

Biomasa de especies alelopáticas agroforestales e invasoras como enmiendas del suelo para el control de malas hierbas. Una revisión

Biomass of agroforestry and invasive allelopathic species as soil amendments for weed control. A review

Antía Valiño¹, Carolina G. Puig¹, María Pardo-Muras¹, Eugenio López-Periago² & Nuria Pedrol^{1,*}

¹Departamento de Biología Vegetal e Ciencias do Solo, Universidade de Vigo, Vigo, España

²Instituto de Agroecología y Alimentación, Campus Auga, Universidade de Vigo, Ourense, España

(*E-mail: pedrol@uvigo.gal)

<https://doi.org/10.19084/rca.34846>

Recibido/received: 2024.01.15

Aceptado/accepted: 2024.02.28

RESUMEN

Bajo la estrategia de IWM en la era post-herbicida, la alelopatía puede jugar un papel relevante, ya que muchas plantas producen una variedad de aleloquímicos con diferentes estructuras y nuevos modos de acción, capaces de inhibir la germinación y el crecimiento de malas hierbas. Inspirándonos en la práctica del abonado en verde con cultivos de cobertura, el uso de biomasa alelopática procedente de especies arvenses, plantas invasoras, residuos de plantaciones forestales, y otras plantas silvestres abundantes tiene ventajas adicionales sobre los abonos verdes cultivados *in situ*, u otras alternativas como la aplicación de extractos o aceites esenciales. Además de los múltiples servicios ecosistémicos proporcionados por los abonos verdes, el uso de biomasa alelopática ofrece nuevas oportunidades para la investigación y la práctica de la gestión holística integrada de malas hierbas porque (i) aliviaría la inversión de recursos para producir cultivos de cobertura, y (ii) proporciona un nuevo uso de residuos agroforestales y un sumidero para la biomasa de invasoras. Hemos recopilado ejemplos de especies alelopáticas cuya biomasa utilizada como enmienda del suelo ha demostrado un control significativo de malas hierbas, revisando los complejos procesos alelopáticos que subyacen a la eficacia de los cultivos de cobertura y la biomasa alelopática utilizados como abonos verdes y enmiendas del suelo. Esta comunicación al XIX Congreso de la SEMh complementa una revisión publicada en la revista *Agronomy* con un resumen de las ventajas y posibles inconvenientes del seguimiento de esta estrategia basada en plantas, en la transición hacia sistemas holísticos de IWM.

Palabras clave: aleloquímicos, biomasa alelopática, abono verde, fitotoxicidad, sinergias.

ABSTRACT

Under the IWM strategy for the post-herbicide era, allelopathy may play a relevant role, as many plants produce a variety of allelochemicals with different structures and new modes of action capable of inhibiting weed germination and growth. Inspired by green manuring with cover crops, using allelopathic biomass from weed species, invasive plants, forest plantation residues, and other abundant wild plants has additional advantages over green manures grown *in situ* or other alternatives such as applying extracts or essential oils. In addition to the multiple ecosystem services provided by green manures, the use of allelopathic biomass offers new opportunities for research and practice of holistic, integrated weed management because (i) it would alleviate the resource investment to produce cover crops and (ii) it provides a new use of agroforestry residues and a sink for biomass of invasives. We compiled examples of allelopathic species whose biomass used as a soil amendment has demonstrated significant weed control, revisiting the complex allelopathic processes underlying the efficacy of cover crops and allelopathic biomass used as green manures and amendments. This communication to the XIX SEMh Congress complements a review published in the journal *Agronomy* with a summary of the advantages and possible disadvantages of following this plant-based strategy in the transition to holistic IWM systems.

Keywords: allelochemicals, allelopathic biomass, green manure, phytotoxicity, synergies.

INTRODUCCIÓN

Esta comunicación al XIX Congreso de la SEMh complementa la revisión publicada en la revista *Agronomy*, con un resumen de las ventajas y posibles inconvenientes de la utilización de biomasa alelopática como estrategia basada en plantas—*plant-based approaches* (Young, 2020)—, en la transición hacia sistemas holísticos de manejo integrado de malas hierbas —*integrated weed management* (IWM).

Las malas hierbas limitan drásticamente la productividad de los suelos agrícolas, compitiendo con los cultivos por los recursos de los agroecosistemas. Los herbicidas desarrollados en el último siglo han aumentado notablemente el rendimiento de los cultivos, aunque su producción y aplicación suponen un importante gasto económico que el agricultor no siempre puede permitirse. Uno de los principales inconvenientes de los herbicidas sintéticos es su uso irracional y su aplicación incorrecta, que pueden causar graves daños al agroecosistema. El uso excesivo ha aumentado la contaminación de los suelos, aguas subterráneas y superficiales, contribuyendo al deterioro del medio ambiente y suponiendo un riesgo para la salud humana y animal, con lo que la transición ecológica requiere una reducción paulatina de estos insumos.

Aunque los cultivos de cobertura alelopáticos para *mulch* o abonado en verde son efectivos dentro de una estrategia de IWM, requieren tiempo y espacio en la hoja de cultivos dentro de la rotación, además de inversión en semillas e insumos. Pero la biomasa alelopática ya presente en el agroecosistema podría utilizarse para el mismo fin, sin necesidad de cultivarla. Esta biomasa proveniente de plantas silvestres, especies invasoras, malas hierbas y residuos forestales está disponible en las cercanías de las explotaciones agrícolas. Su uso como insumo proporcionaría un sumidero para residuos de plantaciones forestales cercanas así como de biomasa de plantas invasoras eliminadas en iniciativas de control.

A diferencia de los extractos acuosos o los aceites esenciales de plantas aromáticas ensayados como bioherbicidas, el uso de tejidos vegetales enteros proporciona la “envoltura natural” de los principios activos, sin necesidad de encapsulación,

estabilizadores o adyuvantes. El cóctel fitotóxico contenido en los tejidos vegetales se libera progresivamente en el suelo a muy bajas concentraciones y a las proporciones naturales de los distintos compuestos alelopáticos, alcanzando así la duración y la dinámica de control de malas hierbas que se obtiene con los abonos verdes alelopáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática de artículos científicos sobre malas hierbas alelopáticas y especies invasoras cuya biomasa se hubiese utilizado incorporada al suelo agrícola para control de malas hierbas, así como de los beneficios de los enfoques de gestión de las malas hierbas basados en plantas (Young, 2020), incluyendo los cultivos alelopáticos de cobertura para abonado en verde y *mulch*, y la menos explorada procedente de la agrosilvicultura y de especies invasoras. Se utilizó el motor de búsqueda Scopus utilizando las siguientes palabras clave: *allelop** AND *weed* AND *amendment* OR *residue* OR *mulch* OR “*green manur**” OR *biomass* AND *invasiv** OR *agroforest** AND “*weed control*” OR *phytotox** OR *allelop** OR *herbicid**. Se utilizaron como base de discusión los artículos del equipo de investigación firmante sobre las interacciones sinérgicas de los múltiples compuestos solubles y volátiles de la biomasa alelopática, y la dinámica de su liberación a bajísimas concentraciones, con un control efectivo a corto-medio plazo de numerosas malas hierbas agrícolas (v. Valiño *et al.*, 2023). En la revisión referente al cumplimiento de los principios de DNSH (*Do No Significant Harm*), se tomó como base el Reglamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de junio de 2020 (UE, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la revisión bibliográfica se encontraron evidencias de uso de especies alelopáticas agroforestales de más especies de lo esperado *a priori*, y de forma global en todas las latitudes y escenarios de producción agrícola, algunas ya utilizadas desde la antigüedad. En la Tabla 1 se recogen ejemplos de especies de plantas alelopáticas silvestres, malas hierbas, especies arvenses, especies invasoras, y residuos forestales cuya biomasa ha sido ensayada

Tabla 1 - Especies agroforestales invasoras, silvestres, arvenses, acuáticas y aromáticas cuya biomasa no cultivada ha sido utilizada incorporada al suelo para el control de malas hierbas con resultados significativos (v. Valiño *et al.*, 2023)

<i>Acacia dealbata</i> Link.	<i>Ulex europaeus</i> L.
<i>Ageratina adenophora</i> (Spreng.) R. M. King & H. Rob. syn.*	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	<i>Alternanthera sessilis</i> R. Br.
<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	<i>Conyza stricta</i> Willd.
<i>Amaranthus palmeri</i> (S.) Watson	<i>Polygonum barbatum</i> L.
<i>Artemisia annua</i> L.	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.
<i>Cassia angustifolia</i> Vahl.	<i>Anethum graveolens</i> L.
<i>Cistus ladanifer</i> L.	<i>Anisomeles indica</i> (L.) O. Kuntze
<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link.	<i>Calamintha nepeta</i> (L.) Savi.
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	<i>Coriandrum sativum</i> L.
<i>Eucalyptus urophylla</i> S. T. Blake	<i>Cymbopogon winterianus</i> Jowitt ex Bor.
* <i>Eupatorium adenophorum</i> Spreng.	<i>Foeniculum vulgare</i> P. Mill.
<i>Hedera helix</i> L.	<i>Melissa officinalis</i> L.
<i>Lantana camara</i> L.	<i>Mentha x piperita</i> L.
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit.	<i>Mentha spicata</i> L.
<i>Mikania micrantha</i> Kunth	<i>Mentha x verticillata</i> L.
<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	<i>Ocimum basilicum</i> L.
<i>Pinus halepensis</i> Miller.	<i>Origanum vulgare</i> L.
<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Petroselinum crispum</i> (P. Mill.) Nyman ex A.W. Hill
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	<i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth.
<i>Rottboellia cochinchinensis</i> (Lour.) W.D. Clayton	<i>Pimpinella anisum</i> L.
<i>Tropaeolum majus</i> L.	<i>Salvia officinalis</i> L.

en invernadero y/o campo como enmienda del suelo agrícola para control de malas hierbas, muchas de ellas presentes en la Península Ibérica, incluyendo invasoras muy agresivas con abundante biomasa, p. ej., *Acacia* sp., *Robinia pseudoacacia* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, y *Amaranthus palmeri* (S.) Watson.

Desde un punto de vista holístico, el uso propuesto de la biomasa como enmienda del suelo para el control de malas hierbas cumple de diferentes maneras con el principio DNSH (*Do No Significant Harm*) y puede contribuir a alcanzar objetivos ambientales adicionales de transición ecológica (UE, 2020).

Dicha contribución se justifica de la siguiente manera: (i) En la *protección de los recursos hídricos*, el uso de bioherbicidas sólidos de liberación lenta a base de biomasa en lugar de herbicidas sintéticos emulsionables puede reducir el lixiviado a las capas freáticas y a las corrientes agua. (ii) Bajo una perspectiva de *economía circular*, los residuos y excedentes de biomasa alelopática derivados de diversas actividades en el sector agroforestal podrían reorientarse hacia usos agrícolas complementarios.

(iii) En la *prevención de la contaminación*, el uso de biomasa alelopática y cultivos alelopáticos de cobertura para el control de malas hierbas ofrece soluciones efectivas, económicas y respetuosas con el medio ambiente. La biomasa alelopática contiene una alta diversidad de metabolitos secundarios vegetales que son seguros para la salud humana a sus dosis sinérgicas efectivas (del orden de centésimas de ppm de cada compuesto volátil liberado a los poros del suelo, y de unidades a centésimas de $\mu\text{mol/L}$ de cada compuesto fenólico en el agua del suelo), habiendo sido probados y autorizados en diversos sectores como la medicina, veterinaria, cosmética y alimentaria. (iv) En cuanto a la *protección y recuperación de la biodiversidad* en los agroecosistemas, los enfoques basados en plantas siguen los principios de las prácticas holísticas del IWM. Estas prácticas no pretenden erradicar las malas hierbas, sino mantener sus poblaciones en niveles no competitivos con el cultivo, reduciendo gradualmente el banco de semillas del suelo y preservando servicios ecosistémicos deseables de las especies arvenses. Además, los enfoques basados en plantas alelopáticas muestran una baja susceptibilidad para generar biotipos resistentes altamente competitivos debido a sus multi-modos de acción.

(v) En la *mitigación del cambio climático*, la reutilización de residuos agroforestales y malas hierbas reduce las emisiones de gases de efecto invernadero tras la quema común. En una era post-herbicida, el uso de biomasa alelopática y cultivos de cobertura podría reducir significativamente la necesidad de herbicidas sintéticos y disminuir la necesidad de control mecánico y su huella de carbono. La incorporación de cultivos de cobertura y residuos vegetales en suelos agrícolas mejora las propiedades del suelo, estimula la actividad microbiana y contribuye al secuestro de carbono. Estos métodos también mejoran la retención de agua del suelo, incrementando la eficiencia en el uso del agua en escenarios de escasez hídrica. (vi) En la *adaptación al cambio global*, se sabe que el calentamiento global y la sequía pueden reducir la eficacia de los herbicidas sintéticos disponibles y promover la aparición de más ecotipos de malas hierbas resistentes. Por otro lado, se espera y ya se tienen pruebas de que el calentamiento, la sequía y la globalización potencien la proliferación de malas hierbas altamente competitivas fuera de sus áreas de distribución nativas. Estos problemas de reciente aparición pueden comprometer la producción agrícola presente y futura, lo que requiere nuevas herramientas y métodos eficaces para el control de las malas hierbas. La biomasa procedente de la agrosilvicultura alelopática y las especies vegetales invasoras como enmiendas del suelo para el control de las malas hierbas tienen características únicas que podrían contribuir a satisfacer tales demandas.

ASPECTOS CLAVE

El enfoque específico basado en plantas tratado en esta revisión es relevante en un IWM contemporáneo en la que los cultivos de cobertura están llamados a ser herramientas fundamentales (Young, 2020). Los cultivos alelopáticos de cobertura y la biomasa alelopática disponible en los agroecosistemas de todo el mundo combinan características de control biológico de malas hierbas, pero también de control químico de malas hierbas, proporcionando así un pequeño martillo *-little hammer-*híbrido para el IWM (Liebman & Gallandt, 1997; Marshall, 2009).

A partir de los estudios revisados, en contraste con el control basado en herbicidas tradicionales, los enfoques basados en plantas alelopáticas incluyen poderosas sinergias entre muchos principios bioactivos de diferentes clases químicas contenidas en los tejidos de las especies alelopáticas (Pardo-Muras *et al.*, 2022). Las concentraciones naturales de cada uno de estos aleloquímicos son extremadamente bajas, y se liberan lenta y gradualmente por lixiviación, volatilización o exudación de las raíces de los cultivos de cobertura alelopáticos vivos o de los residuos vegetales una vez aplicados al suelo. Además, el cóctel natural de aleloquímicos proporciona múltiples modos de acción, lo que podría reducir la aparición de resistencias.

La gestión de las malas hierbas basada en las plantas puede mantener la diversidad funcional de las “otras plantas” y, por lo tanto, su amplia variedad de servicios ecosistémicos (Bàrberi *et al.*, 2018; Merfield, 2022), construyendo así un escenario lejos de los “suelos desnudos y a menudo reinfestaciones que deben ser tratadas una y otra vez” en una estrategia basada en herbicidas sintéticos (Young, 2020). El uso de la biomasa alelopática disponible en el agroecosistema para el control de las malas hierbas ofrecería oportunidades adicionales para la ciencia y la práctica. Por un lado, se aliviaría la inversión de recursos y tiempo para producir cultivos de cobertura; por otro, se proporcionaría un nuevo uso de algunos residuos agroforestales y un sumidero para la biomasa de malas hierbas alelopáticas como parte de una economía local circular (Valiño *et al.*, 2023).

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por los proyectos PID-2019-111253RB-I00 y PDC2022-133375-I00 financiado por MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 (a través de FEDER y NextGenerationEU/PRTR, respectivamente), y por la Sociedad Española de Malherbología (SEMh) a través una beca de investigación para posgraduados, convocatoria 2023 (A.V.). Este trabajo se enmarca en la Red de Investigación PalmerNET (RED2022-134285-T) financiada por MCIN/AEI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bàrberi, P.; Bocci, G.; Carlesi, S.; Armengot, L.; Blanco-Moreno, J.M. & Sans, F.X. (2018) - Linking species traits to agroecosystem services: a functional analysis of weed communities. *Weed Research*, vol. 58, n. 2, p. 76-88. <https://doi.org/10.1111/wre.12283>
- Liebman, M. & Gallandt, E.R. (1997) - Many little hammers: Ecological management of crop-weed interactions. In: Jackson, L.E. (Ed.) - *Ecology in Agriculture*. Academic Press: San Diego, CA, USA, 1997; p. 291-343. <https://doi.org/10.1016/B978-012378260-1/50010-5>
- Marshall, E.J.P. (2009) - Weed Research reaches Volume 50! Looking back and looking forward. *Research*, vol. 0, p. 1-3. <https://doi.org/10.1111/wre.10003>
- Merfield, C.N. (2022) - Redefining Weeds for the Post-herbicide Era. *Weed Research*, vol. 62, n. 4, p. 263-267. <https://doi.org/10.1111/wre.12544>
- Pardo-Muras, M.; Puig, C.G. & Pedrol, N. (2022) - Complex synergistic interactions among volatile and phenolic compounds underlie the effectiveness of allelopathic residues added to the soil for weed control. *Plants*, vol. 11, n. 9, art. 1114. <https://doi.org/10.3390/plants11091114>
- UE (2020) - *Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088*.
- Valiño, A.; Pardo-Muras, M.; Puig, C. G.; López-Periago, J. E. & Pedrol, N. (2023) - Biomass from Allelopathic Agroforestry and Invasive Plant Species as Soil Amendments for Weed Control. A Review. *Agronomy*, vol. 13, n. 12, art. 2880. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122880>
- Young, S.L. (2020) - A unifying approach for IWM. *Weed Science*, vol. 68, p. 435-436. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.60>