

Es posible aumentar la eficiencia de los herbicidas en el control de *Amaranthus palmeri*?

Eduardo S. Leguizamón

Ex investigador INTA; Ex Profesor Facultad de Ciencias Agrarias UNR; Ex investigador CONICET

Tel. 0341-4266533. E-mail: esleguizamom1946@gmail.com

Introducción

Los herbicidas constituyen un gran aliado de la agricultura, ya que disminuyen drásticamente el tamaño de las poblaciones de malezas que pueden llegar a producir pérdidas muy significativas en el rendimiento de los cultivos. Tal es el caso de *Amaranthus palmeri*, una invasora anual originaria de EE.UU. **(10)** que parece reunir todos los atributos necesarios para garantizar su éxito ecológico¹ **(16) (17)**, compite severamente con los cultivos estivales y se ha convertido en uno de los principales problemas de los cultivos de soja y maíz en una amplia región del país en muy pocos años. El desarrollo reciente de tácticas de control que incluyen a herbicidas de preemergencia + postemergencia ha contribuido a minimizar significativamente la pérdida de rendimientos de esta temible maleza; sin embargo tanto el área infestada como la intensidad de la infestación en lotes ya invadidos sigue creciendo **(13)**.

En esta presentación, se describen brevemente algunos atributos de la maleza en el marco de procesos poblacionales que -por un lado- permitirían explicar las causas de su explosiva expansión y persistencia y por el otro, se utilizan para simular la importancia del diseño de estrategias de manejo combinadas y complementarias al uso de herbicidas que pueden ser aplicadas aún en transcurso de una campaña agrícola, pero sobre la base de una visión de mediano a largo plazo. El abordaje que se propone permitiría no sólo ampliar la eficiencia de los tratamientos herbicidas sino que también contribuiría a dilatar la aparición de resistencia, al posibilitar una mejor rotación de distinto tipo de herbicidas con distinto modo de acción y simultáneamente disminuir el tamaño de las progenies, el insumo básico para la selección de biotipos resistentes **(11)**.

Modelo utilizado y procesos involucrados.

Los “estados” de una población de la maleza se muestran en la Figura 1: el banco de semillas, las plántulas que éstas originan, los adultos, su fecundidad y la “lluvia de las semillas”. Los procesos demográficos que controlan el flujo de la población a lo largo del tiempo son los siguientes (flechas negras): a) supervivencia de las semillas en el suelo (incluyendo la predación), b) emergencia de las plántulas, c) supervivencia de las plántulas, e) producción de semillas y d) retorno de semillas al banco del suelo.

¹ Elevada tasa de crecimiento, alta capacidad competitiva, fastuosa fecundidad, dormición, etc.

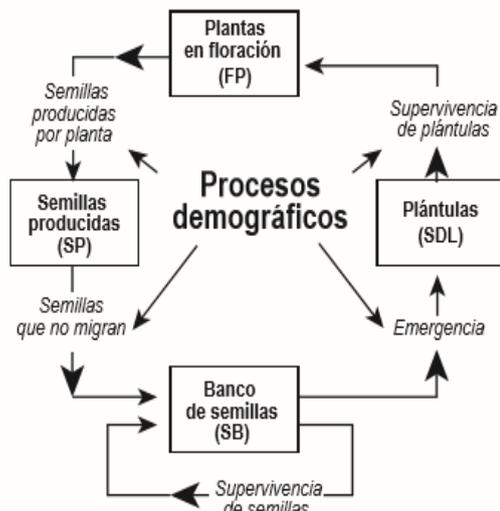


Fig. 1. Modelo simplificado de la maleza (6)

Las ecuaciones y sus parámetros, que controlan la velocidad de flujo de cada uno de estos procesos, se detallan en el Anexo. El modelo poblacional asocia en el nivel de “adultos” las funciones de pérdida de rendimiento para soja y maíz. A los efectos de simular los efectos de distintas tácticas de manejo, se ha construido el modelo en una planilla de cálculo Excel basado en los supuestos que se detallan en el Anexo y que está a disposición de los lectores.

Hechos significativos que surgen de las simulaciones.

1. El inicio y progreso inicial de la invasión indetectable, crece luego en forma explosiva.

Sólo una semilla / ha no crea en el primer año una población significativa de adultos (0.2 plantas cada 100 has), la que tampoco produce pérdidas en el rendimiento potencial del cultivo de soja. Sin embargo, la situación cambia drásticamente a partir del segundo año: la Tabla I ilustra la evolución del banco de semillas, de los adultos y de la pérdida de rendimiento de los cultivos de soja y de maíz si no se aplicasen tácticas anuales de control.

Tabla I: Simulación del tamaño del Banco, población de adultos y pérdida de rendimiento de soja en 5 años.

Año	Banco Nº semillas /m ²	Adultos Nº plantas /m ²	Pérdida de Rendimiento Potencial de Soja (%)	Pérdida de Rendimiento Potencial de Maiz (%)
1	0,000001	0,000000002	0	0
2	56160	104	77	95
3	11675	22	67	81
4	4761	9	55	64
5	6630	12	60	71

2. La fecundidad denso-dependiente es un atributo que otorga gran capacidad auto-regulatoria.

Como sucede en otros organismos vivos, la estructura modular que caracteriza a las plantas, origina variaciones muy significativas en la biomasa o fecundidad individual ante la presencia o proximidad del vecino. Los efectos de esta “competencia intraespecífica”, habitualmente mencionadas como “respuestas plásticas” tiene grandes implicancias en la regulación del tamaño poblacional, ya que en el caso de la fecundidad, se traduce en un tamaño gigantesco (superior a 2.5 m) y una sideral producción de semillas cuando los individuos están muy aislados o dispersos (Figura 2). Precisamente, dos prácticas centrales en el proceso productivo, como son la pulverización con herbicidas y la cosecha (en la que se redistriben las semillas por la “cola” de la máquina) tienen similar efecto en la población de la maleza, que es la de disminuir la densidad de las plantas (en el primer caso por provocar mortalidad, en el segundo por redistribuir a las semillas en “manchones” muy poco densos que originan plantas muy dispersas en el año siguiente **(1) (12)**).

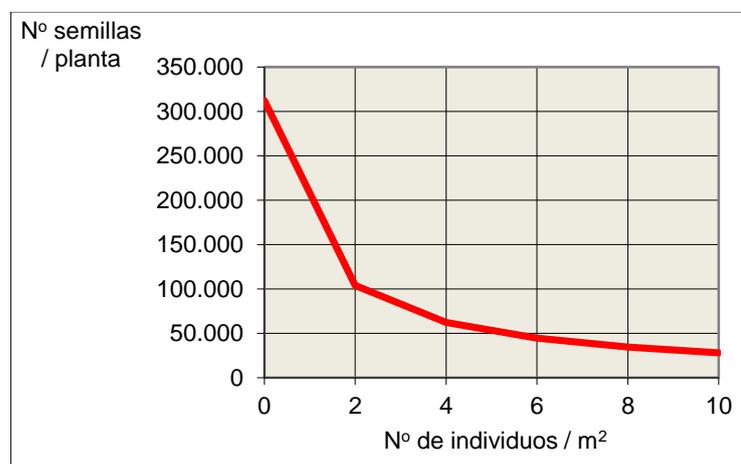


Fig. 2. Fecundidad de plantas de *Amaranthus palmeri*

Para visualizar en toda su dimensión la profunda significancia que tiene la modificación de la densidad en la fecundidad hemos calculado el tamaño del banco de semillas al quinto año a partir de infestaciones iniciales crecientes (Tabla II):

Tabla II: Simulación del tamaño del banco al año 5 a partir de distinto nivel inicial de semillas.

Banco año 1 Nº semillas /m ²	Banco año 5 Nº semillas /m ²	Tasa (λ) (Bf/Bi)
1	6630	6630
10	6629	663
100	6578	66
1000	5720	5.7
10000	6058	0.6
100000	5732	0.06

Como podemos observar, la tasa de cambio poblacional del banco es superior a 1 y por lo tanto el mismo crece, si la población inicial de semillas es inferior a un umbral. Por el contrario, la tasa es inferior a 1 y el banco decrece, si la población inicial es superior al umbral. El umbral se sitúa en el orden de 6000 semillas/m². Lo expuesto expone con claridad la regulación que opera durante la historia de vida de la maleza a lo largo de los años, en este caso derivada de las respuestas de la fecundidad a la densidad de los individuos adultos. Es muy probable que este tipo de respuesta también ocurra en otros procesos que controlan el tamaño poblacional, como es el caso de la predación de las semillas, ya que hay evidencias que la intensidad de la misma depende de la envergadura de la “oferta alimentaria” (las semillas del banco superficial) las que constituyen la dieta de carábidos y otras especies (9). La densidad “umbral” del orden de las 6000 semillas en el perfil superficial, es coincidente con evaluaciones del tamaño del banco realizadas en el área pampeana en una especie similar (*Amaranthus quitensis*) (7,8) y brinda una idea de la envergadura del banco de semillas que podría encontrarse en los lotes ya infestados por *Amaranthus palmeri*.

3. Otros atributos que confieren éxito: dormición de las semillas (banco relativamente persistente) y muy bajo reclutamiento anual de plántulas.

La longevidad de las semillas es relativamente elevada, ya que la tasa de pérdida de viabilidad es de 40 % anual (14): serían necesarios unos 5 años para reducir el banco a cero, suponiendo que no haya nuevos aportes. Por otra parte, la tasa de emergencia de plántulas es bajísima: aproximadamente sólo el 0.3 % de las semillas viables se transforman en plántulas cada año, en sucesivas cohortes de diferente envergadura. El modelado de este proceso (5), que no se trata en esta presentación, puede ser muy importante para refinar la información de manejo de herbicidas residuales y/o postemergentes en combinación con cultivos de cobertura durante el barbecho y/o en el arreglo espacial de los cultivos.

4. Si se enfrenta el manejo de la población sólo con herbicidas, se cumple con el objetivo de evitar la pérdida de rendimiento del cultivo, pero el banco de semillas aumenta (Tabla III).

Para comprender cabalmente los efectos de las distintas tácticas de manejo, se han calculado los efectos sobre la población de la maleza y sobre el rendimiento promedio de soja de 9 tácticas diferentes durante cinco años. El nivel de infestación inicial se fijó en 1 semilla / m². Como se visualiza en la Tabla III, la sola utilización de medidas de manejo del banco de semillas (alternativa 1), del manejo de la redispersión (alternativa 2) o la combinación de ambas (alternativa 3) son muy eficaces para reducir el banco de semillas a niveles

relativamente bajos (1600 semillas /m²). Sin embargo estas opciones de manejo –aisladas- no son viables desde el punto de vista agronómico, porque las pérdidas del cultivo son muy significativas. Por otra parte, la alternativa de manejo más extendida en la actualidad (Nº 6) y solamente basada en la utilización de herbicidas de preemergencia + postemergencia, resulta muy exitosa para evitar una pérdida de rendimiento significativa (sólo 1.4 %) pero es claramente ineficaz desde el punto de vista de una reducción significativa del banco de semillas, el que culmina con el formidable tamaño de 640 millones de semillas por ha. En el término medio se ubican otras alternativas, como la 4 (Manejo de Banco + Herbicidas preemergentes) o la 5 (Manejo de Redispersión + Herbicidas postemergentes). Sin embargo, la mejor opción parece surgir a partir de la combinación de las tácticas de Manejo de Banco + Manejo de la Redispersión + Herbicidas (Alternativa 9).

Los resultados de la simulación ilustran palmariamente que sólo con la combinación de tácticas permiten alcanzar ambos objetivos (maximizar el rendimiento del cultivo y minimizar el tamaño del banco de semillas).

Tabla III. Alternativas de manejo y sus efectos en la población de la maleza y el rendimiento potencial de soja.

ALTERNATIVAS DE MANEJO ²		PLANTAS ADULTAS PROMEDIO Nº / m ²	PÉRDIDA RENDIMIENTO POT. PROMEDIO SOJA (%)	BANCO FINAL (Nº / m ²) x 1000
1	MB	14,5	45,1	3,6
2	MR	8,4	41,4	2,9
3	MB+MR	4,4	32,8	1,6
4	MB+PREE	0,8	13	16
5	MR+POST	0,4	8,9	10,9
6	PREE+POST	0,08	1,4	64,0
7	MB+PREE+POST	0,04	0,4	29,7
8	MR+PREE+POST	0,02	0,2	17,3
9	MB+MR+PREE+POST	0,01	0,1	7,7

² Las siglas refieren a las siguientes alternativas: **MB manejo de banco** (esencialmente arado o disco para enterrar / destruir semillas; **MR manejo de redispersión** (eliminación de plantas antes de la cosecha o bien captura / destrucción de las semillas durante la cosecha para evitar su reingreso al banco del suelo); **PREE** (combinación secuencial de herbicidas preemergentes residuales con el objetivo de controlar a las cohortes tempranas y a las tardías); **POST** (herbicida postemergente de contacto o sistémico).

Conclusión

Los herbicidas permiten solucionar el gran problema que significa la maleza para el cultivo, al reducir drásticamente la densidad de plántulas (tratamientos preemergentes) o de adultos (tratamientos postemergentes), contribuyendo en forma significativa a la expresión del rendimiento potencial del cultivo. Sin embargo, como difícilmente la mortalidad causada por la aplicación de herbicidas alcance en el nivel de campo el 100 % de eficiencia (de hecho, en las simulaciones hemos supuesto una eficiencia extremadamente elevada, del 97 %) la drástica disminución de la densidad de la maleza, se compensa con un aumento exponencial de la fecundidad de los individuos sobrevivientes, con lo cual el tamaño del banco del siguiente año suele ser mayor. En otras palabras y desde *el punto de vista poblacional, la sola aplicación de herbicidas juega a favor de la maleza*. Las simulaciones realizadas demuestran que a la hora del diseño de estrategias de control necesariamente deben contemplarse a todos los procesos que influyen el tamaño de la población de la maleza (nivel del banco de semillas, nivel de dispersión, etc.). La implementación de este enfoque, si bien requiere de mayor dedicación y eventualmente es más complejo que el actual, está absolutamente alineado con los principios de Manejo Integrado de Malezas **(4)** y puede además ser el peldaño adicional para mejorar a las “Buenas Prácticas Agrícolas” de la actualidad.

Este enfoque que podría extenderse a otras especies, no sólo contribuiría a aumentar la eficiencia de los herbicidas, sino también a prolongar su vida útil, porque por un lado se dilataría la posible selección de resistencia (al tratarse a progenies de menor tamaño) y por el otro sería más factible la rotación del uso de herbicidas de preemergencia con otros de postemergencia con diferentes modo de acción y en forma alternativa en cada año, según la secuencia de cultivos. Incluso eventualmente se podrían utilizarse con más frecuencia aquellos que sean ambientalmente más benignos. Relevamientos sistemáticos por otra parte, permitirían conocer con mayor precisión la eficacia de las tácticas seleccionadas y alertar tempranamente acerca de escapes por tolerancia o resistencia.

Bibliografía

- 1-Ballaré, C.L; Scopel, A; Ghera, C.M; Sánchez, R.A. 1987. The demography of *Datura ferox* (L.) in soybean crops. Weed Research. 27(2) 91-102.
- 2-Chandi, A; Jordan, D.L; York, A.C; Milla-Lewis, S.R; Burton, J.D; Culpepper, A.S and Whitaker, J.R. 2012. Interference of selected Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Biotypes in Soybean (*Glycine max*). International Journal of Agronomy. Art. ID168267. 7 pg.

- 3-Faccini, D.E; Nisensohn, L. 1994. Dinámica de la población de Yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*, HBK). Influencia de los tratamientos químicos y mecánicos en un cultivo de soja. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 29(1) 33-42.
- 4-Fernández, O. N; Leguizamón, E.S; Acciaresi, H.A; Fernández, O.A. 2014. Manejo Integrado de Malezas. En: Fernández, O, A; Leguizamón, E.S y Acciaresi, H.A (Eds.). Malezas e Invasoras de la Argentina. Capítulo XXX. 825-872. Editorial de la Universidad Nacional del Sur. 945 pág.
- 5-Garay, J; Cornejo, L. 2014. *Amaranthus palmeri*: manejo integrado para su control. <https://inta.gob.ar/documentos/amaranthus-palmeri-manejo-integrado-para-su-control>. Accesado el 22/09/2017.
- 6-Leguizamón, E.S; Chantre, G.R. 2014. Modelización de sistemas agronómicos. En: Fernández, O, A; Leguizamón, E.S y Acciaresi, H.A (Eds.). Malezas e Invasoras de la Argentina. Capítulo XXXI. 873-888. Editorial de la Universidad Nacional del Sur. 945 pág.
- 7-Leguizamón, E.S; Cruz, P.A.1981.Población de semillas en el perfil arable de suelos sometidos a distinto manejo. Revista de Ciencias Agropecuarias. U.N. Córdoba. II: 83-92.
- 8-Leguizamón, E.S; Cruz, P.A; Guiamet, J.J; Casano, L. 1981. Determinación de la población de semillas de malezas en suelos agrícolas del distrito Pujato (Santa Fe). Ecología 6:23-26.
- 9-Lietti, Marcela; Montero, G; Faccini, D; Nisensohn L. 2017. Evaluación del consumo de semillas de malezas por *Notiobia (Anisotarsus) cupripennis* (Germ.) (Coleoptera: Carabidae). Pesquisa Agropecuaria Brasileira 35 (2) 331-340.
- 10-Morichetti, S; Cantero, J.J; Nuñez, C; Barboza, G, Ariza Espinar, L; Amuchástegui, A y Ferrell, J. 2013. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 48 (2): 347-354. 2013.
- 11-Neve, P; Norsworthy J.K; Smith K.L; Zelaya I.A.2011. Modeling glyphosate resistance management strategies for Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in Cotton. Weed Technology 25:335–343.
- 12-Norsworthy, J.K; Schrage, B.W; Barber, T.L and Schwartz, L.M. 2016. Emergence date influences growth and fecundity of Palmer Amaranth in Cotton. The Journal of Cotton Science 20:263-270.
- 13-Simposio Syngenta. 2017. <https://www.syngenta.com.ar/news/eventos/malezas-controlar-amaranthus-es-un-arte>. Accesado el 22/09/2017.
- 14-Sonoskie, L.M; Culpepper, A.S; Webster, T.M.2011. Palmer amaranth seed mortality in response to burial depth and time. Pages 1550-1552. In: 2011 Proceedings of the Beltwide Cotton Conference.
- 15-Walsh, M. 2017. Harvest weed seed control in Australia. <https://www.topcropmanager.com/weeds/harvest-weed-seed-control-in-australia-19454>. Accesado el 22/09/2017.

16-Ward, S.M; Webster, T.M; Steckel, L.E. 2013. Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*). A Review. Weed Technology 27: 12-27.

17-Webster, T.M; Grey, T.L. 2015. Glyphosate-resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Morphology, Growth, and Seed Production in Georgia. Weed Science 63:264-272.

Anexo

El Modelo utiliza los siguientes supuestos:

a) Funciones y parámetros de las ecuaciones que controlan el tamaño poblacional:

Proceso/Interfase	Tipo de ecuación			
	Lineal	Exponencial		
	<i>a</i>	<i>sppmax</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
<i>Longevidad de semillas</i>	0.4			
<i>Predación de semillas</i>	0.5			
<i>Emergencia de plántulas</i> ³	0.0033			
<i>Población de adultos</i>	0.56			
<i>Fecundidad</i> ⁴	-	312000	0.001	0.001

b) Valor de los parámetros afectados por las tácticas de manejo:

Táctica	Eficiencia (%)	Proceso afectado	Valor del parámetro
<i>Herbidas preemergentes</i>	97	<i>Emergencia de plántulas</i>	$0.003 * 0.03 = 0.00009$
<i>Herbidas postemergentes</i>	97	<i>Población de adultos</i>	$0.56 * 0.03 = 0.0168$
<i>Labranzas</i>	50	<i>Longevidad de semillas</i>	$0.4 * 0.5 = 0.2$
<i>Captura de semillas</i>	75	<i>Dispersión-redispersión</i>	Función * 0.25

c) Interacción maleza-cultivo:

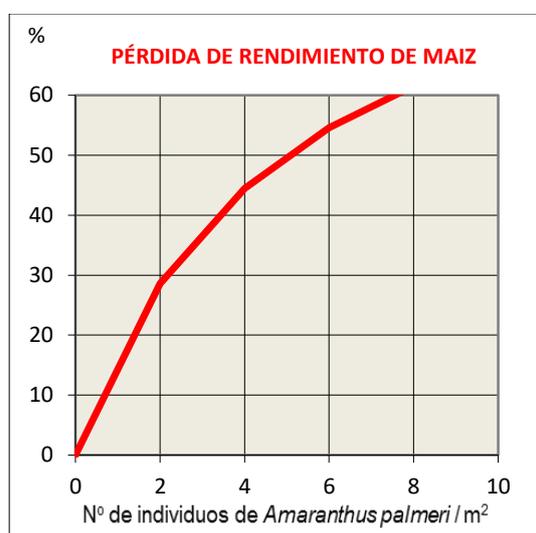
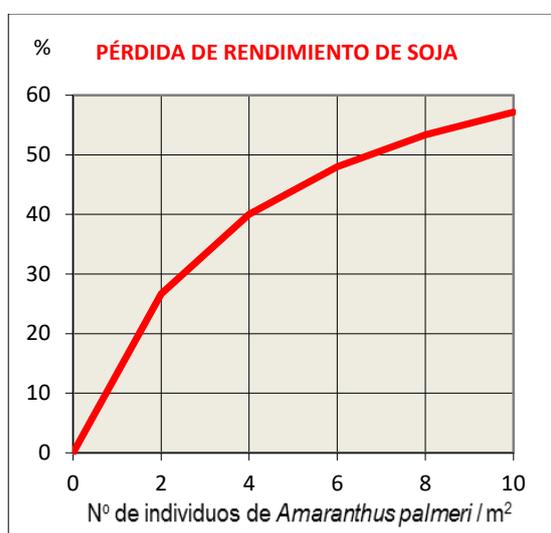
Interacción de <i>Amaranthus palmeri</i> (2) con	Parámetros de la ecuación hiperbólica	
	<i>I</i>	<i>A</i>
<i>Soja</i>	20	80
<i>Maíz</i>	20	100

³ Tiene en cuenta la fecundidad decreciente de las tres cohortes principales que exhibe esta especie (3)

⁴ Idem (3)

Las simulaciones no tienen en cuenta los efectos de:

- Las variaciones en la escala espacial.
- Las secuencias de diferentes cultivos. Sólo se ha considerado soja.
- El control de poblaciones durante los barbechos con herbicidas o el efecto de cultivos de cobertura, anteriores a la siembra de soja.
- Las eficacias diferenciales de herbicidas postemergentes debido a tamaños diferentes de la maleza, coberturas por canopeo del cultivo, etc.
- Los efectos demográficos sobre la maleza y/o reducción de la pérdida causada en el rendimiento mediante el manejo de los cultivos (aumento de Area Foliar Crítica, cambio en el cultivar con mayor Tasa de Crecimiento Relativo, reducción de la distancia entre surcos, etc.).



Addenda: El control o manejo de la redispersión de semillas por la cosechadora es central para el éxito de los programas de control de *Lolium sp.* en Australia.

La evolución generalizada de la resistencia múltiple de herbicidas en malezas anuales que infestan los campos australianos ha agotado dramáticamente las opciones de herbicidas disponibles, promoviendo forzosamente el desarrollo de estrategias alternativas o complementarias para el control de malezas. Un enfoque ampliamente adoptado en la actualidad en los sistemas de cultivos de Australia es el conocido como "Control de semillas de malezas a la cosecha (= *Harvest Weed Seeds Control*) (15) y apunta a evitar la reposición del banco de semillas ("control de dispersión"), una de las tácticas consideradas en este trabajo.



Rosario, septiembre 25, 2017.

Se autoriza su difusión con mención de la fuente.