

PalmerNet, nueva red para el estudio en España de la problemática de *Amaranthus palmeri*

Puede considerarse ya una especie exótica invasora en el sur de Europa

Una de las principales acciones para frenar la expansión de esta especie es dar a conocer y difundir el problema. En este sentido, los autores de este artículo forman parte de la Red de Investigación PalmerNet, financiada por la Agencia Estatal de Investigación, que integra siete grupos de investigación nacionales, todos aquellos que trabajan con *A. palmeri* y/o resistencias a herbicidas, y otros que pueden aportar nuevas herramientas para su control. El principal objetivo de PalmerNet es coordinar actividades de investigación y comunicación de la problemática planteada por *A. palmeri* en nuestro país. En caso de detección o sospecha de presencia de esta especie, por favor notifíquelo lo antes posible en los Centros de Sanidad Vegetal correspondientes.

Atendiendo a la terminología utilizada en ecología y en especial en los procesos de invasión, *Amaranthus palmeri* S. Watson constituye un claro ejemplo de cambio de paradigma acorde con su comportamiento como especie exótica. Los registros de la presencia de esta especie en España habidos en el siglo XX e incluso hasta hace pocas décadas, permitían calificarla como “adventicia”, es decir, una especie no nativa que se encuentra en una zona restringida y que tiende a desaparecer en poco tiempo. De hecho, los registros habidos en Manlleu (Barcelona) en

Joel Torra^{1,2}, Alfredo Manicardi¹, José María Montull¹, Josep María Llenes¹, Gabriel Pardo¹, Ana Isabel Marí², Alicia Cirujeda¹, María Dolores Osuna¹, Iñigo Loureiro¹, Nuria Pedrol¹, Jordi Recasens¹.

¹ Miembros de la Red de Investigación PalmerNET.
² Coordinador de PalmerNET.

Después de confirmar que esta especie había empezado a invadir campos de maíz de Cataluña y Aragón en el año 2018, se ha detectado en diversas localidades de Extremadura, así como de forma esporádica en la Comunidad Valenciana. Actualmente no solo está en expansión en España sino también en otros países de Europa. Los últimos estudios parecen indicar que *Amaranthus palmeri* ha llegado recurrentemente al territorio español, y que además lo hace habitualmente con resistencias a herbicidas.



Cultivo de girasol infestado por *A. palmeri* en Extremadura.

1925 y en Sevilla en 1979, hicieron pensar a Carretero (1990) –cuando su revisión del género *Amaranthus* para Flora Ibérica– que la especie no sería capaz de naturalizarse. Prueba de ello fue su exclusión de las claves de esa flora, restringiéndola a un pequeño apunte introductorio.

Posteriores registros de esta especie en el puerto de Sevilla (Pastor, 1987) y en Palos de la Frontera (Huelva) (Sánchez-Gullón y Verloove, 2009), donde no ha sido vista de nuevo hasta la fecha, vendrían a confirmar esa percepción como planta adventicia. Sin embargo, la detección en 2007 de diferentes pies en tres localidades cercanas a Lleida (Menàrguens, Binéfar –Huesca– y en la ciudad de Lleida) (Verloove y Sánchez Gullón, 2008) fue el inicio de un comportamiento claramente diferente. En los tres casos la especie mostró capacidad de naturalizarse, estar presente varios años, e incluso expandirse hacia campos próximos (Recasens y Conesa, 2011). Esos tres primeros registros fueron motivo de estudio y permitieron dar a conocer no solo su presencia como planta invasora en España, sino también detectar los primeros biotipos que habían llegado con genes de resistencia a herbicidas inhibidores de la acetolactato sintasa (ALS) (Torra *et al.*, 2020).

Invasión y dispersión en Europa

Amaranthus palmeri puede ser ya considerada una especie exótica invasora que se puede encontrar ocasionalmente por toda Europa, aunque es en la región mediterránea donde se está observando este comportamiento de expansión (EPPO, www.eppo.org). Se considera naturalizada en el sur de Europa y región mediterránea, en concreto en España, Italia, Grecia, Chipre, Israel y Turquía, y ocasionalmente en Túnez y Egipto (**figura 1**). En muchos países, estas poblaciones albergan biotipos resistentes a herbicidas (Torra *et al.*, 2020; Milani *et al.*, 2021;



Planta masculina de *Amaranthus palmeri* en un campo de alfalfa en Cataluña.

Matzrafi *et al.*, 2023). Todo parece indicar que las semillas son introducidas vía granos y/o semillas de cultivos, o harina y piensos para alimentación animal de maíz, soja o algodón, ya que las primeras poblaciones se han encontrado cerca de fábricas de piensos y en cunetas de carreteras próximas.

En un reciente estudio de genética de poblaciones basado en el gen *als* comparando poblaciones españolas con italianas para discernir si tienen un origen común (Manicardi *et al.*, 2023a) se ha concluido que en ambos países las poblaciones son en mayor o menor grado resistentes a los inhibidores de la ALS por diversas mutaciones en el gen diana. Pero además y lo más destacable, se ha comprobado que las poblaciones italianas y españolas no comparten origen genético y que, por tanto, fueron introducidas de forma independiente, con historias evolutivas diferentes. Parece claro que las poblaciones españolas llegaron ya con la resistencia a herbicidas, mientras que en las italianas la resistencia había sido seleccionada *in situ*, una vez introducidas en cultivos de verano.

Invasión y dispersión en España

Cataluña

En Cataluña, concretamente en la provincia de Lleida, es donde se detectó y estableció por primera vez la especie en nuestro país. En la actualidad se pueden identificar tres focos bien diferenciados en esta comunidad, uno ubicado en la provincia de Lleida afectando a las localidades de Almenar, Almacelles, Albesa, Alguaire, Benavent de Segrià, Castelló de Farfanya, Golmés, Vilanova de Segrià, Torrefarrera, Torre-serona, La Portella, Menàrguens y Lleida. Afecta sobre todo a campos de maíz, y en menor medida de girasol, rastrojos de cereal, yermos, alfalfa, hortalizas y frutales. Se constata un aumento progresivo y dificultad para frenar la especie.

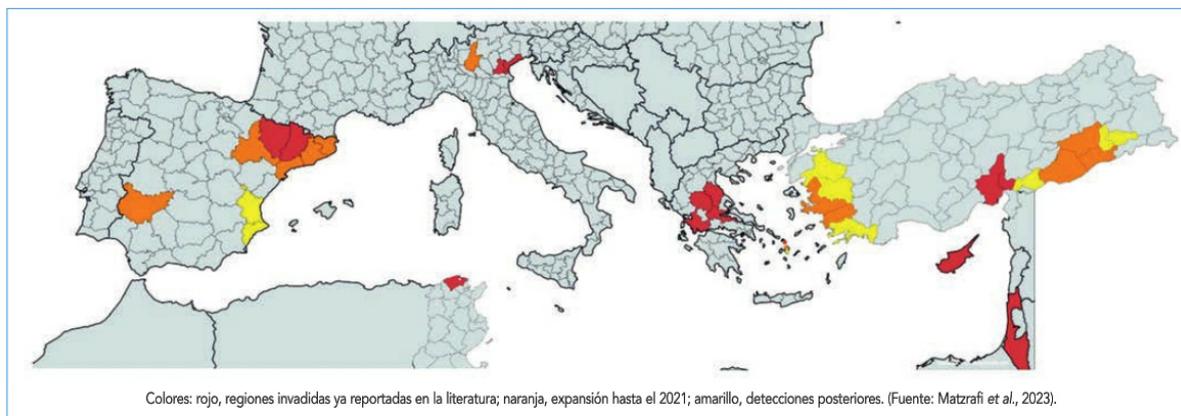
En la actualidad se detecta una expansión hacia otras zonas productoras de maíz de la provincia, como son los regadíos del Algerri-Balaguer y los del Urgell. El segundo foco se ha detectado en la provincia de Tarragona en los municipios de Aldover, Tortosa, Vinallop y Ulldesona, afectando principalmente rastrojos de cereal, yermos, olivar, cítricos y hortalizas. Un tercer foco está en la provincia de Tarragona en los alrededores del Puerto, afectando márgenes de carreteras y autopistas. Además, la especie se observa con frecuencia en cunetas de diferentes redes viarias, sobre todo las que unen Tarragona con la provincia de Lleida y las que hay alrededor de esta última. Finalmente, se han detectado plantas en otras zonas como Banyoles, en la provincia de Girona, que gracias a una rápida detección y una rápida actuación se han erradicado, aunque se mantienen en su seguimiento.

Aragón

El primer foco en Aragón se encontró en la cuneta de una carretera, frente a una fábrica de pienso en Binéfar (Huesca). Se realizó el seguimiento de éste hasta que en 2019 un técnico avisó sobre la presen-

ESPECIAL MALAS HIERBAS

FIG. 1 Mapa del sur de Europa y países mediterráneos con presencia de *Amaranthus palmeri*.



cia de *A. palmeri* en un campo de maíz de Altorricón, localidad cercana a Binéfar (Huesca). Tras inspeccionar la zona se constató que, debido a la alta infestación en la parcela, era inviable su erradicación, por lo que se adoptaron medidas de contención. En años posteriores, se amplió la zona de inspección para tratar de localizar posibles focos de manera precoz, con infestaciones incipientes, más fácilmente erradicables, para evitar la dispersión en la zona y en localidades próximas.

Actualmente la principal zona afectada por esta especie es la Comarca de la Litera (Huesca), en los municipios de Altorricón, Tamarite de Litera y Albelda. A medida que nos alejamos de esta zona, el número de campos afectados disminuye (Vencillón, Binaced o Esplús) hasta llegar a las zonas periféricas con focos muy localizados y poblaciones muy reducidas (pueblos de Zaragoza como Bujaraloz o Caspe). Se encuentra en los mismos cultivos y zonas baldías que en Cataluña, sobre todo en maíz. Afortunadamente, los nuevos focos, salvo alguna excepción, son pequeños, están en bordes de carreteras, y se están erradicando. Las notificaciones a los agricultores afectados, la divulgación de información, así como el asesoramiento en el control son primordiales.

Extremadura

En Extremadura se detectó esta especie por primera vez en el año 2019, en un campo de maíz en la zona de Torrefresneda (Badajoz). Estas plantas habían escapado a los tratamientos herbicidas utilizados, principalmente inhibidores de la ALS. En 2020 surgió un foco, también en maíz, aproximadamente a 10 kilómetros del foco inicial (zona de San Pedro de Mérida).

En 2022, en la zona donde se había detectado en años previos, no se realizaron siembras de maíz a causa de las restricciones de agua de riego, produciéndose un fuerte incremento de las siembras de girasol, encontrándose plantas de *A. palmeri* en diversas parcelas de este cultivo.

En 2023 se han localizado individuos, además de en parcelas destinadas al cultivo de maíz y girasol, en el cultivo de tomate de industria. Estudios realizados han mostrado resistencia de sitio de acción (mutaciones en el gen *als*) en varias poblaciones (Osuna et al., 2022). Desde su detección se realiza un seguimiento continuo por parte del Servicio de Sanidad Vegetal de la Junta de Extremadura, así como publicaciones periódicas en el Boletín Fitosanitario con actualizaciones y recomendaciones.

Origen de la dispersión

La expansión de *A. palmeri* en nuestro país probablemente esté ocurriendo tanto por dispersión local como a larga distancia, pero también debido a las continuas llegadas de fuera de Europa; se supone que provienen principalmente del continente americano. Por ejemplo, se ha detectado en la provincia de Badajoz (Torra et al., 2022; Osuna et al., 2022) a 645 km del área más cercana invadida (figura 2). En el mencionado estudio de genética de poblaciones se ha detectado la existencia de parentesco entre las poblaciones extremeñas y las del Valle del Ebro, que no ha sido detectado entre poblaciones mucho más cercanas entre ellas (Manicardi et al., 2023a).

En general, todas las poblaciones presentaban una alta variabilidad genética, una de las características claves en el éxito adaptativo e invasor de esta especie. Los resultados indican que esta especie ha sido introducida recurrentemente en nuestro país y que, probablemente, las sucesivas introducciones han aportado mayor variabilidad genética.

Por otro lado, el hecho de que las dos áreas infestadas, Extremadura y Valle del Ebro, compartan parentesco indicaría que posiblemente *A. palmeri* llegó a Badajoz

desde el noreste peninsular, probablemente vía semillas, de un modo aún desconocido. El principal método de dispersión es a través de la maquinaria agrícola, ya que las cosechadoras mueven mucha cantidad de semilla entre parcelas y localidades.

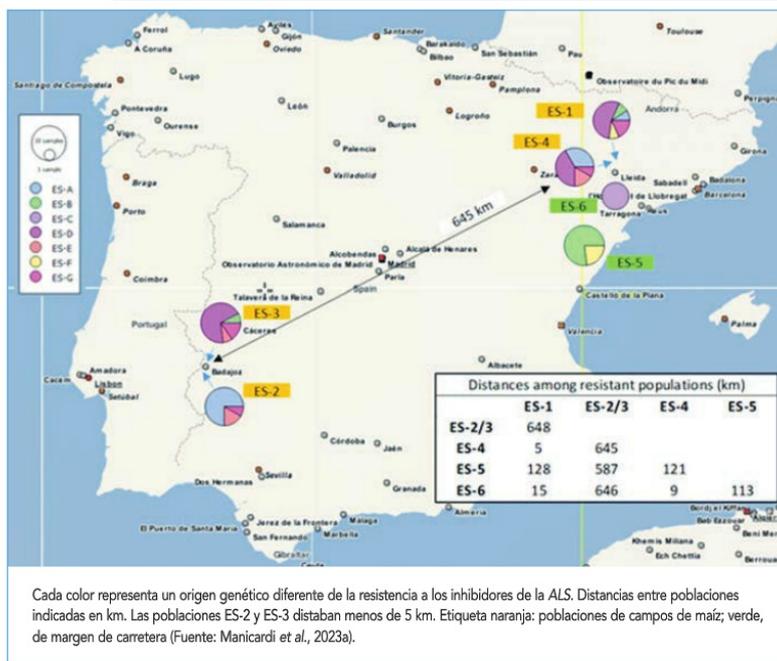
Nuevos casos de resistencias a herbicidas en España

Estudios previos confirmaron que la mayoría de las poblaciones españolas albergaban, con mayor o menor frecuencia, plantas que eran resistentes a los herbicidas inhibidores de la ALS (Torra *et al.*, 2020; Manicardi *et al.*, 2023a). Lamentablemente, estudios recientes acaban de confirmar también la presencia de poblaciones de margen de carretera que albergan individuos resistentes al glifosato (Manicardi *et al.*, 2023b; Pardo, com. pers.).

La **figura 3** muestra que, mientras las plantas de dos poblaciones usadas como referencia sensible mueren a la dosis de 135 g/ha de glifosato (**figuras 3a y 3b**), las descendientes de una población de margen de carretera recogida cerca del puerto de Tarragona sobreviven a dosis de 540 y 1.080 g/ha (3 l/ha de glifosato al 36%) (**figuras 3c y 3d**, respectivamente). Los resultados del estudio muestran, además, que la resistencia es heredable. Se están llevando a cabo más estudios para confirmar la resistencia a glifosato en más poblaciones, así como la resistencia múltiple tanto a este herbicida como a los inhibidores de la ALS.

Ante este escenario, se complica mucho el manejo químico de la especie sobre todo en postemergencia. Es de prever que se usarán más los herbicidas con acción residual o las pocas opciones disponibles en postemergencia, como alguna auxina sintética (dicamba), por lo que aumentará la posibilidad de desarrollar resistencias a esas materias activas. Lamentablemente ya se conocen casos de resistencias a estos otros mecanismos

FIG. 2 Mapa georreferenciado de poblaciones españolas de *Amaranthus palmeri* en un estudio de genética de poblaciones.



de acción en América (Montull y Torra, 2023); a algunos de ellos pertenecen las pocas materias activas que tienen un control aceptable de *A. palmeri* en las zonas afectadas, como la mesotriona.

Dispersión de la resistencia a herbicidas vía polen

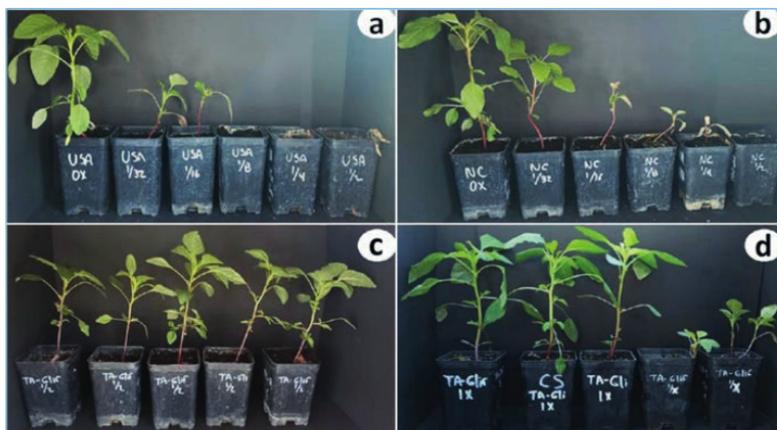
Amaranthus palmeri es una especie dioica, es decir, que existen plantas masculinas y femeninas, por lo que la polinización de esta especie ocurre de forma obligatoria entre individuos diferentes (polinización alógama). Además, como el vector de dispersión de polen es el viento, existe la preocupación de que las mutaciones que confieren resistencia a herbicidas puedan transferirse de las poblaciones resistentes a otras sensibles a través de los granos de polen, que son muy pequeños y capaces de desplazarse a largas distancias.

Un estudio de flujo de genes de resistencia vía polen realizado en Estados Unidos, mostró que el 30% de la progenie de plantas susceptibles a 200 m de la fuente de polen resistente era ya resistente al glifosato (Sosnoskie *et al.*, 2012). Por último y no menos importante, se ha comprobado en condiciones controladas que *A. palmeri* es capaz de hibridar con otras especies del género *Amaranthus* como receptoras del polen. A pesar de que estas tasas de hibridación son bajas (0,01 - 0,40%), permiten la transferencia de la resistencia de herbicidas en condiciones de campo, tal y como se ha demostrado en Estados Unidos para *A. spinosus* resistente a glifosato por hibridación con *A. palmeri* (Nandula *et al.*, 2014).

Sería importante investigar la hibridación entre *A. palmeri* y aquellas especies del género que coexistan con esta especie en España.

ESPECIAL MALAS HIERBAS

FIG. 3 Respuesta al glifosato de poblaciones sensibles americanas y una población de Tarragona de *Amaranthus palmeri*.



Ensayos entre dos poblaciones sensibles americanas (a, b) a diversas dosis (0x, 1/32x a 1/2x); y de los descendientes de una población recolectada en Tarragona a dos dosis, 1/2x (c) y 1x (d). 1x = 1.080 g/ha, 3 l/ha de glifosato al 36%. (Fuente: propia).

Estrategias a seguir

Con toda esta información queda claro que son imperativos los esfuerzos y programas de erradicación en infestaciones incipientes y, cuando no fuese posible, las estrategias de contención que están llevando a cabo los Servicios de Sanidad Vegetal de cada comunidad autónoma afectada. Además, desde el punto de vista del control químico, es obligado alternar herbicidas con diferentes mecanismos de acción tanto en pre como en postemergencia. Además, es también de suma importancia evitar la producción de semillas de las plantas que sobrevivan.

Por otro lado, el uso de programas de gestión integrada de malas hierbas, que consideren tanto estrategias químicas como no químicas, son la mejor opción, ya que el control químico es difícil en esta especie (Montull y Torra, 2023). Se considera imprescindible incluir laboreo, retrasos de siembra, control mecánico entre las líneas del cultivo, y practicar la rotación de cultivos.

En casos de infestaciones severas incluso se debería considerar realizar un

barbecho estival para poder estimular la nascencia de *A. palmeri* y eliminar las plantas emergidas durante ese período. Hasta la fecha se desconoce la susceptibilidad de esta especie a cultivos y abonos verdes alelopáticos, así como a nuevos herbicidas basados en biomasa alelopática (Pedrol *et al.*, 2020, patente ES 2719451 B2), aspectos que serán también abordados dentro de la red PalmerNet.

Ante la aparición de poblaciones de *A. palmeri* resistentes a herbicidas, la posibilidad de dispersión intra e interespecífica de los genes de resistencia pone de manifiesto la necesidad de realizar un manejo cooperativo de la resistencia en una determinada región, más allá de la escala de parcela individual. Así, si un agricultor realiza una adecuada gestión de su parcela, utilizando mezclas de herbicidas, rotando los herbicidas o el uso de tácticas no químicas para el control de las malas hierbas, y en cambio su vecino cercano no lo hace, va a verse igualmente sometido a los efectos del flujo de genes de resistencia. La cooperación es sin duda la herramienta fundamental para frenar la invasión de *A. palmeri* en nuestro país. ■

AGRADECIMIENTOS

Parte de la información presentada en el presente artículo forma parte de un proyecto de investigación financiado por el Plan Nacional I+D+i (PID2020-113229RB-C42), del proyecto Cooperación entre entidades del sector agroalimentario en Aragón para el control integrado de la mala hierba invasora *Amaranthus palmeri* (Coopalmeri) (2021-23), del proyecto MIPLEX cofinanciado por el Programa Operativo de FEDER de Extremadura y de la Red de Investigación PalmerNET (RED2022-134285-T). El Dr. Joel Torra agradece la financiación por parte del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (contrato Ramón y Cajal RYC2018-023866-I) y Alfredo Manicardi al programa de investigación e innovación H2020 de la Unión Europea bajo la subvención Marie Skłodowska-Curie (801586).

BIBLIOGRAFÍA

Carretero JL (1990). *Amaranthus*. En: Castroviejo S. *et al.* (eds) Flora Iberica vol II: Platanaceae-Plumbaginaceae (partim). Ed. Real Jardín Botánico, CSIC. Madrid: 559-569.

Manicardi A, Scarabel L, Lienes JM, Montull JM, Osuna MD, Torra J, Milani A (2023a). Genetic basis and origin of resistance to acetolactate synthase inhibitors in *Amaranthus palmeri* from Spain and Italy. *Pest Manag Sci*.

Manicardi A, Milani A, Scarabel L, Mora G, Recasens J, Lienes JM, Montull JM, Torra J (2023b). First report of glyphosate resistance in an *Amaranthus palmeri* population from Europe. *Weed Res*.

Mazrafi M, Scarabel L, Milani A, Iamonicio D, Torra J *et al.* (2023). *Amaranthus palmeri* S. Watson, a new threat to agriculture in Europe and the Mediterranean region. *Weed Res*.

Milani A, Panozzo S, Farinati S, Iamonicio D, Sattin M, Loddó D, Scarabel L (2021). Recent Discovery of *Amaranthus palmeri* S. Watson in Italy: Characterization of ALS-Resistant Populations and Sensitivity to Alternative Herbicides. *Sustainability* 13, 7003.

Montull JM, Torra J (2023). Herbicide Resistance Is Increasing in Spain: Concomitant Management and Prevention. *Plants* 12, 469.

Nandula *et al.* 2014: Nandula, V.K., Wright, A.A., Bond, J.A., Ray, J.D., Eubank, T.W. and Molin, W.T. (2014). EPSPS amplification in glyphosate-resistant spiny amaranth (*Amaranthus spinosus*): a case of gene transfer via interspecific hybridization from glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Pest. Manag. Sci.*, 70: 1902-1909.

Osuna MD, García-García B, Núñez R, Pavón G, Palmerín JA (2022) *Amaranthus palmeri*: actualización de la problemática en Extremadura. *Phytoma*, 344.

Pastor J (1987). *Amaranthus*. En: B. Valdés, S. Talavera & E. F. Galiano (eds.) Flora vascular de Andalucía Occidental 1. Ed. Ketres, Barcelona.

Pedrol N, Pardo-Muras M, Puig CG (2020). Patente ES 2719451 B2 Uso de biomasa como herbicida natural. <https://consultas2.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P201800006>

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.

Sánchez-Gullón E, Verloove F (2009). New records of interesting xenophytes in Spain. II. *Lagascalia* 29: 281-291.

Sosonokle *et al.* 2012: Sosonokle, L., Webster, T., Kichter, J., MacRae, A., Grey, T., & Culpepper, A. (2012). Pollen-Mediated Dispersal of Glyphosate-Resistance in Palmer Amaranth under Field Conditions. *Weed Science*, 60(3), 366-373.

Torra J, Montull JM, Calha IM, Osuna MD, Portugal J, de Prado R (2022). Current Status of Herbicide Resistance in the Iberian Peninsula: Future Trends and Challenges. *Agronomy* 12, 929.

Torra J, Royo-Esnal A, Romano Y, Osuna MD, Leñan R, Recasens J (2020). *Amaranthus palmeri* a new invasive weed in Spain with herbicide resistant biotypes. *Agronomy* 10, 993.

Verloove F, Sánchez-Gullón E (2008). New Records of interesting xenophytes in the Iberian Peninsula. *Acta Botanica Malacitana* 33: 147-167.