

EL MODO DE ACCIÓN DE LOS HERBICIDAS

Ing. Agr. M.Sc. Juan Carlos Papa
Protección Vegetal, Manejo de Malezas
EEA Oliveros del INTA (Centro Regional Santa Fe)

INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos de la agricultura, hace diez mil años, hasta mediados del siglo veinte, el arado y la azada, han sido los únicos medios empleados con intensidad para el control de las malezas. Otros métodos tenían una aplicación muy limitada. A través del descubrimiento de los herbicidas orgánicos, se produjo en pocas décadas un avance en el control de las malezas que superó ampliamente el logrado durante varios siglos. En la actualidad las estrategias de manejo de malezas se basan casi exclusivamente en el empleo de herramientas químicas y una de las razones de este predominio radica en la relativa simplicidad de la tecnología, lo cual puede llegar a dar una falsa impresión de que no es necesario conocer sobre ella para alcanzar el éxito, no obstante el conocimiento sobre el funcionamiento de los herbicidas nos puede brindar una base de racionalidad para su uso seguro, económico, eficaz y sustentable contribuyendo, de este modo, a reducir el impacto ambiental y los riesgos de tolerancia y de resistencia a herbicidas.

El modo de acción de los herbicidas se lo puede definir como la secuencia completa de eventos en los que éstos intervienen, que culmina provocando algún daño en la planta. Este incluye al mecanismo de acción que es la interferencia bioquímica o biofísica causada por un herbicida que determina el daño final a la planta y tiene lugar en el sitio de acción.

Para que un herbicida actúe las gotas que los transportan deben, primeramente, impactar en el blanco de la aplicación y ser retenidas por este; luego debe absorberse, moverse hacia el sitio de acción y alcanzar allí una concentración tal que permita que se desarrolle el mecanismo de acción.

ABSORCIÓN

La absorción puede ser definida como el pasaje del herbicida desde el medio externo al medio interno de la planta, ésta puede efectuarse a través del follaje o a través de órganos subterráneos cuyo principal representante es el sistema radicular.

En el caso de la absorción foliar, la primera barrera que debe atravesar el herbicida es la cutícula que está constituida principalmente por ceras y cutina y cumple una función protectora. El mecanismo de absorción foliar es la difusión pasiva sin gasto de energía y la magnitud del mismo va a depender del coeficiente de partición del herbicida (K_{ow}); de la temperatura; del gradiente de concentración; de las condiciones ambientales y de la formulación y/o del empleo de coadyuvantes.

Las raíces cuentan con barreras a la absorción de los herbicidas similares a las de las hojas no obstante, a juzgar por el ritmo y la cantidad de

herbicida absorbido, la epidermis de las raíces sería más permeable a los herbicidas que la de las hojas en especial en los 5-50 mm, a contar desde el ápice radicular. Respecto a los mecanismos de absorción radicular, numerosos estudios indican que se produce una absorción inicial rápida se debería a un movimiento pasivo en los espacios internos libres y una posterior más lenta y continua que se realizaría con un gasto de energía.

TRANSPORTE

Una vez que la absorción se ha completado, los herbicidas pueden actuar en las proximidades del lugar donde fueron aplicados o ser transportados más o menos lejos o de ambas maneras a la vez.

Los herbicidas se movilizan dentro de la planta a través del sistema simplasto que es el continuum formado por el citoplasma, plasmodesmos y floema. Los herbicidas móviles en esta vía y que son absorbidos por las hojas, se mueven junto con los fotoasimilados hacia los sitios que constituyen destinos de los mismos como los meristemas, raíces, rizomas, bulbos, frutos, semillas, etc. Otra vía de transporte es el apoplasto que es el continuum formado por los espacios intercelulares, paredes celulares y xilema. Los herbicidas que se movilizan por el apoplasto y que son absorbidos por las raíces se desplazan acrópetamente con la corriente transpiratoria. Cuando estos compuestos son absorbidos por las hojas, permanecen en el tejido tratado y tienen acción de contacto; a modo de ejemplo, podemos citar a la atrazina

CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE HERBICIDAS

En la tabla 1 se resumen las características relacionadas con el modo de acción de los principales grupos de herbicidas:

DOSIS, MODO DE ACCIÓN y PREVENCIÓN de DERIVA**Tabla 1**

Grupo de herbicida	Mecanismo de acción	Herbicidas	Destino de la aplicación	Absorción	Transporte	Especies controladas
Reguladores de crecimiento o mimetizadores de auxinas	Desequilibrio hormonal, alteraciones en el crecimiento	2,4D MCPA Picloram Dicamba Etc.	Follaje	Hojas y en menor medida por raíces	Simplasto y apoplasto Sistémicos	Latifoliadas
Inhibidores de la biosíntesis de aminoácidos 1	Inhibición de la ALS	Imidazolinonas (p.e. imazetapir) Sulfonilureas (p.e. metsulfurón) Triazopirimidinas (p.e. flumetsulam)	Follaje y suelo	Hojas y raíces	Simplasto y apoplasto Sistémicos	Latifoliadas, gramíneas y ciperáceas
Inhibidores de la biosíntesis de aminoácidos 2	Inhibición de la EPSPs	Glifosato	Follaje	Hojas	Apoplasto y simplasto Sistémico	Latifoliadas, gramíneas y ciperáceas
Inhibidores de la biosíntesis de aminoácidos 3	Inhibición de la Gs	Glufosinato de amonio	Follaje	Hojas	Apoplasto Contacto	Latifoliadas, gramíneas y ciperáceas
Inhibidores de la síntesis de ácidos grasos	Inhibición de la ACCasa	Cletodim Haloxifop R metil Quizalofop P tefuril Etc.	Follaje	Hojas	Apoplasto y simplasto (limitado) sistémicos	Sólo gramíneas
Inhibidores de la fotosíntesis 1	Inhibición del fotosistema I	Bipiridilos: Diquat, Paraquat	Follaje	Hojas	Inmóviles Contacto	Latifoliadas, gramíneas y ciperáceas
Inhibidores de la fotosíntesis 2	Inhibición del fotosistema II no activos en el suelo	Bromoxinil Bentazon	Follaje	Hojas	Parcial apoplasto Contacto	Latifoliadas, Parcial ciperáceas.
Inhibidores de la fotosíntesis 3	Inhibición del fotosistema II activos en el suelo	Triazinas (p.e. atrazina) Ureas (p.e. diurón) Uracilos (p.e. bromacil)	Suelo y follaje	Raíces y hojas	Apoplasto Contacto	Latifoliadas Parcial gramíneas
Inhibidores de la síntesis de clorofila	Inhibición de PORTOX	Difeniléteres (p.e. lactofen) Fenilftalamida (p.e. flumioxazin) Triazolinonas (p.e. sulfentrazone)	Follaje y suelo	Hojas y raíces	Apoplasto (pobre) Contacto	Latifoliadas
Inhibidores de la biosíntesis de caroteno	Inhibición de PDS y HPPD	Fluorocloridona Diflufenicán Clomazone Isoxaflutole Mesotrione Topramezone	Suelo	Raíces	Apoplasto	Gramíneas y latifoliadas
Inhibidores de la formación de los microtúbulos	Inhibición de la polimerización de la α y β tubulina	Trifluralina Pendimetalina Dinitramina	Suelo	Raíces y brotes durante la emergencia	Prácticamente inmóviles	Gramíneas y latifoliadas
Inhibidores de la división celular y alargamiento celular	No totalmente conocido	Alaclor Metolaclor Acetoclor Dimetenamida	Suelo	Coleoptile e hipocótilo	Apoplasto parcial	Gramíneas y algunas latifoliadas
Inhibidores de la fosforilación oxidativa	No totalmente conocido	MSMA	Follaje	Hojas	Apoplasto y Simplasto	Gramíneas, latifoliadas y ciperáceas

ALGUNOS FACTORES DETERMINANTES DE LA EFICACIA DE LOS TRATAMIENTOS HERBICIDAS

Desde el momento que la gota que transporta al herbicida abandona la boquilla del equipo aspersor, deben atravesar una serie de barreras que determinan que su concentración sufra reducciones sucesivas pero, en la medida que se alcance una mayor concentración en el sitio de acción, mayor será también el impacto logrado; los factores que a

continuación se enumeran pueden afectar la consecución de ese objetivo.

TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN: para que un herbicida sea eficaz, en primera instancia, debe ser aplicado correctamente ya que errores en ese sentido (dosificación, calibración, etc.) son frecuentemente responsables de fracasos en el control de malezas.

OPORTUNIDAD DE APLICACIÓN: en general,

DOSIS, MODO DE ACCIÓN y PREVENCIÓN de DERIVA

las malezas anuales son más sensibles a un determinado producto en sus primeros estados de desarrollo. En la medida que las malezas se acercan a la etapa reproductiva son más tolerantes. La malezas bianuales presentan la mayor susceptibilidad en estado de roseta previo a la emisión del tallo floral. En el caso de las malezas perennes los herbicidas sistémicos deben aplicarse cuando se verifica el máximo movimiento de fotoasimilados hacia los órganos subterráneos y existe una adecuada superficie foliar para asegurar la entrada de la mayor cantidad posible del herbicida aplicado.

CALIDAD DEL AGUA EMPLEADA COMO VEHÍCULO: los cationes en solución pueden afectar negativamente la eficacia de herbicidas salinos, pero no de los ésteres; los cationes trivalentes son más antagónicos que los bivalentes y estos a su vez que los monovalentes. En la figura 1 puede apreciarse el efecto negativo de un agua con alto tenor de calcio sobre la eficacia de glifosato en sorgo de Alepo. Respecto al pH del agua, si bien se ha determinado que sales de 2,4D y dicamba penetran más fácilmente en medio ácido que alcalino, este efecto no puede extrapolarse a otros herbicidas como el glifosato el cual presenta 3 constantes de disociación y por lo tanto podría presentar comportamientos diferentes en respuesta al pH del agua; por otra parte es importante considerar el efecto tampón del propio glifosato así, partiendo de un agua de pozo de la EEA Oliveros INTA de pH 8 se alcanzó un valor de 5,6 para una concentración de glifosato de 360 g.e.a./100 litros de agua y 5,1 para una concentración de 1440 g.e.a./100 litros de agua. Las aguas provenientes de fuentes superficiales pueden contener arcilla y materia orgánica en suspensión las cuales pueden afectar negativamente a herbicidas como el glifosato, paraquat o diquat.

FORMULACIONES Y COADYUVANTES: un mismo principio activo puede ser formulado de diferentes maneras y modificar de ese modo su actividad biológica así, en general, los ésteres son más activos que las sales; del mismo modo la inclusión de aditivos específicos durante el proceso de formulación puede contribuir a diferenciar significativamente un herbicida. La eficacia de los herbicidas puede incrementarse a través de la incorporación al caldo de asperjado de coadyuvantes activadores que, en general, favorecen la penetración pero también el efecto activador podría deberse a su acción sobre la mezcla de tanque, sobre o en la superficie cuticular y también dentro de los tejidos vegetales (Figura 2). Es importante destacar que un mismo coadyuvante no necesariamente va a comportarse de la misma manera con distintos herbicidas y con distintas malezas.

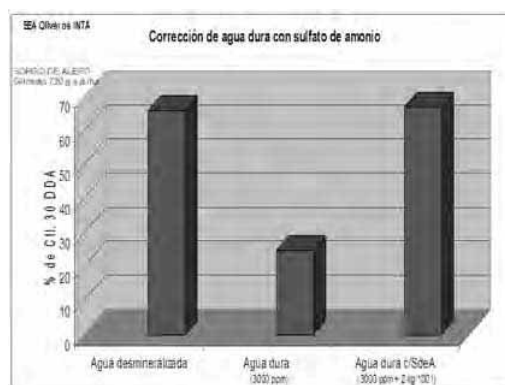


Figura 1: Efecto de la calidad del agua y de su corrección con sulfato de amonio sobre la eficacia de glifosato (720 g.e.a./ha) en sorgo de Alepo

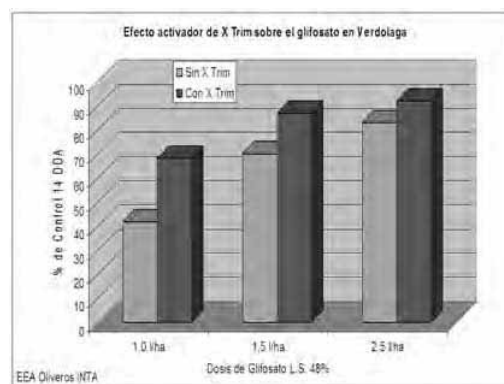


Figura 2: Efecto activador de un coadyuvante (X Trim) sobre glifosato en Portulaca oleracea

BIBLIOGRAFÍA

- Camacho, RF; Mosher, L.J. 1991. Absorption, translocation and activity of CGA-136872, DPX-V9360 and Glyphosate in rhizome Johnsongrass (Sorghum halepense. L. Pers). Weed Science. 39: 354-357.
- Cobb, A. 1992. Herbicides and Plant Physiology. Ch. 2. Chapman and Hall.
- Devine, M.D.; Duke, O. and Fedtke, C. 1993. Physiology of herbicide action. P.R.T. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey. EE.UU.
- Falcón, Luisa F. de y Papa, J.C. 2001. El modo de acción de los herbicidas y su relación con los síntomas de daño. EEA Paraná el INTA y EEA Oliveros del INTA. Centros Regionales Paraná y Santa Fe del INTA.
- Gauvrit, G. and Cabanne, F. (1993). Oils for weed control: Uses and Mode of Action. Pestic. Sci. 37 147-153.
- Griffin, J.L. 2005. AGRO 4070 Lecture Weed Science and the Environment Unknown mode of action Organic Arsenicals. LSU Ag Center. Chapter 23. <http://www.agronomy.lsu.edu/weedscience/AGRO4070/lectures/G Griffin.WeedCourse.Chapter23.2005.pdf>
- Gunsolus, J., and curran, W.S. 1994. Herbicide Mode of action and injury symptoms. North Central Regional Extension. EE. UU. Publication 337.
- Harz, J.; Guggenheim, R.; Schulee, G. and Falk, R. H. (1991). The leaf surface of mayor weeds. Weeds. Sandoz Agro Ltd.
- Klingman, G.C., (1980). Estudio de las plantas nocivas. Principios y prácticas. Cap.3, p. 58-74. Editorial Limusa. México.
- Kogan, M. y Pérez, A. 2003. Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Papa, J.C y Massaro, R.A. 1999. Evaluación de la fitotoxicidad sobre maíz de nicosulfurón aplicado solo y en mezcla con clorpirifos. Maíz, Para mejorar la producción, número 10. EEA Oliveros INTA. Pp. 63-66.
- Victoria Filho, R. (1985). Fatores que influenciam a absorcao foliar dos herbicidas. Controle de Plantas Daninhas- II. Inf.Agropecuaria, Belo Horizonte.
- Vidal, R.A. 1997. Herbicidas: Mecanismos de Acao e Resistencia de Plantas. Biblioteca Setorial da facultade de Agronomia da UFRGS.
- Vitta, J.; Faccini, D.; Leguizamón E.; Nisensohn, L.; Papa, J.C.; Puricelli, E. y Tieska D. 2004. Herbicidas Características y Fundamentos de su Actividad. UNR Editora.