- DOUE (2006). Reglamento (CE) n° 319/2006 del Consejo, de 20 de febrero de 2006, que modifica el Reglamento (CE) n° 1782/2003, por el que se establecen disposiciones comunes aplicables a los regímenes de ayuda directa en el marco de la política agrícola común y se instauran determinados regímenes de ayuda a los agricultores. Diario oficial de la Unión Europea núm 58, de 28 de febrero de 2006, pp. 32-41.
- Fàbregas F, Vilar L, Font J (1996). *Sicyos angulatus* L. al Gironès. Butlletí Institució Catalana d'Història Natural 64: 75.
- EPPO (2018). Invasive alien plants – EPPO Lists and documentation. Disponible en: https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/alert_list (Consultado: 15 octubre 2019).
- Fuertes S, Pardo G, Cirujeda A, Taberner A (2015). Teosinte (*Zea mays* subsp.), una nueva mala hierba del maíz: situación actual y medidas de erradicación. Phytoma España 266: 24-28.
- Groves RH (1986). Plant invasions of Australia: an overview. En: Ecology of Biological Invasions (Eds. Groves RH, Burdon JJ), pp. 137-149. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Heywood VH (1989). Patterns, extents and modes of invasions by terrestrial plants. En: Biological invasions: a global perspective (Ed. Drake JA, Mooney H, di Castri F, Groves RH, Kruger FJ, RFejmánek M, Williamson M), pp. 31-60. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU) by Wiley, Chichester, New York.
- Heywood VH, Brunel S (2008). Code of conduct on horticulture and invasive alien plants – second draft. Convention on the conservation the European Wildlife and Natural Habitats, 24-27 de noviembre, Strasbourg, Francia, pp. 34.
- Ikley J, Jenks B (2019). Biology and Control of Palmer Amaranth and Waterhemp in North Dakota. Disponible en www.ag.ndsu.edu/extension (Consultado: 15 octubre 2019).
- KDA (2019). The Kansas noxious weed law. Disponible en: <https://www.douglascountysks.org/depts/public-works/kansas-noxious-weed-law> (Consultada el 15 octubre 2019).
- Lamban J (1995). Molienda en fábricas de piensos. Equipos empleados y aspectos técnicos. Mundo Ganadero 11: 63-70.
- Larché JF (2004). *Sicyos angulatus*, nouvelle adventice du maïs dans les Sud-Ouest de la France. Phytoma, La Defense des Végétaux 571: 19-22.
- Llenes JM, Martínez M, Gisbert D, Matamoros E, Roque A, Taberner A (2006). Primera prospección de *Heteranthera* en el Delta del Ebro. Phytoma España 178: 52-56.
- Maillet J, Zaragoza C (2003). Some Considerations about weed risk assesment in France and Spain. FAO Expert Consultation on Weed Risk Assessment. Workshop, 11-13 June 2002, Madrid, España, pp. 21-32.
- Martínez Y, Cirujeda A, Gómez M I, Marí A I, Pardo G (2018). Bioeconomic model for optimal control of the invasive weed *Zea mays* subsp. (teosinte) in Spain. Agricultural Systems 165: 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.015>
- Messersmith DT, Curran WS, Hartwing NL, Orzolek MD, Roth GW (1999). Evaluation of several herbicides for burcucumber (*Sicyos angulatus*) control in corn (*Zea mays*). Weed Technology 13(3): 520-524. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00046133>
- Montull JM, Pardo G, Aibar J, Llenes JM, Marí AI, Taberner A, Cirujeda A (2020). Aspectos de la dispersión y viabilidad de las semillas de teosinte (*Zea mays* ssp.) en el Valle del Ebro. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(3): 227-240. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.010>
- Odom D, Griffith GR, Sinden JA (2000). Economic issues relating to weed management in natural ecosystems: the case of scotch broom on Barrington tops, NSW. 44th Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, 23-25 enero, Sydney, Australia, pp.1-24. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.123712>
- Osca JM (2013). Expansion of *Leptochloa fusca* ssp. *uninervia* and *Leptochloa fusca* ssp. *fasci-*

- ularis* in rice fields in Valencia, eastern Spain. *Weed Research* 53: 479-488. <https://doi.org/10.1111/wre.12046>
- Panetta FD (2015). Weed eradication feasibility: lessons of the 21st century. *Weed Research* 55: 226-238. <https://doi.org/10.1111/wre.12136>
- Perrings C (2001). The economics of biological invasions. *Land Use and Water Resources Research* 1(3): 1-9. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.47851>
- Pheloung PC, Williams PA, Halloy SR (1999). A weed risk assessment model for use as a biosecurity tool evaluating plant introductions. *Journal of Environmental Management* 57: 239-251. <https://doi.org/10.1006/jema.1999.0297>
- Pluess T, Cannon R, Jarošik V, Pergl J, Pyšek P, Bacher S (2012a). When are eradication campaigns successful? A test of common assumptions. *Biological Invasions* 14: 1365-1378. <https://doi.org/10.1007/s10530-011-0160-2>
- Pluess T, Jarosik V, Pysek P, Cannon R, Pergl J, Bacher S (2012b). Which factors affect the success or failure of eradication campaigns against alien species? *PLOS ONE* 7(10): e48157. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048157>
- Qu X, Baskin JM, Baskin CC (2010). Whole-seed development in *Sicyos angulatus* (Cucurbitaceae, Sicyeae) and a comparison with the development of water-impermeable seeds in five other families. *Plant Species Biology* 25: 185-192. <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2010.00283.x>
- Radosevich SR, Holt JS, Ghersa CM (2007). *Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management*, 3rd ed. Rev. ed. of: *Weed ecology* / Steven Radosevich, Jodie Holt, Claudio Ghersa. 1997. 475 pp.
- Recasens J, Conesa JA (2003). Atributs biològics de la flora arvensis al-lòctona de Catalunya. *Acta Botanica Barcinonensia* 48: 45-56.
- Recasens J, Calvet V, Cirujeda A, Conesa JA (2005). Phenological and demographic behaviour of an exotic invasive weed in agroecosystems. *Biological Invasions* 7: 17-27. <https://doi.org/10.1007/s10530-004-9625-x>
- Recasens J, Conesa JA, Millán J, Taberner A (2007). Estimación del impacto económico de una mala hierba exótica invasora en un cultivo. El ejemplo de *Sicyos angulatus* y *Abutilon theophrasti* en Cataluña. XI Congreso Sociedad Española de Malherbología, 7 y 8 noviembre, Albacete, España, pp. 343-348.
- Recasens J, Conesa JA, Millán J, Taberner A, Sans M (2008). Estimating the economic benefits of an early eradication of an invasive weed in agroecosystems. The Example of *Sicyos Angulatus* in Catalonia (Spain). EWRS 2nd International Symposium Intractable Weeds and Plant Invaders. 14-18 septiembre, Osijek, Croacia, p. 46.
- Recasens J, Conesa JA (2011). Presencia de la mala hierba *Amaranthus palmeri* en el NE de la Península Ibérica. Una amenaza como potencial invasora de cultivos extensivos de regadío. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 37: 129-132.
- Regan TJ, Mccarthy MA, Baxter PWJ, Panetta FD, Possingham HP (2006). Optimal eradication: when to stop looking for an invasive plant. *Ecology Letters* 9: 759-766. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00920.x>
- Richardson DM, Pyšek P, Rejmánek M, Barbour MG, Panetta FD, West CJ (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distribution* 6: 93-107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>
- Rout TM, Salomon Y, Mccarthy MA (2009). Using sighting records to declare eradication of an invasive species. *Journal of Applied Ecology* 46: 110-117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01586.x>
- Romano Y, Mendoza F, Palmerín JA, Quiles JM, Amaro I, Osuna MD (2018). Use of molecular markers for the characterization of rice crop weeds in Extremadura. XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 25-27 octubre, Pamplona-Iruña, España, pp. 337-341.
- Saad Alvarado L (2016). Estudio sobre la viabilidad del desarrollo e implementación de instrumentos económicos para reducir el riesgo de introducciones intencionales de EEI que amenazan la biodiversidad. Informe final al Global Environment Facility (GEF) en el marco del Proyecto 00089333 Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas In-

- vasoras (EEl) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEL, PNUD-CONABIO-SEMARNAT, México.
- Schonbeck M (2014). Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) <https://eorganic.org/node/5122> Organic Agriculture. 4 pp. Consultado 15.10.2019.
- Smeda RJ, Weller SC (2001). Biology and control of burcucumber. *Weed Science* 49: 99-105. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0099:BA-COB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0099:BA-COB]2.0.CO;2)
- Taberner A, Sans M (2005). Procedimiento de erradicación de *Sicyos angulatus* L. en maíz. En: Malherbología ibérica y magrebi: soluciones comunes a problemas comunes (Eds. Menéndez J, Bastida F, Fernández-Quintanilla C, González-Andújar JL, Recasens J, Royuela M, Verdú AC, Zaragoza C), pp. 569-574. Universidad de Huelva, España.
- Taberner A, Cónsola S (2011). Actuaciones realizadas para controlar *leptochloa* spp. en los arrozales del delta del Ebro (2006-2010). XIII Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, 22-24 de noviembre, La Laguna, Tenerife, España, pp. 95-98.
- Trtikova M, Lohn A, Binimelis R, Chapela I, Oehen B, Zemp N, Widmer A, Hilbeck A (2017). Teosinte in Europe – searching for the origin of a novel weed. *Scientific Reports* 7(1): 1-7. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-01478-w>
- Tuesca D, Papa JC, Morichetti S (2016). *Amaranthus palmeri* (S.) Watson Bases para su manejo y control en sistemas de producción. REM AA-PRESID, Santa Fe, Argentina, 32 pp.
- US Grains Council (2019). *Sorghum*. Disponible en: <https://grains.org/buying-selling/sorghum/> (Consultado 21 noviembre 2019).
- Verloove F, Sánchez Gullón E (2008). New records of interesting xenophytes in the Iberian Peninsula. *Acta Botanica Malacitana* 33: 147-167.
- Ward SM, Webster TM, Steckel LE (2013). Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*): A Review. *Weed Tech* 27: 12-27. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00113.1>
- Webster TM, Scully BT, Grey TL, Culpepper AS (2013). Winter cover crops influence *Amaranthus palmeri* establishment. *Crop protection* 52: 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.05.015>
- Williams PA, Panetta FD (2003). Clave para la estimación del riesgo de la introducción de una mala hierba. FAO Expert Consultation on Weed Risk Assessment. Report 71-112 (Ed. Ricardo Labrada) FAO. Roma.
- Williamson MH, Fitter A (1996). The characters of successful invaders. *Biological Conservation* 78: 163-170. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(96\)00025-0](https://doi.org/10.1016/0006-3207(96)00025-0)

(Aceptado para publicación el 5 de junio de 2020)