

Herbicidas de origen natural

Manuel Rojas Garcidueñas,* Hilda Gámez González**

El principal medio de control de las malezas en la agricultura tecnificada es el combate químico. Actualmente la preocupación por una agricultura no contaminante ha llevado a prohibir o poner bajo restricciones a varios productos, presionando por la búsqueda de herbicidas de origen natural. El propósito de este artículo es presentar conceptos generales respecto a productos naturales con posibilidades herbicidas.

Combate químico y biológico

En 1998 se comercializaron en México 63 marcas de herbicidas con 48 diferentes materiales técnicos,¹ en general, venidos de Europa o Estados Unidos y formulados en México; unas pocas casas mexicanas sintetizan materiales cuya patente ha expirado y que en varios casos están sujetos a restricciones (2,4-D, atrazina, paraquat).

Existen diversas vías para obtener nuevos productos: 1) Diseño lógico para inhibir vías metabólicas específicas, sobre todo en el cloroplasto.² Böger cita las pirimidinas y piridiazinonas para impedir la síntesis de xantofilas y las antraquinonas y difenilamina para impedir la síntesis de ATP³, pero a la fecha “no es una vía hacedera pues desconocemos las complejidades del metabolismo para explotarlas”.² 2) Síntesis de análogos; así se han formado las familias de

triazinas, carbamatos, etc. 3) Screening al azar, sintetizando y probando compuestos con posibilidades herbicidas teóricas; ésta es la vía más seguida, pero es muy costosa.²

El control biológico ha sido objeto de muchos esfuerzos. Se han tenido algunos éxitos con insectos, pero se tienen mejores oportunidades con el uso de microorganismos. Actualmente son comerciales “Collego”, esporas de *Colletotrichum gleosporoides* para maíz y soya⁴ y “Divine” para la maleza *Morrenia odorata*; la *Cercospora rodmani* se utiliza con éxito para control del lirio acuático. Una metodología para los micoherbicidas se encuentra en Daigle y Cormick.⁵ La utilización de patógenos presenta dificultades: 1) Debe ser específico para ciertas especies y aun así hay peligro de escape a cultivos susceptibles vecinos. 2) Debe ser genéticamente estable y producir abundante inóculo. 3) El lapso entre la infección y el establecimiento del patógeno permite la competencia entre maleza y cultivo. 4) Puede alcanzarse un equilibrio patógeno-hospedero antes de tener un control de la maleza efectivo.⁶

Toxinas herbicidas: una realidad

La utilización de toxinas en lugar de microorganismos evita las objeciones al control biológico. Hoagland presen-

ta un gran número de fitotoxinas como la acetilaranotonina producida por el hongo *Aspergillus terreus* y la naringenina del *A. niger*,⁷ etc.

Entre las toxinas bacterianas la faseolotoxina del *Pseudomonas syringae phaseolicola* tiene amplio rango de fitotoxicidad y es transportada en la planta interfiriendo con la enzima que regula la síntesis del aminoácido arginina,⁷ (ver tabla 1). Duke cita como prometedoras a la AAL-toxina y otras.⁸ Existen muchos otros fitopatógenos de interés (figura 1).

Tienen especial interés las toxinas bacterianas de *Streptomyces*, sobre todo la fosfinitricina o glufosinato que es el principio activo del péptido bialafos, que en la planta se hidroliza liberando la toxina, la cual inhibe la síntesis de la glutamina; el efecto herbicida es rápido por la acumulación de amonio y disturbios en la permeabilidad de las membranas celulares.² El glufosinato no es peligroso para los animales y ha originado al herbicida japonés “Herbiace” y al producto alemán “Basta”, que es un análogo sintético del glufosinato.⁷ Se tienen hoy transgénicos experimentales de varios cultivos con resistencia al bialafos⁷ lo que haría más utilizable al herbicida.

Se ignora el modo de acción de la mayoría de las toxinas; como sucede

* Academia Mexicana de Ciencias.

** Facultad de Ciencias Biológicas, UANL.

Fig.1. Efecto de extractos de hongos sobre la maleza acuática *Hydrilla*. De izquierda a derecha: 1 y 2 *Macrophomina phaseolina*; 3 *Fusarium roseum*; 4 *F. moniliforme*; 5 *Cladosporium cladosporioides*; 6 Testigo (De Joyce en Hoagland⁷).

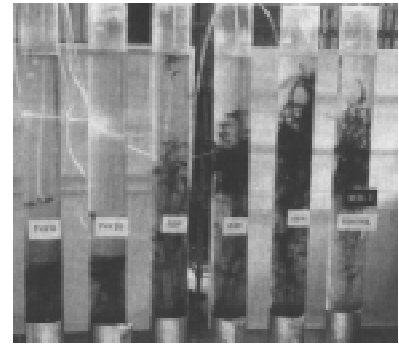


Tabla I. Especies de hongos con potencialidad herbicida	
<i>Septoria tritici</i>	<i>Avena fatua</i> (Avena loca)
<i>Ascochyta caulina</i>	<i>Chenopodium album</i> (chual)
<i>Cercospora chenopodii</i>	<i>Chenopodium album</i> (chual)
<i>Cercospora carisis</i>	<i>Cyperus esculentus</i> (coquillo)
<i>Alternaria eichorniae</i>	<i>Eichornia crassipes</i> (lirio de agua)
<i>Sphaloteca holci</i>	<i>Sorghum halepense</i> (zacate Johnson)
<i>Colletotrichum sporoides</i>	Amplio espectro en leguminosas
<i>Colletotrichum graminicola</i>	Amplio espectro en gramíneas

en los inhibidores naturales y herbicidas sintéticos y, contra lo que parecería el camino lógico, los estudios fisiológicos se efectúan después de investigar la efectividad por medio de bioensayos.

Las abscisinas

El ácido abscísico (ABA) fue considerado un inhibidor antigiberélico; hoy se le considera una hormona con acción directa sobre el ADN, con efectos parciales antigiberélicos; típicamente se involucra en la caída de hojas y frutos y en el letargo de embriones y yemas de invierno, así como en la resistencia al estrés por frío o sequía. En las plantas superiores se sintetiza a partir del farnesilpírofosfato.⁹

Se ha aislado ABA y compuestos análogos de la *Cercospora cruenta* y de otros microorganismos. Se han sintetizado análogos del ABA y se piensa seriamente en su utilización agrícola, pero aún es una investigación en marcha. Existe un análogo del ABA que inhibe el crecimiento en aplicación exógena y hay derivados carboxílicos y fenólicos, que son "candidatos para la producción de compuestos para la práctica agrícola".¹⁰

El rendimiento en ABA de las plantas superiores es muy bajo, pero puede tenerse cría masiva de *Cercospora cruenta* o síntesis química. Las abscisinas son de difícil penetración en aplicación exógena y es también un problema su transporte a los receptores, así como la ignorancia parcial de sus efectos en plantas y animales.¹⁰

Inhibidores naturales: una promesa

Las plantas superiores sintetizan un gran número de compuestos fenólicos y terpénicos, así como alcaloides cumarinas y quinonas que inhiben el desarrollo; en muchos casos escapan al ambiente por el follaje o por los residuos de las plantas productoras, actuando sobre especies vecinas: son los inhibidores alelopáticos presentes en diversas malezas muy competitivas y en algunas líneas de cultivos;

su papel en el propio productor es discutido.⁹

Los inhibidores naturales fueron revisados hace tiempo por Kefeli y colaboradores.^{11,12} En general los fenólicos estimulan a la AIA-oxidasa destruyendo a la hormona fundamental ácido indolacético (AIA) o auxina,¹³ en tanto que los terpénicos interfieren con las enzimas respiratorias con el grupo SH¹⁴ como se ha comprobado para la juglona.¹⁵ En años recientes se ha informado que la acción inhibitoria de la isoalantolactona de *Imula* sp sobre el quelite (*Amaranthus*) y el chual (*Chenopodium*)¹⁶ y del extracto acuoso de *Ambrosia artemisifolia* sobre el quelite y otras dicotiledóneas, pero no sobre el trigo aplicado a bajas dosis.¹⁷ También son inhibitorios los extratos acuosos del zacate Bermuda (*Cynodon dactylon*) y del zacate Johnson (*Sorghum halepense*), que afectan el desarrollo radicular, peso seco de la plántula (figura 2) y respiración (figura 3) en semillas de frijol, trigo, avena y sorgo¹⁸. Asimismo, los extractos acuosos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) inhiben la germinación de diversas malezas.¹⁹

Se ha tenido especial interés en los inhibidores terpenlactónicos. La eugarzadona* de la verbena *Teucrium*

*La eugarzadona fue aislada y caracterizada por X. A. Domínguez con el nombre de eugarzasadina; por una revisión posterior de la estructura fue registrada internacionalmente con el nombre de eugarzadona.

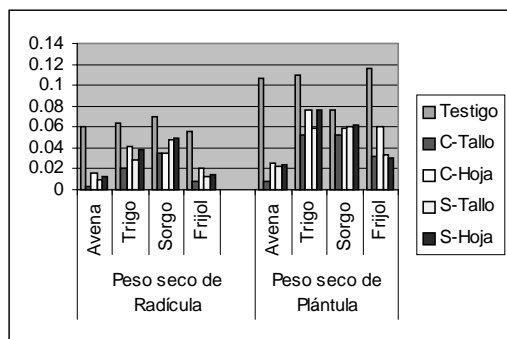


Fig. 2. Promedio de peso seco (g) de radícula y plántula de especies tratadas con extractos acuosos de tallo y hoja de *Cynodon dactylon* y *Sorghum halepense*. (Gámez et al¹⁸).

cupense y la partenina de la amargosa (*Parthenium hysterophorus*) inhiben el desarrollo de varias especies, teniendo cierta acción diferencial entre mono y dicotiledóneas²⁰ (figura 4 y figura 5). Estos inhibidores son absorbidos por la raíz y transportados por una acción sistémica (figura 6). Conforme a lo encontrado por otros autores sobre las terpenlactonas^{14,15} la eugarzadona y la partenina deprimen la respiración siendo, el efecto mayor en frijol que en trigo (figura 7). Se han continuado las investigaciones sobre partenina confirmando efectos inhibitorios alelopáticos en colza (*Brassica campestris*) pero no en trigo,²¹ lo que tiene interés agrícola tanto de los residuos foliares²² como el escurrimiento del follaje.²³ Se ha confirmado que el efecto inhibitorio se debe a la partenina presente en el extracto²⁴ como se había establecido anteriormente.²⁰

Un aspecto negativo es la poca duración del efecto inhibitor, pues las plantas afectadas reinician el desarrollo a los 10-15 días de tratadas.

Algunas pruebas con partenina modificada químicamente señalan que puede tenerse una molécula de acción más intensa y prolongada²⁵ (tabla 2).

Oportunidades

El desarrollo de herbicidas de origen natural puede abrir oportunidades a



Fig. 4. Embrión de frijol in vitro en medio normal y adicionado con los inhibidores eugarzadona (eugarzasadina) y partenina a 100 ppm. (Original de Rojas Garcidueñas).



Fig. 5. Semillas de trigo y de lenteja germinadas en agar adicionado con el inhibidor eugarzadona (eugarzasadina) a 50 y 100 ppm. (Original de Rojas Garcidueñas).



Fig. 6. Frijol en solución Hoagland adicionada con eugarzadona (eugarzasadina) a 50 y 100 ppm. (Original de Rojas Garcidueñas).

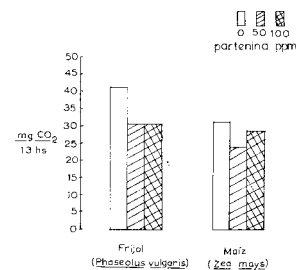


Fig. 7. CO₂ expelido en 20 h por 10 g de semilla tratada con dos inhibidores lactónicos. (De Rojas Garcidueñas y Domínguez²⁰).

Tabla II. Efecto de inhibidores naturales y modificados químicamente sobre el crecimiento del frijol aplicados a 100 ppm en el riego para germinación en suelo en invernadero. (De Rovalo y Coronado²⁵)

Tratamiento	Altura en cm	Peso seco (mg)
Testigo	11.33a	170a
Partenina	6.55b	150ab
Cloropartenina	4.60b	140ab
Epoxipartenina	0.83c	130b
Eugarzadona	0.62c	120b

la industria agroquímica mexicana. Ciertamente el desarrollo de un herbicida es empresa muy costosa, pero recuperable a mediano plazo y lucrativa a largo plazo; en todo caso se tiene la opción de aliarse con empresas extranjeras con capacidad económica. El volumen total de herbicidas aplicados en 1995 en el campo mexicano fue de 15,720 ton.²⁶

Para los científicos mexicanos hay

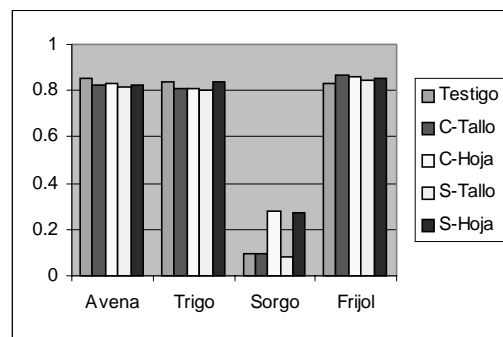


Fig. 3. CO₂ producido (g) por 10 g de semilla tratada con extractos acuosos de tallo y hoja de *Cynodon dactylon* y *Sorghum halepense*. (Gámez et al¹⁸).

oportunidades de investigación pura y aplicada; para los botánicos, en la búsqueda de especies prometedoras como herbicidas por residuos alelopáticos o extracción de inhibidores naturales; para los microbiólogos, en el estudio de hongos o bacterias con fitotoxinas; para los fisiólogos vegetales y bioquímicos, investigando la acción de los bioherbicidas en el metabolismo vegetal, su constitución química y posibilidades de síntesis o modificación molecular; para los agrobiólogos y agrónomos, en la ejecución de pruebas de laboratorio y campo para la utilización en la agricultura. El motivo del presente artículo ha sido, precisamente, despertar la inquietud por el estudio de los bioherbicidas para beneficio de la agricultura y la industria de México.

Referencias

1. DEAQ. Diccionario de Especialidades Agroquímicas-PLM. 1998.
2. Cobb, A. Herbicides and Plant Physiology. Chapman and Hall (Londres), p 140, 166. 1992.
3. Böger, P. Future inhibition sites for possible herbicides. Plant Research and Development 30:62-75. Institut für Wissenschaftlichen Zusammen Arbeit (Inst. Scient. Coop.) Tubingen. 1989.
4. Templeton, G.E. Biological weed control with mycoherbicidas. Arkansas Farm Research. May-June 1990.
5. Daigle, D.J., Cormick jr, W.J. Formulation and application technology for microbial weed control (En: Microbes and Microbial Products as Herbicides. Edit. R.E. Hoagland. ACS Symposium Series 439) Amer. Chem. Soc. (Washington). 1990.
6. Quimby jr, P.C.; Walker, H.L. Pathogens as mechanisms for integrated weed management. Weed Science 30 (Supplement), pp. 30-34. 1982.
7. Hoagland, R.E. An overview. (En: Microbes and Microbial Products as Herbicides. Edit. R.E. Hoagland. ACS Symposium Series 439) Amer. Chem. Soc. (Washington), p24-29, 35. 1990.
8. Duke, S.C.; Abbas, H.K. Natural products as herbicides (En Allelopathy: organisms, processes and applications. Edit. K.M.M. Daksini y F.A. Einhelin), U.S. Dept. Agric. Research Service. p 29-30. 1995.
9. Rojas Garcidueñas, M. y Ramírez, H. Control Hormonal del Desarrollo de las Plantas 2ª ed. p37 y sig., Limusa, (México). 1995.
10. Cutler, H.G. Satellite metabolites and synthetic derivatives of abscisic acid as potential microbial products herbicides (En: Microbes and Microbial Products as Herbicides. Edit. R.E. Hoagland. ACS Symposium Series 439), Amer. Chem. Soc. (Washington), 1990.
11. Kefeli, V.I.; Kadyrov, S.C. Natural growth inhibitors, their chemical and physiological properties. Annual Review of Plant Physiology, 22:185-193. 1971.
12. Kefeli, V.I.; Kutacek, M. Phenolic substances and their possible role in plant growth regulation (En: Plant Growth Regulation. Edit. E. Pilet) Springer. (Berlin), 1977.
13. Gross, D. Growth regulating substances of plant origin. A review. Phytochemistry, 14:21 05-2112. 1975.
14. Rodríguez E.; Towers, G.H.N.; Mitchell, I. Biological activities of sesquiterpene lactones. Phytochemistry, 15:1573-1580. 1976.
15. Li, H.H.; Nishimura, H.; Hasegawa, K.; Mizutani, J. Some physiological effects and the possible mechanism of action of juglone in plants. Weed Research, 38:214-227. 1993.
16. Picman, A.K. Effect of isosalantolactone on germination of selected weed and crop plants. Phytoprotection, 69:65-71. 1988.
17. Mondragón, G.; Trueba, S.; Jiménez, M. Actividad fitotóxica

- de un extracto acuoso de *Ambrosia artemisiifolia* sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de algunas especies de cultivo y maleza. Series Técnicas de ASOMECEMA, Vol. III, No. 1:9-14. 1992.
18. Gámez-González, H.; Zavala, F.; Lozano, D.E.; Moreno L.S.; Maiti, R.K. y Martínez, L.S. Effects of extracts of *Cynodon dactylon* and *Sorghum halepense* on cultivars. Crop Research, (en prensa), 2002.
 19. Ill-Min Chung and Darrell A. Miller. Natural Herbicide Potential of Alfalfa Residue on Selected Weed Species. Agronomy Journal, 87:920-925. 1995.
 20. Rojas Garcidueñas, M.; Domínguez, X.A. *Partenina, achilina* y eugarzasadina, tres nuevos inhibidores terpenlactónicos del desarrollo vegetal. Turrialba 26:10-13. 1976.
 21. Dhawan, S.R. Biocontrol of *Parthenium hysterophorus* L. Studies on seed germination. Advances in Plant Sciences. 1994.
 22. Pandey, D.K. Inhibitory effects of *Parthenium hysterophorus* residue on *Salvinia molesta*. Proceed. Indian Soc. Weed Sci. International Symposium II:133-136. 1993.
 23. Adkins, S.W.; Sowerby, M.S. Allelopathic potential of the weed *Parthenium hysterophorus* in Australia. Plant Protection Quarterly II:20-23. 1996.
 24. Batish, D.R.; Kohli, R.K.; Singh, H.P.; Saxena, D.B. Studies on herbicidal activity of parthenin, a constituent of *Parthenium hysterophorus* towards billgoat weed (*Argemone conizoides*). Current Science 73:369-371. 1997.
 25. Rovalo, M.; Coronado, A. Estudios fisiológicos con partenina y eugarzadona en frijol (*Phaseolus vulgaris*). XVII Informe de Investigación 1979-1980. Inst. Tecnol. Est. Sup. Mty. Monterrey. p 216. 1981.
 26. AMIPFAC. Información de la Asociación Mexicana de la Industria de Plaguicidas y Fertilizantes A.C.