



Memoria del Curso de Actualización en Manejo de la Maleza

20 y 27 de noviembre de 2021



En línea



SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DE LA MALEZA

MESA DIRECTIVA 2020-2022

Hugo Enrique Cruz Hipólito
Presidente

Oscar Liedo Granillo
Vicepresidente

José Alfredo Domínguez Valenzuela
Secretario

Enrique Rosales Robles
Tesorero

Luis Miguel Tamayo Esquer
Vicepresidente Pacífico

Sergio Hernández Rodríguez
Vicepresidente Norte

Juan Carlos Delgado Castillo
Vicepresidente Occidente

Juan Lorenzo Medina Pitalúa
Vicepresidente Sur

Valentín Alberto Esqueda Esquivel
Consejo Técnico

Felipe Montes de Oca
Vocal de Gestión y Relaciones Públicas

Irma López Muraira
Vocal de Capacitación, Difusión y Vínculo Institucional

Tomás Medina Cázares
Publicaciones

Comité Editorial:

Juan Carlos Delgado Castillo

Enrique Rosales Robles

Juan Carlos Delgado Tinoco

ÍNDICE

Título	Página
PRINCIPALES FAMILIAS BOTÁNICAS DE MALEZAS EN MÉXICO	4
NUEVA CLASIFICACIÓN DE LOS HERBICIDAS POR SU MECANISMO DE ACCIÓN	15
ESTABLECIMIENTO, CONDUCCIÓN Y ANÁLISIS DE ENSAYOS DE EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE HERBICIDAS	40
APLICACIÓN EFICIENTE DE HERBICIDAS	56
DETECCIÓN Y CONFIRMACIÓN DE MALEZAS RESISTENTES A HERBICIDAS	71

PRINCIPALES FAMILIAS BOTÁNICAS DE MALEZAS EN MÉXICO

Juan Carlos Delgado Castillo

Novus Consultoría y Servicios Especializados, S.C.

novus.cse1@gmail.com

A lo largo del ciclo de producción de las plantas con fines de obtención de satisfactores alimenticios, forrajeros, de vestido, industrial, vivienda, etc., los productores se enfrentan a enemigos naturales de diversa índole como parte de la cadena trófica, desde el ataque de insectos, ácaros, hongos, bacterias, virus, viroides, nematodos y efectos directos por la competencia con otras plantas. Una vez que se modifican los ambientes naturales para dedicarlos a la siembra, se presenta un desplazamiento de especies que por años habitaban esos espacios y paulatinamente solo quedarán aquellas con mayores capacidades de adaptación a ese ambiente modificado.

De los problemas fitosanitarios arriba indicados que afectan a los cultivos, las plantas que crecen en las parcelas de siembra y sus alrededores y que ejercen una competencia directa con las plantas de interés por la disponibilidad de agua, luz, nutrientes y espacio, se les suele denominar "MALEZAS". Esta es una definición meramente agronómica y de ningún modo pretende ocultar las cualidades, propiedades o usos que estas plantas pueden tener en otras áreas o sectores.

El hecho de que la producción completa de un cultivo puede ser severamente afectada por la competencia con las malezas, es tema de estudios profundos dentro de la Ciencia de la Maleza, sobre todo los referentes a biología y ecología de la flora local, competencia, manejo, resistencia, impacto a la salud humana y animal, toxicidad, efectos ambientales de los esquemas de manejo, entre otros.

Independientemente de nuestro cultivo de interés, se debe poner especial atención al suelo destinado a la siembra o trasplante, ya que el historial de uso definirá los efectos supervinientes, ya sea con problemas sencillos o complejos de malezas dependiendo del banco de semillas. Aunque desde el punto de vista ecológico, la presencia de un mayor número de especies en un espacio de suelo determinado es benéfico para las diferentes cadenas tróficas, desde la óptica productiva no necesariamente esto es lo más adecuado (Figura 1). La presencia de altas poblaciones de malezas de unas cuantas especies o de muchas en el mismo sitio, prácticamente hacen que el desarrollo del cultivo sea totalmente limitado y al final, no se obtendrá el producto esperado (granos, frutos, hojas, tallos, flores o semillas).

A nivel productivo, tanto los agricultores como los técnicos que les brindan asesoría enfrentan una problemática severa generada por la maleza, pero que en muchos casos no es tomada en cuenta seriamente o bien, le dan prioridad a los ataques de insectos y hongos u otras plagas y hasta el final se enfoca la atención a las malezas.

Quizás sea ese desconocimiento o la complejidad que implica el manejo de estas plantas, lo que ha impedido el acceso a la información que ya se ha generado o que debería generarse para atender esa importante área.



Figura. 1 Parcelas de alfalfa altamente infestadas con dos o más especies de malezas.

Las dificultades empiezan cuando no hemos sido capaces de reconocer siquiera las especies que compiten con los cultivos cuando se encuentran totalmente desarrolladas y mucho menos en etapa de plántula o de semilla. Esta carencia de conocimientos genera en muchos escenarios, fallas de control, mayor contaminación ambiental y pérdidas de rendimiento.

Se dice coloquialmente que “hay que conocer al enemigo para saber cuales son sus puntos débiles”, esta frase aplica perfectamente al manejo de la maleza, toda vez

que a pesar de saber que las medidas inoportunas de control generarán escapes de plantas que, a la postre, competirán agresivamente con nuestro cultivo, seguimos retardando la ejecución de planes de manejo, por lo que la recarga del banco de semillas de los suelos seguirá incrementándose.

En términos de manejo de malezas se aplica un concepto fundamental y que de hecho se puede observar en diversos documentos como informes técnicos, folletos, etiquetas de productos químicos, páginas de internet y otros, donde claramente una recomendación común es que las medidas de control se realicen o apliquen cuando la maleza está en desarrollo activo con no más de 10 cm de altura. El simple hecho de seguir esta recomendación nos generaría los resultados adecuados, pero en la práctica esto no sucede, ya que dichas medidas se aplican en muchos casos, desfasadas, con maleza de más de 10 cm, por lo que esas medidas fallarán, no porque no funcionen en sí mismas, sino porque la maleza también ha evolucionado, de tal forma que se ha adaptado a los cambios que se realizan dentro del proceso de producción.

Antes de hablar de medidas de manejo de malezas debemos hablar de las especies presentes en nuestras parcelas, reconocerlas por sus características morfológicas, conocer la biología básica, ciclos reproductivos, tolerancia o susceptibilidad a diferentes factores o prácticas, etc. Una vez que las tenemos reconocidas, podemos entonces hablar de los famosos planes de manejo.

De manera general, se pueden encontrar malezas ampliamente distribuidas en diferentes zonas agroecológicas, pero algunas están más restringidas a ciertas áreas con condiciones ambientales particulares. En ambas situaciones, se pueden tener especies muy agresivas, pero es más común que las que están ampliamente distribuidas también sean las más dañinas. Adicional a lo anterior, las malezas han ido invadiendo paulatinamente ambientes que anteriormente no les eran favorables; es decir, especies de áreas tropicales ahora se pueden localizar en áreas templadas o secas como el zacate Johnson (*Sorghum halepense*) o el zacate de agua (*Echinochloa* spp.).

Dentro de las familias de plantas donde se ubican las malezas más importantes de los cultivos, se tienen principalmente:

- Asteraceae: girasoles, lampotes, flores amarillas (figura 2A)
- Poaceae: pastos o zacates en general (figura 2B)
- Euphorbiaceae: lechosas (figura 2C)
- Cyperaceae: coquillos (figura 2D)
- Brassicaceae: mostacillas, rábanos (figura 2E)
- Amaranthaceae: quelites o bledos (figura 2F)
- Chenopodiaceae: quelites cenizos (figura 2G)
- Cucurbitaceae: chayotillos (figura 2H)
- Polygonaceae: lenguas de vaca (figura 2I)
- Convolvulaceae: glorias de la mañana, quiebraplatos (figura 2J)
- Fabaceae: tronadoras, carretilla, alfalfa, tréboles (figura 2K)

- Solanaceae: mala mujer, trompillos, toloaches (figura 2L)



Figura 2. Familias representativas de malezas comunes.

Especies de malezas comunes

A pesar de la complejidad que implica la identificación de las plantas, existen actualmente muchas herramientas que nos permiten hacer un reconocimiento fidedigno. Desde luego que los más importantes son los herbarios con especialistas en cada familia, pero que no son muchos y no necesariamente están accesibles. Las obras impresas son fuentes muy importantes, pero la información disponible en la web hace que nuestro trabajo ahora sea menos complicado. Una fuente muy importante que está enfocada exclusivamente a este tema en nuestro país es la página de MALEZAS DE MÉXICO, de la Dra. Heike Vibrans, que se puede localizar en el sitio web de la CONABIO, misma que contiene unas 850 especies:

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>.

En esta misma página se pueden encontrar ligas a otras fuentes importantes de publicaciones sobre la flora regional como:

- Flora Mesoamericana
- Flora Fanerogámica del Valle de México
- Flora del Bajío
- Flora de Veracruz
- Flora de Guerrero
- Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán
- Flora de Jalisco
- Flora de la Península de Yucatán

Del mismo modo, a nivel internacional existe una gran cantidad de sitios donde se puede encontrar información e imágenes de especies de interés e importancia agrícola localizadas en México.

La introducción al entendimiento de la flora local tiene que estar precedida de muestreos, de observaciones morfológicas, del comportamiento, de la biología, de la susceptibilidad a condiciones ambientales y de manejo, entre otras. De acuerdo con la experiencia propia, en un cultivo normal a nivel regional se pueden localizar hasta 100 especies diferentes, pero generalmente los daños los ocasionan no más de 10-15 especies, por lo que nuestro alcance o necesidades se reducen significativamente. Podemos empezar a trabajar en cultivos muy específicos y paulatinamente incursionar en otros para incrementar el acervo técnico.

El siguiente listado de malezas incluye las más comunes en las diferentes zonas productoras del país:

- *Aldama dentata* (fresadilla)
- *Amaranthus palmeri* (quelite rojo)
- *Anoda cristata* (quesitos)
- *Argemone ochroleuca* (chicalote)
- *Avena fatua* (avena silvestre)
- *Bidens odorata* y *B. pilosa* (aceitilla)
- *Brachiaria plantaginea* (zacate brillante)
- *Brassica nigra* (mostacilla)
- *Capsella bursa-pastoris* (bolsa de pastor)
- *Cenchrus echinatus* (zacate cadillo)
- *Chenopodium album* (quelite cenizo)
- *Chenopodium murale* (quelite hediondo)

- *Chloris chloridea* (zacate navajita)
- *Chloris virgata* (zacate escobilla)
- *Commelina coelestis* (tripa de pollo)
- *Convolvulus arvensis* (correhuela)
- *Crotalaria pumila* (tronadora)
- *Cuscuta* spp. (fideo)
- *Cynodon dactylon* (zacate grama)
- *Cyperus esculentus* y *C. rotundus* (coquillo)
- *Dactyloctenium aegyptium* (zacate egipcio)
- *Datura stramonium* (toloache)
- *Echinochloa colona* (zacate pinto)
- *Echinochloa crus-galli* (zacate camalote o de agua)
- *Eleusine indica* (zacate pata de gallo)
- *Eragrostis mexicana*
- *Flaveria trinervia*
- *Ixophorus unisetus* (zacate pitillo)
- *Lepidium virginicum* (lentejilla)
- *Leptochloa panicea*
- *Lopezia racemosa* (aretillo)
- *Malva parviflora* (malva común)
- *Medicago polymorpha* (carretilla)
- *Melampodium divaricatum* y *M. perfoliatum* (flor amarilla)
- *Melilotus indica* (trebolillo)
- *Melinis repens* (pasto rosado)
- *Melochia pyramidata*
- *Panicum maximum* (pasto guinea)
- *Parthenium hysterophorus* (amargosa)
- *Phalaris minor* y *P. paradoxa* (alpistillo)
- *Plantago lanceolata* y *P. major* (llantén)
- *Polygonum aviculare* (sanguinaria)
- *Polygonum convolvulus* (correhuela anual)
- *Portulaca oleracea* (verdolaga)
- *Rottboellia cochinchinensis* (zacate caminador)
- *Rumex crispus* (lengua de vaca)
- *Setaria adhaerens* (zacate pegarropa)
- *Sicyos deppei* (chayotillo)
- *Sida rhombifolia* (huinare)
- *Simsia amplexicaulis* (acahual)
- *Solanum americanum* (hierba mora)
- *Solanum elaeagnifolium* (trompillo)
- *Solanum rostratum* (mala mujer)
- *Sonchus oleraceus* (lechuguilla)
- *Sorghum halepense* (zacate Johnson)
- *Taraxacum officinale* (diente de león)
- *Tithonia tubiformis* (gigantón)
- *Tridax procumbens*
- *Xanthium strumarium* (cadillo)

Malezas comunes de los cultivos



Aldama dentata



Amaranthus palmeri



Anoda cristata



Argemone ochroleuca



Avena fatua



Bidens odorata



Bidens pilosa



Brachiaria plantaginea



Brassica nigra



Capsella bursa-pastoris



Cenchrus echinatus



Chenopodium album



Chenopodium murale



Chloris chloridea



Chloris virgata



Commelina coelestis



Convolvulus arvensis



Crotalaria pumila



Cuscuta spp.



Cynodon dactylon



Cyperus esculentus



Cyperus rotundus



Dactyloctenium aegyptium



Datura stramonium



Echinochloa colona



Echinochloa crus-galli



Eleusine indica

*Eragrostis mexicana**Flaveria trinervia**Ixophorus unisetus**Lepidium virginicum**Leptochloa panicea**Lopezia racemosa**Malva parviflora**Medicago polymorpha**Melampodium divaricatum**Melampodium perfoliatum**Melilotus indica**Melinis repens**Melochia pyramidata*



Panicum maximum



Parthenium hysterophorus



Phalaris minor



Phalaris paradoxa



Plantago lanceolata



Plantago major



Polygonum aviculare



Polygonum convolvulus



Portulaca oleracea



Rottboellia cochinchinensis



Rumex crispus



Setaria adhaerens



Sicyos deppei



Sida rhombifolia



Simsia amplexicaulis



Solanum americanum



Solanum elaeagnifolium



Solanum rostratum



Sonchus oleraceus



Sorghum halepense



Taraxacum officinale



Tithonia tubiformis



Tridax procumbens



Xanthium strumarium

NUEVA CLASIFICACIÓN DE LOS HERBICIDAS POR SU MECANISMO DE ACCIÓN

Enrique Rosales-Robles¹
Valentín A. Esqueda-Esquivel²

¹Asesor en Manejo de Malezas y miembro de SOMECIMA.
enrique_77840@yahoo.com

²Investigador en Manejo de Malezas. Campo Experimental Cotaxtla.
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
esqueda.valentin@inifap.gob.mx

INTRODUCCIÓN

El propósito de la agricultura es reproducir una especie vegetal de interés en un ambiente propicio para su desarrollo. Esto no ocurre en la naturaleza, en la que ninguna especie vegetal es capaz de explotar totalmente los recursos de un hábitat. Por esto, desde el inicio de la agricultura los productores han luchado por eliminar a las plantas diferentes al cultivo en explotación y que son conocidas como malas hierbas o malezas (Chandler y Cooke, 1992).

Se estima que el 37% de la producción agrícola mundial se pierde por el manejo inadecuado de insectos y ácaros (13%), patógenos (12%) y malezas (12%) a pesar de las medidas de control utilizadas, incluyendo el uso de plaguicidas (Pimentel., *et. al.*, 2003). Sin embargo, el daño potencial que causan las malezas si no son manejadas adecuadamente, puede llegar al 35% de la producción agrícola y supera ampliamente a los daños potenciales que causan los insectos y otros animales con 18% y los patógenos con 16% (Oerke, 2006).

El manejo integrado de malezas hace énfasis en la conjunción de medidas para anticipar y manipular las poblaciones de maleza, en lugar de reaccionar con medidas emergentes de control cuando se presentan infestaciones fuertes (Dieleman y Mortensen, 1997). El manejo integrado de malezas debe incluir prácticas para el control de las poblaciones existentes y prevenir la producción de nuevos propágulos para reducir la emergencia de maleza en los cultivos.

El manejo integrado de malezas debe estar basado en la diversidad de prácticas para que sea sostenible. Dichas prácticas pueden ser el uso de labores mecánicas antes y después de la siembra de los cultivos, el manejo del cultivo para hacerlo más competitivo hacia las malezas, el uso de agentes de control biológico de malezas y el uso de herbicidas.

El uso adecuado de herbicidas en la agricultura requiere de conocimientos técnicos para lograr un control efectivo de las malezas objetivo, selectividad al cultivo,

residualidad limitada del herbicida en el suelo para que no afecte a cultivos sembrados en rotación, evitar daños a cultivos vecinos y que su uso sea seguro para el ambiente y el personal que los aplique en campo.

NOMENCLATURA DE LOS HERBICIDAS

Generalmente existe confusión al referirse al nombre de un herbicida. La etiqueta de un herbicida contiene tres nombres: el nombre químico, el nombre común y el nombre comercial. Por ejemplo, el herbicida vendido con el nombre comercial de Gesaprim®, tiene el nombre común de atrazina, que es su ingrediente activo, y el nombre químico 6-cloro-N-etil-N'-(1-metiletil)-1,3,5, triazina-2,4-diamina. El nombre común es el nombre genérico dado al ingrediente activo y está aprobado por autoridades acreditadas, como la Weed Science Society of America (WSSA) y la International Organization for Standardization (ISO), y el nombre químico describe la composición química del herbicida (Caseley, 1996). Las empresas de agroquímicos usan el nombre comercial para promocionar la venta de su marca y comúnmente es el nombre más conocido de un herbicida.

Los fabricantes de agroquímicos obtienen una patente para su herbicida antes de su introducción al mercado, y tienen el uso exclusivo del mismo durante los 20 años que siguen a la aprobación de la patente (Caseley, 1996; Murphy, 1999). Después de que expira esta patente, otras compañías pueden elaborar herbicidas con el mismo ingrediente activo, pero con nombres comerciales diferentes. En 2018, el mercado mundial de agroquímicos comprendió 40% de productos con patente y 60% de productos genéricos (Global Information Inc. 2020). Además, existen herbicidas que consisten de la mezcla de dos o más ingredientes activos, por lo que es importante conocer sus nombres comunes.

Los herbicidas se comercializan en formulaciones líquidas o sólidas dependiendo de la solubilidad en agua del ingrediente activo y de su forma de aplicación. La formulación del herbicida se indica en la etiqueta del producto y se designa por una o varias letras después del nombre comercial. En la etiqueta del herbicida también se indica la cantidad de ingrediente activo en porcentaje y en gramos de ingrediente activo por litro o kilogramo del producto comercial.

CLASIFICACIÓN DE LOS HERBICIDAS

Los herbicidas se pueden clasificar de acuerdo a su época de aplicación, selectividad, tipo, familia química y modo de acción.

Época de aplicación

De acuerdo a su época de aplicación, los herbicidas se pueden clasificar en forma general como preemergentes (PRE) y postemergentes (POST). Generalmente, los herbicidas PRE se aplican después de la siembra, pero antes de la emergencia de

las malezas y el cultivo, y requieren de un riego o precipitación para situarse en los primeros 3 a 5 cm de profundidad del suelo, donde germina la mayoría de las semillas de malezas. Este tipo de herbicidas elimina a las malezas después de su germinación o bien recién emergidas, lo que evita la competencia temprana con el cultivo. Generalmente, la semilla de los cultivos se coloca por debajo de la zona de suelo con alta concentración de herbicida, y la selectividad al cultivo puede ser tanto posicional como fisiológica. Los herbicidas PRE presentan una gran interacción con algunas características del suelo como son: textura, pH y materia orgánica, las cuales pueden afectar la cantidad de herbicida disponible en el suelo para controlar las malezas. Normalmente la dosis de este tipo de herbicidas se ajusta de acuerdo a la textura del suelo y a la concentración de materia orgánica, requiriéndose una mayor dosis en suelos arcillosos y con alto contenido de materia orgánica (Anderson, 1996).

Los herbicidas POST se aplican después de la emergencia de la maleza, antes o después de la emergencia del cultivo. En la mayoría de los casos, la aplicación de herbicidas POST se debe realizar sobre malezas en sus primeros estados de desarrollo, cuando son más susceptibles a éstos y su competencia con el cultivo es mínima. Las aplicaciones de herbicidas POST pueden ser más económicas para el productor, ya que se utilizan sólo donde se presenta la maleza. La actividad de los herbicidas POST depende de factores como su grupo químico, especies y estado de desarrollo de las malezas y condiciones de clima, como velocidad del viento, temperatura del aire, humedad relativa y presencia de lluvia (Buhler, 1998).

Selectividad

Los herbicidas se pueden clasificar como selectivos y no selectivos. Los herbicidas selectivos son aquellos que a ciertas dosis, formas y épocas de aplicación eliminan a algunas plantas sin dañar significativamente a otras; por ejemplo, atrazina es un herbicida selectivo en maíz y sorgo. En algunos casos, un herbicida puede ser selectivo a algunas variedades de un cultivo, pero no a otras, como nicosulfurón en maíz (O'Sullivan *et al.*, 2000). Por otra parte, los herbicidas no selectivos actúan sobre toda clase de vegetación y se deben utilizar en terrenos sin cultivo, o bien evitando el contacto con las plantas cultivadas. El glifosato y el paraquat son ejemplos de herbicidas no selectivos (Caseley, 1996).

Tipo de acción

Los herbicidas pueden ser: 1. De contacto, los cuales afectan sólo a las partes de la planta cubiertas con la solución asperjada; tienen un transporte limitado dentro de la planta, por lo que se recomiendan para el control de maleza anual. 2.

Sistémicos, que se aplican al suelo o al follaje y son absorbidos y transportados a toda la planta, incluyendo sus raíces y otros órganos subterráneos. Debido a lo anterior, este tipo de herbicidas se utilizan principalmente para el control de maleza perenne (Ross y Lembi, 1985).

Familia química

Esta clasificación se basa en la composición de los diferentes ingredientes activos usados como herbicidas. Los herbicidas pertenecientes a una familia química tienen propiedades químicas similares, y generalmente tienen el mismo modo de acción (Retzinger y Mallory-Smith, 1997). Ejemplos de algunas de las principales familias químicas de herbicidas son: triazinas, dinitroanilinas, fenoxicarboxilatos, α -cloroacetamidas, ciclohexanodionas, sulfonilureas y piridinos (Hance y Holly, 1990).

Modo y mecanismo de acción

Aunque es común que los términos modo y mecanismo de acción de los herbicidas se usen como sinónimos, existen claras diferencias entre estos términos. El **modo de acción** se refiere a los eventos que provocan los herbicidas en las plantas tratadas, y el **mecanismo de acción** al sitio o proceso bioquímico específico afectado (Gunsolus y Curran, 1996; Baumann *et al.*, 1998). Los herbicidas se pueden clasificar según su modo y/o mecanismo de acción (Schmidt, 1997; Duke y Dayan, 2001). Los herbicidas con el mismo modo y/o mecanismo de acción tienen un comportamiento similar de absorción y transporte, y producen síntomas similares en las plantas tratadas (Gunsolus y Curran, 1996). Además, la clasificación de los herbicidas según su modo y mecanismo de acción, permite predecir, en la mayoría de los casos, su espectro de control de malezas, época de aplicación, selectividad a cultivos y persistencia en el suelo (Ashton y Crafts, 1981). Finalmente, este tipo de clasificación permite diseñar los programas de control químico de maleza más eficientes y evitar los posibles efectos negativos del uso de herbicidas, como la residualidad prolongada en el suelo, el cambio de especies de malezas y el desarrollo de biotipos de malezas resistentes a herbicidas (Regehr y Morishita, 1989; Heap, 2020).

Con fines prácticos, los herbicidas se clasifican (Gunsolus y Curran, 1996; Kapler y Namuth, 2004) en siete modos de acción:

- I. Reguladores de crecimiento
- II. Inhibidores de la síntesis de aminoácidos
- III. Inhibidores de la síntesis de lípidos
- IV. Inhibidores del crecimiento de plántulas
- V. Inhibidores de la fotosíntesis
- VI. Destruidores de membranas celulares
- VII. Inhibidores de pigmentos

Esta clasificación facilita el reconocimiento por sus síntomas por lo que es muy útil para técnicos y productores. Sin embargo, dado el gran problema del desarrollo de malezas resistentes a herbicidas, es necesario conocer también su mecanismo de acción. La clasificación de los herbicidas por su mecanismo de acción es considerada por la organización Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) y la WSSA como una herramienta básica para el manejo de la resistencia a herbicidas (Shaner, 2014; HRAC, 2020). A partir de 2020, tanto el HRAC como la WSSA usan la clasificación de herbicidas en 26 grupos, a los que asigna un número según su mecanismo de acción. Estos grupos pueden incluir varias familias químicas de herbicidas con el mismo mecanismo de acción. En Estados Unidos de América en la actualidad existen 329 ingredientes activos que se utilizan en la fabricación de más de 1000 herbicidas comerciales (WSSA, 2021). Mientras que el HRAC En México, existen 85 ingredientes activos en alrededor de 540 herbicidas comerciales (COFEPRIS, 2021). El HRAC registra 355 ingredientes activos en su nueva clasificación (HRAC, 2020).

Con el fin de lograr tanto un conocimiento práctico como científico de los herbicidas, a continuación, se describen los grupos, combinando su modo y mecanismo de acción. En algunos casos, el modo y mecanismo de acción son el mismo y en otros, un grupo por modo de acción puede incluir varios grupos por mecanismos de acción. Además, por facilidad, sólo se citan los grupos de herbicidas más comunes en la agricultura. En cada grupo se incluyen algunos ejemplos de los principales herbicidas que se comercializan en México, y en algunos casos, herbicidas que aún no se comercializan en nuestro país, pero que son importantes en su grupo.

I REGULADORES DEL CRECIMIENTO

Imitadores de Auxinas GRUPO 4 WSSA - HRAC

Los reguladores del crecimiento, conocidos también como imitadores de auxinas, incluyen a las familias químicas: fenoxicarboxilatos, benzoatos, piridincarboxilatos, piridiloxicarboxilatos, quinolina-carboxilatos, fenilcarbolicatos y pirimidinocarboxilatos (HRAC, 2020). Estos herbicidas actúan como auxinas sintéticas; aunque su mecanismo de acción no está bien definido, se sabe que afectan la plasticidad de la membrana celular y el metabolismo de ácidos nucleicos (Shaner, 2014) y alteran el balance hormonal de las plantas, que regula procesos como la división y elongación celular, la síntesis de proteínas y la respiración. Por lo anterior, también se conocen como “herbicidas hormonales” (Baumann *et al.*, 1998). El modo de acción de los reguladores del crecimiento incluye la epinastia o retorcimiento de pecíolos y tallos, la formación de callosidades y tumores, la malformación de hojas

y finalmente la necrosis y muerte de la planta. La acción de estos herbicidas es lenta, pues requiere de una a dos semanas para matar a las malezas. Esta clase de herbicidas se usan principalmente para el control de especies dicotiledóneas u “hojas anchas” anuales y perennes en cultivos de gramíneas. Una excepción es el 2,4-DB, que se utiliza para el control de hojas anchas en leguminosas. Los reguladores del crecimiento se absorben por hojas y raíces y se transportan por el floema y xilema. Su forma de aplicación principal es en POST al cultivo y las malezas (Sterling *et al.*, 2005).

La selectividad de esta clase de herbicidas se basa tanto en la absorción y transporte por las plantas tratadas, como en su estado de desarrollo, ya que las plantas son más susceptibles a los reguladores de crecimiento en épocas de intensa división celular (Peterson *et al.*, 2013), por lo que sólo son selectivos en cultivos de gramíneas como sorgo, maíz y trigo, en ciertas etapas vegetativas. Los síntomas de daño a gramíneas cultivadas incluyen el enrollamiento o “acebollamiento” de hojas, la “cristalización” de tallos (que se quiebran fácilmente), la curvatura de tallos, la fusión de raíces, la distorsión de espigas y la esterilidad de flores. Los daños de los reguladores de crecimiento se acentúan en períodos de alta humedad en el suelo y alta temperatura (Sterling *et al.*, 2005). Estos herbicidas son fácilmente acarreados por el viento a cultivos sensibles, por lo que se deben utilizar con extrema precaución. Los herbicidas de la familia de los fenoxicarboxilatos se formulan como ésteres o sales aminas. Los ésteres se absorben más fácilmente por las plantas y muestran mayor acción herbicida que las sales, pero son más volátiles, y pueden causar daños a cultivos sensibles por el acarreo de vapores, mientras que las sales amina tienen baja volatilidad. Además, después de aplicarlos, el equipo de aspersión se debe lavar cuidadosamente para evitar daños a otros cultivos sensibles, como chile, tomate, papaya, y particularmente algodón, que sufre daños significativos con sólo 1/2000 de la dosis comercial de 2,4-D y dicamba (Everitt y Keeling, 2009). En general, los imitadores de auxinas no dejan residuos en el suelo por un tiempo prolongado, que pudieran afectar la rotación de cultivos. Sin embargo, el picloram es soluble en agua y es persistente en el suelo, por lo que se debe evitar su uso en suelos arenosos con mantos freáticos poco profundos (Cavanaugh *et al.*, 1998).

GRUPO 4 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Fenoxicarboxilatos	2,4-D	Amina-6, Agramina, Hierbamina y otros	Arroz, caña de azúcar, maíz, sorgo, cereales

Benzoatos	Dicamba	Banvel, Fortune, Herbamba y otros	Maíz, sorgo, cereales
	Dicamba + 2,4-D	Banvel 12-24, Cirrus y otros	Maíz, sorgo, cereales, pastizales
Piridincarboxilatos	Picloram + 2,4-D	Artist, Tordón 101, Crosser, Defensa, Quro, Hacha y otros	Maíz, sorgo, pastizales
	Picloram + metsulfurón-metil	Prado	Pastizales
	Aminopirialid + 2,4-D	Pastar D, Tronador D, Trunker D	Pastizales
	Clopiralid	Sure Start (+acetoclor + flumetsulam)	Maíz
Piridiloxicarboxilatos	Triclopir	Garlon	Arroz, pastizales,
	Fluroxipir-meptil	Starane, Tomahawk	Pastizales
Piridincarboxilatos + Piridiloxicarboxilatos	Halauxifen metil + fluroxipir-meptil	Pixxaro	Trigo, cebada
	2,4-D + aminopirialid + fluroxipir meptil	Sendero, Pastar Ultra	Pastizales
	Aminopirialid + triclopir	Korte, Togar Max	Pastizales
Pyrimidincarboxilatos	Aminociclopiraclor	Method	Prados
Quinolincarboxilatos	Quinclorac	Facet	Arroz

II INHIBIDORES DE LA SÍNTESIS DE AMINOÁCIDOS

En este grupo por modo de acción existen tres grupos por mecanismo de acción: inhibidores de la enzima acetolactato sintasa (ALS); inhibidores de la enzima 5-enol-piruvil-shikimato 3-fosfato sintasa (EPSPS) e inhibidores de la enzima glutamina sintetasa (GS).

INHIBIDORES DE LA ACETOLACTATO SINTASA (ALS)

GRUPO 2 WSSA - HRAC

Los aminoácidos son esenciales para la formación de proteínas que se requieren para el desarrollo y crecimiento de las plantas. El mecanismo de acción de este grupo de herbicidas es la inhibición de la enzima acetolactato sintasa (ALS), también

conocida como acetohidroxiácido sintasa (AHAS), que cataliza la síntesis de los aminoácidos ramificados esenciales valina, leucina e isoleucina; por lo anterior, las plantas susceptibles que se aplican con estos herbicidas no producen proteínas y mueren, sin que se sepan exactamente las causas. A este grupo pertenecen las familias químicas: sulfonilureas, imidazolinonas, triazolinonas, triazolopirimidinas, sulfonanilidas y pirimidinilbenzoatos (HRAC, 2020). Los inhibidores de la ALS actúan sobre gramíneas y hojas anchas, que los absorben por raíces y hojas y mueren entre dos y cuatro semanas después de la aplicación. Los síntomas de daño de estos herbicidas incluyen: clorosis y necrosis de los meristemos o puntos de crecimiento, pérdida de la dominancia apical, inhibición de raíces secundarias y achaparramiento. En gramíneas, las hojas emergen del cogollo con arrugamiento y presentan clorosis o un aspecto traslúcido y desarrollan una coloración rojiza. En plantas de hoja ancha, se detiene el crecimiento, se presentan nervaduras rojas en el envés y puntos de crecimiento muertos, aunque las hojas basales permanecen verdes. Esta clase de herbicidas se utilizan para el control de malezas de hoja ancha y gramíneas en una gran variedad de cultivos. Su selectividad es fisiológica y radica en la velocidad en que las plantas tratadas lo metabolizan. Se pueden aplicar en presiembr, PRE o POST, pues se absorben por hojas y raíces, y se transportan por xilema y floema; sin embargo, el método de aplicación es específico para cada herbicida. Los herbicidas de este grupo se distinguen por el uso de dosis muy bajas (5 a 100 g/ha) y su baja toxicidad a humanos y otros mamíferos. Los inhibidores de la ALS presentan una alta residualidad en el suelo y pueden afectar a cultivos que se siembran en rotación. La actividad de las sulfonilureas se incrementa en suelos con pH mayor a 7.2, pudiendo ocasionar daños al cultivo tratado. Por otra parte, la aplicación de insecticidas organofosforados en un periodo de 15 días antes o después de la aplicación de sulfonilureas, reduce su selectividad en gramíneas (Baumann *et al.*, 1998).

GRUPO 2 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Sulfonilureas	Flazasulfuron	Katana	Caña de azúcar
	Furamsulfuron + iodosulfuron metil sodio	Maister	Maíz
	Halosulfuron metil	Sempra, Sandea	Maíz, sorgo, caña de azúcar
	Mesosulfuron metil + iodosulfuron metil sodio	Sigma Forte	Trigo

	Metsulfuron metil	Accurate, Aleado, Rometsol	Pastizales
	Metsulfuron metil + thifensulfuron metil	Accurate Max, Benox	Trigo
	Nicosulfuron	Accent, Sansón, ZeaMax y más	Maíz
	Nicosulfuron	Elumis (+ mesotrione)	Maíz
	Prosulfuron	Peak	Maíz, sorgo, trigo, cebada
	Rimsulfuro	Titus	Maíz
	Thifensulfuron metil	Harmony, Harass	Trigo, cebada
	Triasulfuron	Amber	Trigo, cebada
	Trifloxysulfuron sodio	Krismat (+ ametrina)	Caña de azúcar
	Tritosulfuron	Condraz (+ dicamba)	Maíz, trigo, cebada
Imidazolinonas	Imazamox	Sweeper Pro	Frijol
	Imazapic	Plateau	Cacahuete, caña de azúcar, agave
	Imazapir	Arsenal 240-A	Áreas sin cultivo
	Imazetapir	Pivot, Chamura y otros	Soya, cacahuete, alfalfa, frijol
Triazolopirimidinas	Pyroxsulam	Across	Trigo
	Flumetsulam	Sure Start (+acetoclor + clomepropid)	Maíz
Pirimidiniltiobenzoatos	Piritiobac sodio	Staple	Algodón
	Bispiribac sodio	Regiment	Arroz
Triazolininas	Flucarbazone sodio	Everest	Trigo
	Thiencarbazone metil	Adengo (+ isoxaflutole)	Maíz

INHIBIDORES DE AMINOÁCIDOS AROMÁTICOS POR LA ENZIMA EPSPS

GRUPO 9 WSSA - HRAC

En este grupo sólo se presenta el glifosato, herbicida POST y no selectivo, que no tiene acción residual, ya que se adsorbe rápidamente al suelo (Nissen *et al.*, 2005). El glifosato se usa ampliamente para el control de maleza perenne con reproducción vegetativa, ya que, al ser altamente sistémico, se transporta por toda la planta. Las plantas tratadas con este herbicida presentan clorosis, que se transforma en necrosis general entre una y dos semanas después de la aplicación. Los daños a sorgo y maíz por acarreo de glifosato se caracterizan por clorosis y coloración púrpura en las hojas del cogollo. El glifosato es el herbicida que más se vende en el mundo; en México su patente expiró en el año 2000, por lo que ahora existen más de 80 herbicidas comerciales elaborados con él; los más conocidos son: Faena, Coloso, Durango, Lafam, Rudo, Desafío y Glyphos.

El mecanismo de acción del glifosato es la inhibición de la enzima 5-enolpiruvilshikimato 3-fosfato sintasa (EPSPS, por sus siglas en inglés) en el ciclo metabólico del ácido shikímico, lo cual bloquea la producción de los aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina y triptófano (Nissen *et al.*, 2005). En 1996 se inició la comercialización de cultivos genéticamente modificados que mediante ingeniería genética cuentan con una enzima EPSPS modificada, insensible a este herbicida (Peterson *et al.*, 2013). El glifosato se inactiva en el suelo al adherirse a las arcillas y materia orgánica, por esta razón, es indispensable el uso de agua limpia para su aspersión, ya que, si se usa agua de ríos, arroyos y canales, ésta normalmente lleva partículas de suelo en solución a las que el glifosato se adhiere, disminuyendo su actividad herbicida. La presencia de sales en el agua también puede afectar su eficiencia, por lo que se sugiere adicionar sulfato de amonio al agua antes de agregar el herbicida. El sulfato de amonio “atrapa” las sales disueltas en el agua e impide que se agreguen al glifosato (Nissen *et al.*, 2005).

INHIBIDORES DE LA ENZIMA GLUTAMINA SINTETASA

GRUPO 10 WSSA - GRUPO H HRAC

Este grupo se constituye sólo por el glufosinato de amonio (también conocido como bialafos o fosfinotrocina), herbicida no selectivo con acción POST sobre maleza de hoja ancha y gramíneas, y sin actividad en el suelo. Las plantas que se tratan con este herbicida presentan clorosis entre tres y cinco días, después de la aplicación, la cual se transforma en necrosis en una a dos semanas. Su acción es básicamente de contacto ya que tiene un transporte limitado dentro de la planta. Su mecanismo de acción es la inhibición de la enzima glutamina sintetasa en el metabolismo del nitrógeno, la cual convierte el glutamato y amoniaco a glutamina. Al bloquear esta

enzima se acumula amoniaco en las plantas, lo que causa daños a la estructura de los cloroplastos, disminución de la fotosíntesis, y finalmente necrosis de los tejidos (Shaner, 2014). En México, su patente se venció hace algunos años y actualmente se comercializa con los nombres de: Finale Ultra, Galardón, Glufin, Invictus y otros.

III INHIBIDORES DE LA SÍNTESIS DE LÍPIDOS

INHIBIDORES DE LA SÍNTESIS DE LÍPIDOS POR INHIBICIÓN DE LA ENZIMA ACETIL COENZIMA A CARBOXILASA (ACCasa)

GRUPO 1 WSSA - HRAC

Los lípidos son ácidos grasos esenciales para mantener la integridad de las membranas celulares y son necesarios para el crecimiento de las plantas. Los inhibidores de la síntesis de lípidos a través de la enzima acetil-coenzima A carboxilosa (ACCasa) incluyen a las familias químicas: ariloxifenoxipropionatos, ciclohexanodionas y fenilpirazolininas (Devine *et al.*, 1993, HRAC, 2020). Estos herbicidas actúan sólo sobre gramíneas y su modo de acción es la detención del crecimiento, principalmente en las hojas del cogollo, que muestran clorosis, y luego enrojecimiento de hojas y tallos, para evolucionar posteriormente a necrosis. El daño de estos herbicidas se concentra en el tejido meristemático o punto de crecimiento del cogollo, el cual se necrosa y desprende con facilidad en una o dos semanas después de la aplicación. El daño a tejidos meristemáticos también se presenta en órganos vegetativos, por lo que los inhibidores de lípidos son efectivos para el control de gramíneas perennes. El mecanismo de acción de estos herbicidas es la inhibición de la ACCasa en la síntesis de lípidos o ácidos grasos (Walker *et al.*, 1989). La inhibición de los ácidos grasos presuntamente interrumpe la síntesis de fosfolípidos, que se utilizan en la construcción de nuevas membranas celulares que se requieren para el crecimiento celular (Shaner, 2014). Esta clase de herbicidas son usados principalmente para el control POST de zacates anuales y perennes en cultivos de hoja ancha. Sin embargo, el diclofop, el clodanifop y el fenoxaprop, de la familia de los ariloxifenoxipropiónicos, el tralkoxidim, de las ciclohexanodionas, y el pinoxaden de las fenilpirazolininas, se utilizan para el control de gramíneas en cereales, al existir pequeñas diferencias en la ACCasa del trigo, lo cual les otorga selectividad a estos herbicidas (Shaner, 2014). Además, algunos de estos herbicidas incluyen compuestos que aceleran el metabolismo en los cultivos y aumentan la selectividad al cultivo. La absorción de estos herbicidas es muy rápida y después de una hora la lluvia no afecta su acción. Requieren de la adición de surfactante o aceite agrícola para incrementar su absorción por las plantas y se deben aplicar en POST temprana sobre zacates en crecimiento activo. En el caso de zacates perennes, la aplicación se debe realizar antes del estado de “embuche o bota”. Su persistencia en el suelo es limitada y no afectan a cultivos sembrados en rotación. La selectividad de estos herbicidas es fisiológica, ya que la ACCasa de las dicotiledóneas es insensible a su acción. En el caso de herbicidas de este grupo

que se aplican en cereales, la selectividad se obtiene por el metabolismo del herbicida a compuestos no tóxicos.

GRUPO 1 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Ariloxifenoxipropionatos	Fluazifop-P-butil	Fusilade BIW	Soya, frijol, algodón y otros
	Quizalofop-P-tefuril	Pantera 3, Assure II	Papa y otros
	Clodinafop propargil	Topik Gold, Traxos (+ pinoxaden)	Trigo
	Haloxifop-R-metil éster	Galant Ultra	Papa
	Fenoxaprop-P-etil	Furore Super, Puma	Arroz, trigo
	Cyhalofop N-butil éster	Clincher EC	Arroz
Ciclohexanodionas	Sethoxidim	Poast	Ajo, alfalfa, algodón y mas
	Clethodim	Select Ultra, Cedrus y otros	Soya, algodón, alfalfa y otros
	Tralkoxidim	Grasp	Trigo, cebada
	Profoxidim	Aura	Arroz
Fenilpirazolinás	Pinoxaden	Axial, Traxos (+ clodinafop-propargyl)	Trigo, cebada

IV INHIBIDORES DEL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS

Los inhibidores del crecimiento de plántulas se dividen en dos grupos: inhibidores de crecimiento en radículas e inhibidores de crecimiento de brotes (Murphy, 1999). Estos herbicidas se aplican al suelo y actúan en las plántulas poco después de su germinación y antes de su emergencia, por lo que es común que sus efectos no sean visibles, ya que las plántulas dañadas no llegan a emerger. Los inhibidores del crecimiento de plántulas tienen muy poca actividad foliar y se aplican en presiembra o en PRE. En este grupo se incluyen varios grupos por mecanismo de acción: los inhibidores del ensamble de microtúbulos, los inhibidores de ácidos grasos de cadena muy larga y los inhibidores de la síntesis de celulosa. Además, en este grupo se incluye al herbicida bensulide (Prefar 480-E) con mecanismo de acción

desconocido (Grupo 0), que también impide la emergencia de malezas y se usa en hortalizas como brócoli, chile, jitomate y otras. El herbicida indaziflam (Alion) se incluye en este grupo, cuyo mecanismo de acción es la inhibición de síntesis de celulosa (Grupo 29). El indaziflam, de la familia química de las alquilazinas, es un herbicida PRE con acción en gramíneas y hojas anchas; tiene gran residualidad y un periodo de control de hasta 80 días. Se utiliza principalmente en caña de azúcar, plátano, manzano, vid, nogal y cítricos.

INHIBIDORES DEL ESAMBLADO DE MICROTÚBULOS

GRUPO 3 WSSA - HRAC

Incluyen a las familias químicas dinitroanilinas y ácidos benzoicos. El mecanismo de acción de estos herbicidas es la inhibición de la división celular, al afectar la alineación y estructura de los microtúbulos en la mitosis en las células en el proceso de germinación (Shaner, 2014). El modo de acción de estos herbicidas es la inhibición del desarrollo de radículas en las plántulas, que se hinchan al no poder alargarse. Las plántulas mueren por no poder absorber agua y nutrientes del suelo. Los inhibidores de raíces son más efectivos en el control de hojas anchas y zacates de semilla pequeña, ya que se concentran en los primeros centímetros del suelo (Gunsolus y Curran, 1986). Los cultivos y las malas hierbas de semilla grande sobreviven a la acción de estos herbicidas, debido a que sus brotes y raíces pueden crecer a través de la zona del suelo con alta concentración de herbicida. Las dinitroanilinas se absorben por los brotes y raíces, presentan poco o nulo transporte dentro de las plantas, y su selectividad es posicional. Además, su solubilidad en agua es muy baja, y en su mayoría son volátiles y degradables por la luz, por lo que se deben incorporar mecánicamente al suelo. Los daños de los inhibidores de raíces en los cultivos, incluyen la tumoración de las raíces, la ausencia de raíces secundarias y el engrosamiento de hipocótilos en dicotiledóneas.

GRUPO 3 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Dinitroanilinas	Etalfuralina	Sonalan	Calabacita, melón, pepino y sandía
	Trifluralina	Treflan, Archer, Trisan, Triflurex	Soya, algodón, alfalfa y otros
	Pendimetalina	Prowl, Patrol	Alfalfa, chile, cebolla, arroz, maíz y otros

Ácidos benzoicos	Clortal-dimetil ó DCPA	Dacthal	Hortalizas
------------------	------------------------	---------	------------

INHIBIDORES DE ÁCIDOS GRASOS DE CADENA MUY LARGA

GRUPO 15 WSSA - GRUPO K₃ HRAC

Los inhibidores de ácidos grasos de cadena muy larga incluyen a las familias químicas de las α -cloroacetamidas, α -oxiacetamidas, tiocarbamatos e isoxazolininas. El modo de acción de estos herbicidas es la inhibición del desarrollo de las plántulas en proceso de emergencia. El mecanismo de acción no está bien definido; se cree que afectan la síntesis de lípidos y proteínas en las plántulas, pero no impiden su germinación. Estos herbicidas son más efectivos en el control de hojas anchas y zacates de semilla pequeña, y algunos herbicidas de esta clase controlan ciperáceas (Caseley, 1996). Las α -cloroacetamidas se utilizan tanto en presiembra como en PRE. Requieren de lluvia o riego en los primeros ocho a 15 días después de su aplicación para que su acción sea óptima y su período de control se puede extender hasta por 15 semanas. Los cultivos y las malas hierbas de semilla grande sobreviven a la acción de estos herbicidas, debido a que sus brotes y raíces pueden crecer a través de la zona del suelo con alta concentración de herbicida. Estos herbicidas se absorben por los brotes de los zacates y las raíces de las hojas anchas y se transportan por el xilema hacia los puntos de crecimiento. Su selectividad es fisiológica, al transformar las plantas tolerantes estos herbicidas a compuestos no tóxicos, y posicional, al colocar el herbicida fuera de la zona de germinación de los cultivos (Shaner, 2014). Es común que las gramíneas cultivadas con tolerancia a estos herbicidas requieran el uso de protectores en la semilla para evitar sus daños. Los daños de los inhibidores de brotes en gramíneas, incluyen la distorsión de las hojas, que no pueden extenderse normalmente para crecer, así como hojas quebradizas y de color verde oscuro. En las malezas dicotiledóneas se observa el arrugamiento de hojas, la inhibición de crecimiento de la nervadura central, y en general, la falta de desarrollo de las plántulas. Los daños a los cultivos tratados con esta clase de herbicidas se incrementan si se presentan períodos de clima frío y húmedo (Anderson, 1996). Cuando se usan protectores en la semilla de los cultivos, la presencia de lluvias torrenciales después de la siembra puede lavar el protector y ocasionar el daño de estos herbicidas.

GRUPO 15 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
α-cloroacetamidas	Acetoclor	Acetogram, Harness, Surpass, Retina Pro	Maíz, algodón
	Acetoclor + atrazina	Harness Xtra, Keystone	Maíz
	Alaclor	Alanex	Algodón, cacahuete, maíz
	Dimetenamida	Frontier 2X	Maíz
	Dimetenamida + atrazina	Guardzman 2X	Maíz
	Metolaclor + atrazina	Primagram Gold	Agave, maíz, sorgo
	Petoxamida	Asgard	Maíz, agave
	Propisoclor	Proponit	Maíz, sorgo
	Dimetenamida	Frontier 2X	Maíz
	Dimetenamida + atrazina	Guardzman 2X	Maíz
α-Oxiacetamida	Flufenacet	Aspect	Sorgo
Isoxazolinas	Pyroxasulfone	Anthem Maxx (+ fluthiacet metil)	Maíz

V INHIBIDORES DE LA FOTOSÍNTESIS

En este grupo se encuentran los herbicidas que afectan las reacciones luminosas de la fotosíntesis en el fotosistema II.

INHIBIDORES DE LA FOTOSÍNTESIS EN EL FOTOSISTEMA II

GRUPOS 5 y 6 WSSA- HRAC

El mecanismo de acción de estos herbicidas es la inhibición de la fotosíntesis, al unirse a la proteína D1 en el fotosistema II en las membranas tilacoides de los cloroplastos. Lo anterior, bloquea el flujo de electrones y produce radicales superóxido que ocasionan la pérdida de clorofila al oxidar los lípidos, lo que finalmente causa clorosis o amarillamiento, y afecta la integridad de las membranas celulares, que ocasiona necrosis de los tejidos (Duke y Dayan, 2001). Los inhibidores de la fotosíntesis incluyen dos grupos, según el punto de enlace en la proteína D1: Grupo 5 con enlace en serina 264, que incluye las familias químicas triazinas, triazinonas, triazolinonas, fenilcarbamatos, uracilos, ureas y amidas y el Grupo 6 con enlace en histidina 215, con las familias químicas nitrilos, benzotiadizoles y fenilpiridazinas (Markwell *et al.*, 2005; Shaner, 2014; HRAC, 2020). Los inhibidores de la fotosíntesis se utilizan principalmente para el control de malezas de hoja ancha, pero también tienen efectos sobre gramíneas y se pueden clasificar en herbicidas móviles o sistémicos y herbicidas no-móviles o de contacto. Los inhibidores de la fotosíntesis móviles se aplican en PRE e incluyen a las familias químicas de las triazinas, triazinonas, ureas y uracilos y los no-móviles, se aplican en POST, y pertenecen a las familias químicas de los nitrilos, benzotiadizoles y amidas (Markwell *et al.*, 2005). El modo de acción de los inhibidores de la fotosíntesis PRE se caracteriza por la clorosis intervenial, o amarillamiento entre las nervaduras, que se transforma en necrosis de las plantas tratadas, empezando en los márgenes de las hojas. En los herbicidas inhibidores de la fotosíntesis POST de contacto, se presenta clorosis, que se transforma rápidamente en necrosis del tejido vegetal aplicado (Markwell *et al.*, 2005).

Los herbicidas sistémicos de este grupo se aplican en PRE y se transportan en las plantas por el xilema. Por lo anterior, los síntomas se manifiestan primero en las hojas más grandes y viejas, que consumen más agua. Estos herbicidas no previenen la emergencia de la maleza y su acción se manifiesta hasta que las plantas desechan sus cotiledones e inician la fotosíntesis. La selectividad de las triazinas y triazinonas se debe principalmente a su metabolismo por las plantas; en cambio, en las ureas y uracilos, la selectividad se debe principalmente a la ubicación del herbicida en el suelo, que debe estar fuera del área de absorción radical (Peterson *et al.*, 2013). La persistencia en el suelo de los herbicidas móviles de esta clase es excelente y pueden controlar malezas por varias semanas. Sin embargo, si el pH del suelo es superior a 7.2, la textura es arenosa o el contenido de materia orgánica es pobre, se pueden presentar daños a los cultivos tratados (Baumann *et al.*, 1998).

Grupo 5 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Triazinas	Atrazina	Aatrex 90, Atranova, Atraplex, Gesaprim y otros	Maíz, sorgo
	Atrazina + terbutrina	Atermix, DragoCombi, Gesaprim Combi	Maíz, caña de azúcar
	Ametrina	Ametrex, Gesapax, Novopax	Caña de azúcar
	Prometrina	Gesagard	Algodón, maíz, apio, chícharo
Triazinonas	Metribuzina	Sencor, Lexone, Metribuzin	Papa, tomate
	Hexazinona	Lucazinona, Hexakoor	Caña de azúcar
Triazolinonas	Amicarbazone	Orión, Pegaso	Agave, maíz
Uracilos	Bromacil	Hyvar X	Cítricos, piña
	Bromacil + diurón	Krovar	Agave, cítricos
Ureas	Diurón	Karmex, Cañex, Diurontac, Bazuka	Caña de azúcar, maíz
	Linurón	Afalón, Linurex, Linuron Plus	Zanahoria, tabaco y otros
Amidas	Propanil	Lanza 360, Pacora, Pantox	Arroz

Los herbicidas no-móviles de esta clase se aplican en POST y tienen un transporte limitado dentro de la planta, por lo que requieren un cubrimiento total de la misma. Por esta razón, para lograr un buen control se deben aplicar en malezas pequeñas (Baumann *et al.*, 1998). Estos herbicidas tienen una residualidad limitada en el suelo. La selectividad de los inhibidores de la fotosíntesis POST de contacto se basa en la capacidad de las plantas tolerantes de metabolizar estos herbicidas en compuestos no tóxicos. En algunas ocasiones causan quemaduras ligeras en las hojas de los cultivos tratados, sin afectar las hojas nuevas.

Grupo 6 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Benzotiadizinonas	Bentazona	Basagrán	Frijol, chícharo, soya, cacahuate, maíz y arroz

VI DESTRUCTORES DE MEMBRANAS CELULARES

Los destructores de membranas celulares incluyen a dos grupos: los desviadores de electrones en el fotosistema I, con sólo la familia química de los piridinios, que constituyen el Grupo 22 y los inhibidores de la enzima protoporfirinógeno oxidasa (PPO), una enzima en la biosíntesis de clorofila y grupos hemo (Markwell *et al.*, 2005) con las familias químicas: difeniléteres, fenilpirazoles, N-fenil-triazolinonas, N-fenil-oxadiazolones y N-fenil-imidas, que constituyen el Grupo 14. La acción principal de estos herbicidas es de contacto en POST y se activan al exponerse a la luz, para formar compuestos a partir del oxígeno, que destruyen las membranas celulares rápidamente y causan la necrosis de los tejidos. En este grupo también se incluyen a los herbicidas de contacto DSMA y MSMA cuyo mecanismo de acción es desconocido.

DESVIADORES DE ELECTRONES EN EL FOTOSISTEMA I

GRUPO 22 WSSA - HRAC

Los piridinios son herbicidas fuertemente catiónicos o con carga positiva, que en la presencia de la luz causan marchitez de las hojas en minutos, la cual evoluciona a clorosis y luego a necrosis en pocas horas. Debido a que se adsorben fuertemente al suelo, no tienen control PRE de maleza. El mecanismo de acción de los piridinios es la aceptación de electrones en el fotosistema I y la formación de compuestos de oxígeno que destruyen las membranas celulares (Duke y Dayan, 2001). El efecto de estos herbicidas es de contacto, por lo que en malezas perennes se limita a la parte aérea, y no se transporta a los órganos de reproducción vegetativa. Debido a que se inactivan en el suelo, estos herbicidas se utilizan mucho en sistemas de labranza de conservación para la eliminación de la vegetación, antes o inmediatamente después de la siembra, sin afectar la emergencia de los cultivos. Los piridinios no son selectivos, pero el paraquat se utiliza en cacahuate al momento de su emergencia, pues este cultivo tiene una cutícula gruesa que evita la penetración de este herbicida (Gunsolus y Curran, 1996).

GRUPO 22 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Piridinios	Paraquat	Anaquat, Antorcha Gramoxone y otros	Presiembra o en aplicación dirigida a malezas
	Paraquat + diurón	Ambos, Diroxon, Gramocil y otros	

	Paraquat + diquat	Doblete Super	
	Diquat	Reglone, Diguan, Evander	

INHIBIDORES DE LA ENZIMA PPO

GRUPO 14 WSSA - HRAC

Estos herbicidas tienen acción foliar y en el suelo y controlan principalmente malas hierbas de hoja ancha. Actúan en forma similar a los piridinios, pero con acción más lenta, ya que requieren de dos a tres días para eliminar a la maleza. Sus síntomas de daño incluyen la clorosis y posterior necrosis de hojas y tallos. En soya es común que el acifluorfen y el fomesafen causen un moteado de puntos necróticos en las hojas; sin embargo, las hojas nuevas no se dañan y el rendimiento no se afecta. La textura y el contenido de materia orgánica del suelo no afectan significativamente su actividad, por lo que pueden tener actividad PRE. Su mecanismo de acción es la inhibición de la enzima protoporfirinógeno oxidasa (PPO) en la biosíntesis de la clorofila, lo que origina la formación de derivados del oxígeno, como el oxígeno simple, el radical libre de hidroxilo y el peróxido de hidrógeno, que causan la destrucción de las membranas celulares, necrosis de tejidos, y finalmente la muerte de la planta (Kunert *et al.*, 1987).

GRUPO 14 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Difeniléteres	Oxifluorfen	Galigan, Goal, Prensil, Sifarfen, Trotzen	Cebolla, ajo, col, algodón, vid y otros
	Fomesafen	Flex BIW, Freeland, Dragoflex, Flekers	Frijol, Soya
N-fenil-triazolinonas	Sulfentrazone	Boral	Caña de azúcar, agave, tabaco
	Carfentrazone	Affinity, Veloz	Caña de azúcar, maíz, algodón
	Carfentrazone + 2,4-D	Focus	Maíz, sorgo, trigo
	Carfentrazone + glifosato	Candela Super	En pre-siembra de maíz, sorgo y hortalizas. Cítricos
N-fenil-oxadiazolones	Oxadiazon	Ronstar	Arroz, algodón, soya

N-fenil-imidas	Fluthiacet-metil +pyroxasulfone	Anthem Maxx	Maíz
	Saflufenacil	Heat, Detail	Maíz, trigo, cebada
	Saflufenacil + dimetenamida	Integrity	Maíz
	Flumioxazin	Sumimax, Gesapax Premax	Cebolla, ajo, vid, caña de azúcar, papa, manzano
Fenil-pirazoles	Piraflufen-etil	Kabuki	Cítricos

ARSENICALES ORGÁNICOS

GRUPO 0 WSSA - HRAC

Los herbicidas MSMA (metilarsonato monosódico) y DSMA (metilarsonato disódico) son herbicidas POST de contacto, que se utilizan para el control en aplicaciones dirigidas a zacates como *Digitaria sanguinalis*, *Paspalum dilatatum*, *Sorghum halepense*, y hojas anchas como *Xanthium strumarium* y *Helianthus annuus* en algodónero y césped como pasto Bermuda (Baumann *et al.*, 1998; Culpepper y York, 1998). Sus síntomas son similares a los de otros herbicidas destructores de membranas celulares, ya que causan clorosis, seguida de una rápida necrosis en las plantas. Sin embargo, en estos herbicidas los síntomas se observan primero en las puntas de las hojas, y los puntos necróticos están rodeados de un halo rojizo. Su mecanismo de acción y selectividad se desconocen (Baumann *et al.*, 1998; Shaner, 2014; HRAC, 2020). Estos herbicidas se adsorben a las arcillas y a la materia orgánica del suelo y no tienen actividad PRE (Baumann *et al.*, 1998).

FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
GRUPO 17 / Z			
Arsenicales orgánicos	MSMA	Gramopol, Novansar, Velconate, MSMA 480	Cítricos, caña de azúcar

VII INHIBIDORES DE LA SÍNTESIS DE PIGMENTOS

INHIBIDORES DE LA FITOENO DESATURASA (FD)

GRUPO 12 WSSA – HRAC

INHIBIDORES DE LA DESOXI-D-XILULOSA FOSFATO SINTASA (DXP)

GRUPO 13 WSSA – HRAC

INHIBIDORES DE LA 4-HIDROXIFENIL-PIRUVATO-DIOXIGENASA (HPPD)

GRUPO 27 WSSA – HRAC

Los pigmentos de las plantas son compuestos que absorben la luz en ciertas regiones del espectro visible. Las longitudes de onda que no se absorben, se reflejan, por ello, la clorofila al absorber la luz en el espectro rojo y azul, refleja el verde, lo que da este color a las plantas. Los carotenoides son pigmentos de color amarillo (xantofilas) y naranja (carotenos) que se asocian con la clorofila, y la protegen al disipar el exceso de energía en las reacciones luminosas de la fotosíntesis (Devine *et al.*, 1993; Rao, 2000). Los inhibidores de pigmentos no permiten la formación de carotenoides en las plantas, lo que resulta en la destrucción de la clorofila. La biosíntesis de carotenoides ocurre a partir del ácido mevalónico y con la intervención de varias enzimas ligadas a membranas, entre ellas, la fitoeno-desaturasa (FD), la desoxi-d-xilulosa fosfato sintasa (DXP) y la 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenasa (HPPD).

Este grupo tiene tres subgrupos, de acuerdo a su sitio de acción: Grupo 12 que actúa al inhibir la fitoeno-desaturasa y comprende las familias químicas fenil-éteres, N-fenil heterociclos, and difenil heterociclos, Grupo 13 con bloqueo de la enzima desoxi-D-xilulosa fosfato sintasa (DXP) que incluye solo la familia químicas isoxazolidinonas y Grupo 27 que actúa sobre la enzima hidroxifenil piruvato dioxigenasa (HPPD), con las familias químicas isoxazoles, pirazoles y tricetonas (Peterson *et al.*, 2013; Shaner, 2014; HRAC, 2020). Al impedirse la síntesis de carotenoides, el oxígeno simple y la clorofila triple forman radicales lípidos al extraer hidrógeno de lípidos insaturados. Los radicales lípidos interactúan con el oxígeno y producen lípidos peroxidados, que destruyen la clorofila y afectan la integridad de las membranas celulares, lo cual causa necrosis de los tejidos (Sandmann *et al.*, 1991; Shaner, 2014).

El modo de acción de estos herbicidas ocasiona el albinismo en las plantas susceptibles (que en algunas especies de maleza se presenta como una coloración rosa o violeta) y la necrosis de las hojas y tallos. Sin embargo, sólo actúan en los tejidos nuevos, sin afectar a las hojas y tallos ya formados. (Sandmann *et al.*, 1991;

Baumann *et al.*, 1998). Los inhibidores de pigmentos se absorben por las raíces, y se transportan por el xilema hacia la parte aérea. Esta clase de herbicidas se usan para el control PRE y POST de hojas anchas y gramíneas anuales. La selectividad a este grupo es por metabolismo de los herbicidas a compuestos no tóxicos. La aplicación de un insecticida organofosforado junto a la semilla de algodón en el suelo, protege a este cultivo de la acción del herbicida clomazone. Los inhibidores de la síntesis de pigmentos pueden tener alta residualidad en el suelo y causar daños a cultivos que se siembran en rotación (Baumann *et al.*, 1998).

FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Grupo 12 WSSA- HRAC			
Piridazinonas	Norflurazon	Zorial, Solicam	Algodón, soya
Grupo 13 WSSA - HRAC			
Isoxazolidinonas	Clomazone	Gramer, Command	Calabaza, chile, soya, arroz, agave, caña de azúcar
Grupo 27 WSSA - HRAC			
Isoxazoles	Isoxaflutole	Adengo (+ thien carbazone metil)	Maíz
Tricetonas	Mesotrione	Argomes, Commander	Maíz
	Mesotrione + atrazina	Callisto Xtra	Maíz
	Mesotrione + atrazina + S-metolaclor	Lumax Gold	Maíz
	Tembotrione	Laudis	Maíz
Pirazoles	Topramezone	Convey	Maíz
	Tolpyralate	Raker Pro	Maíz

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, W. P. 1996. *Weed Science: Principles*. 3rd ed. West Publishing Co. St. Paul, MN, USA. 338 p.
- Ashton, F. M. and A. S. Crafts. 1981. *Mode of Action of Herbicides*. Wiley-Interscience. New York, NY, USA. 525 p.
- Baumann, P. A., P. A. Dotray and E. P. Prostko. 1998. Herbicide mode of action and injury symptomology. SCS-1998-07. Texas Agriculture Extension Service. The Texas A&M University System. College Station, TX, USA. 10 p.
- Buhler, D. D. 1998. Tillage systems and weed population dynamics and management. p. 223-246. *In*: Hatfield, J. L., D. D. Buhler and B. A. Stewart (eds.). *Integrated weed and soil management*. Ann Arbor Press Inc. Chelsea, MI, USA.
- Caseley, J. C. 1996. Herbicidas. *In*: Labrada, R., J. C. Caseley y C. Parker (eds.). *Manejo de malezas para países en desarrollo*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 120. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. [http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s0e.htm#capítulo 10](http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s0e.htm#capítulo%2010). Herbicidas.
- Cavanaugh, K. J., B. R. Durgan, R. K. Zollinger and W. A. Selberg. 1998 Herbicide and nonherbicide injury symptoms on spring wheat and barley. WW-06967. North Dakota State University Extension Service. Fargo, ND, USA. 30 p.
- Culpepper, A. S. and A. C. York. 1998. Weed management in glyphosate-tolerant cotton. *J. Cotton Sci.* 2:174-185.
- Chandler, J.M. and F.T. Cooke. 1992. Economic of cotton losses caused by weeds. pp: 85-116. *In*: C.G. McWhorter and J.R. Abernathy, eds. *Weeds of Cotton: Characterization and Control*. The Cotton Foundation Reference Book Series. Memphis, TN.
- Devine, M. D., S. O. Duke and C. Fedtke. 1993. *Physiology of Herbicide Action*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ, USA. 441 p.
- Dieleman, J. A. and D. A. Mortensen. 1997. Influence of weed biology and ecology on development of reduced dose strategies for integrated weed management systems. p. 333-362. *In*: Hatfield, J. L., D. D. Buhler and B. A. Stewart (eds.). *Integrated Weed and Soil Management*. Ann Arbor Press Inc. Chelsea, MI, USA.
- Duke, S. O. and F. E. Dayan. 2001. Classification and mode of action of the herbicides. p. 31-44. *In*: De Prado, R. y J. V. Jorrín (eds.). *Uso de Herbicidas en la Agricultura del Siglo XXI*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.

- Everitt, J. D. and J. W. Keeling. 2009. Cotton growth and yield response to simulated 2,4-D and dicamba drift. *Weed Tech.* 23:503-506.
- Gunsolus, J. L. and W. S. Curran. 1996. Herbicide mode of action and injury symptoms. North Central Extension Publication 377. University of Minnesota. Minneapolis, MN, USA. 14 p.
- Hance R. J. and K. Holly 1990. *Weed Control Handbook: Principles.* Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK. 582 p.
- Heap, I. 2020. International survey of herbicide-resistant weeds. Classification of herbicides by mode of action. <http://www.weedscience.com> (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- HRAC (Herbicide Resistance Action Committee). 2020. HRAC Mechanism of action update 2020. Global HRAC MOA Classification Working Group Report. https://hracglobal.com/files/GHRAC_MOA_UPDATE_2020.pdf (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- Global Information, Inc. 2020. Global New Crop Protection Generics Market - 2019-2026. <https://www.giiresearch.com/report/dmin754825-global-new-crop-protection-generics-market.html>
- Kapler, B. and D. Namuth. 2004. Clasificación de los herbicidas. *Plant and Soil Sciences eLibrary.* <https://passel2.unl.edu/view/lesson/c6f27ffb3c0a> (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- Kunert, K., G. Sandmann and P. Boger. 1987. Modes of action of diphenyl ethers. *Rev. Weed Sci.* 3:35-56.
- Markwell, J., D. Namuth e I. Hernández-Ríos. 2005. Herbicidas que actúan a través de la fotosíntesis. *Plant and Soil Sciences eLibrary.* University of Nebraska, Lincoln. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/89c19f73669f> consultado el 18 de septiembre de 2020).
- Murphy, T. R. 1999. Turfgrass herbicide mode of action and environmental fate. The University of Georgia. College of Agriculture and Environmental Sciences. Tifton, GA, USA. 21 p.
- Nissen, S., D. Namuth, e I. Hernández-Ríos. 2005. Introducción a los inhibidores de la síntesis de aminoácidos aromáticos. *Plant and Soil Sciences eLibrary.* University of Nebraska, Lincoln. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/9a49f4ad2e86> (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- Oerke, E. C. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science* 144: 31–43.

- O'Sullivan, J., P. H. Sikkema and R. J. Thomas. 2000. Sweet corn (*Zea mays*) cultivar tolerance to nicosulfuron. *Can. J. Plant Sci.* 80(2):419-423.
- Peterson, D. E., C. R. Thompson, D. E. Shoup and B. L. Olson. 2013. Herbicide mode of action. C-715. Kansas State University. Manhattan, KS, USA. 28 p.
- Pimentel, D., L. McLaughlin, A. Zepp, B. Lakitan, T. Kraus, P. Kleinman, F. Vancini, W. J. Roach, E. Graap, W. S. Keeton, G. Selig. 1993. Environmental and economic effects of reducing pesticide use in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 46: 273-288
- Rao, V. S. 2000. *Principles of Weed Science*. 2nd ed. Science Publishers, Inc. Enfield, NH, USA. 555 p.
- Regehr, D. L. and D. W. Morishita. 1989. Questions and answers on managing herbicide resistant weeds. Extension Publication MF-926. Kansas State University. Manhattan, KS, USA. 10 p.
- Retzinger, E. J. and C. Mallory-Smith. 1997. Classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. *Weed Tech.* 11:384-393.
- Ross, M. A. and C. A. Lembi. 1985. *Applied Weed Science*. Burgess Publishing Co. Minneapolis, MN, USA. 340 p.
- Sandmann, G., A. Schmidt, H. Linden and P. Boger. 1991. Phytoene desaturase, the essential target for bleaching herbicides. *Weed Sci.* 39:474-479.
- Schmidt, R. R. 1997. HRAC classification of herbicides according to mode of action. p. 1133-1140 *In*: 1997 Brighton Crop Protection Conference: Weeds. Brighton, UK.
- Shaner, D. L. (ed.). 2014. *Herbicide Handbook*. 10th ed. Weed Science Society of America. Lawrence, KS, USA. 512 p.
- Sterling, T. M., D. Namuth e I. Hernández-Ríos. 2005. Mecanismo de acción de los herbicidas auxínicos - Parte 2. *Plant and Soil Sciences eLibrary*. University of Nebraska, Lincoln. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/d56bd9285ea8>. (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- Walker, K. A., S. M. Ridley, T. Lewis and J. L. Hardwood. 1989. Action of aryloxyphenoxy carboxylic acids on lipid metabolism. *Rev. Weed Sci.* 4:71-84

ESTABLECIMIENTO, CONDUCCIÓN Y ANÁLISIS DE ENSAYOS DE EFECTIVIDAD BIOLÓGICA DE HERBICIDAS

Valentín A. Esqueda Esquivel,

Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP

Enrique Rosales Robles

Asesor en Manejo de Malezas, SOMECIMA

Gloria de los Ángeles Zita Padilla

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

Introducción

El control de malezas es una de las prácticas agronómicas que tiene mayor efecto en la productividad de los cultivos. Un control eficiente de las malezas permite a las plantas cultivadas evitar o reducir la competencia de las malezas, por lo que pueden aprovechar adecuadamente el agua, la luz y los nutrientes, factores indispensables para el desarrollo, lo cual generalmente se refleja en un mejor rendimiento y calidad de los cultivos.

Dependiendo del cultivo y de las condiciones agroclimatológicas en que se desarrolla, para controlar las malezas se pueden utilizar diversos métodos, siendo los principales: el empleo de herramientas accionadas manualmente (machetes, azadones), la utilización de equipos mecánicos (arados, rastras) y la aplicación de herbicidas.

El control químico de las malezas es un método práctico, eficiente y relativamente económico, por lo que se utiliza ampliamente en la mayoría de los cultivos básicos e industriales, pastizales, huertas de frutales, plantaciones forestales, campos no cultivados y orillas de caminos y vías ferroviarias. De acuerdo a la Sociedad Americana de la Ciencia de la Maleza, actualmente existen 329 ingredientes activos utilizados como herbicidas, incluidos en 26 grupos con el mismo sitio de acción (WSSA, 2021).

De acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009 del COFEPRIS, la etiqueta de los herbicidas disponibles en el mercado para uso agrícola y forestal debe llevar la siguiente información: 1. Nombre comercial, 2. Formulación, 3. Grupo químico, 4. Ingrediente activo, 5. Nombre químico, 6. Concentración, 7. Modo y

mecanismo de acción, 8. Categoría toxicológica, 9. Cultivos en los que se autoriza su aplicación, 10. Malezas que controla, 11. Dosis recomendadas, 12. Observaciones, 13. Intervalo de seguridad, 14. Tiempo de reentrada a las zonas tratadas, 15. Contraindicaciones, 16. Fitotoxicidad, 17. Incompatibilidad, 18. Manejo de resistencia. 19. Número de registro, 20. Uso: agrícola o forestal, 21. Los pictogramas, frase de peligro y palabra de advertencia, 22. Precauciones y advertencias de uso.

Las regulaciones fitosanitarias de cada país determinan la información que llevan las recomendaciones de las etiquetas, de manera que un mismo ingrediente activo puede permitirse en cierto cultivo en un país, pero no en otro. En México, la información relativa a los cultivos en los que se autoriza su aplicación, las malezas que controla, las dosis recomendadas y algunas observaciones, se obtiene de datos obtenidos en pruebas de evaluación de efectividad biológica de los herbicidas. Los requisitos y especificaciones para realizar estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas se indican en la Norma Oficial Mexicana NOM-032-FITO-1995, elaborada por la Dirección Nacional de Sanidad Vegetal.

El requerimiento de estudios de evaluación de la efectividad biológica para registrar un nuevo herbicida, determinar las dosis a las que se aplicará, modificar la formulación o concentración de un herbicida ya registrado, o añadir una o más especies de malezas a la etiqueta, conlleva a la necesidad de contar con técnicos que tengan el conocimiento y la capacidad para conducir este tipo de estudios. Algunos aspectos prácticos sobre este tema se presentan a continuación.

Selección del lote experimental

El experimento generalmente se establece en terrenos en los que se presente la especie o especies de malezas más importantes del cultivo, a no ser que se quiera tener recomendaciones para controlar una especie que no es actualmente importante, pero que, por sus características agronómicas, puede llegar a convertirse en una especie dominante. El manejo que se le dé al lote experimental debe ser representativo del que normalmente se realiza en la región. Si no se conocen las malezas que se presentan en ese terreno se corre el riesgo de que sólo se tengan malezas de importancia secundaria, por lo que la información que se obtenga será de utilidad limitada. Se sugiere seleccionar terrenos planos o con pendientes moderadas y que no tengan áreas que se encharquen o inunden. Debe evitarse utilizar las orillas de los campos o canales, o que existan árboles que pueda sombrear una porción del lote experimental.

Siembra

En cultivos anuales, se puede optar por sembrar el lote experimental, lo cual asegura una emergencia uniforme del cultivo, aunque las especies y población de malezas puede no ser siempre representativa. Si se opta por sembrar el ensayo, el manejo debe ser similar al que se utiliza en los cultivos comerciales. Por otra parte, se pueden hacer recorridos terrenos ya sembrados y seleccionar un lote en un terreno con el cultivo ya emergido, y con una población uniforme de malezas importantes.

Diseño experimental y tamaño de parcela

Debido a que los estudios de evaluación de efectividad biológica de herbicidas son unifactoriales, en aplicaciones totales sobre malezas de tamaño pequeño (≤ 10 cm) y distribución uniforme, por lo general se utiliza el diseño de bloques al azar con un mínimo de cuatro repeticiones. Sin embargo, cuando se tienen malezas arbustivas o incluso árboles pequeños o de gran tamaño, que no se distribuyen uniformemente en el terreno, y que requieren un cubrimiento completo del follaje, por lo general se seleccionan entre una y tres plantas individuales por repetición y se emplea el diseño completamente al azar. El tamaño de parcela o unidad experimental para cultivos anuales debe ser de al menos 20 m²; a su vez, para cultivos arbóreos menores de ocho años, la parcela deberá constar de dos a tres árboles y para mayores de ocho años, deberá ser de al menos un árbol.

Tratamientos

Se requieren al menos tres dosis del herbicida a evaluar (generalmente la empresa que solicita la evaluación de un herbicida, ya ha hecho investigación por su cuenta en México o en el extranjero, por lo que ya cuentan con información sobre la dosis a la que actúa mejor el herbicida): la que propone la empresa, una dosis menor a ésta y otra mayor a la propuesta. Lo anterior se hace para comprobar la efectividad del herbicida y su selectividad al cultivo. Es indispensable incluir un testigo regional, que puede ser el tratamiento químico que más se utiliza en la región para ese cultivo, o si no lo hay, puede ser un tratamiento de control manual o mecánico y un testigo sin aplicar, también conocido como testigo enhierbado o testigo absoluto. Es deseable que alguno de los tratamientos del nuevo herbicida tenga un efecto sobre

las malezas igual o superior al testigo regional y que su selectividad al cultivo sea alta. El testigo sin aplicar es necesario para otorgar un valor de control de malezas al compararlo con las parcelas tratadas con herbicidas. También es necesario incluir un testigo limpio a base de deshierbes manuales para que en caso de que el herbicida evaluado presente daños al cultivo se pueda verificar si afectan su rendimiento.

Determinación de la cobertura de malezas

En aplicaciones en postemergencia, antes de la aplicación de los tratamientos se debe determinar la cobertura de malezas en cada unidad experimental. Generalmente se calcula de forma visual el porcentaje de terreno cubierto por malezas, de ser posible por especie dominante; en ocasiones es difícil determinar el porcentaje de cubrimiento por especie ya que algunas malezas cubren a otras, por lo que es suficiente proporcionar un valor total. Lo ideal es conseguir un lote con malezas relativamente uniformes en tamaño y área ocupada (al menos 50%). Si se tiene una cobertura baja de malezas, el efecto de los herbicidas de contacto se tendrá únicamente en las plantas emergidas y no impedirá nuevos flujos de emergencia, lo que reducirá la eficiencia de los tratamientos.

Determinación de la densidad de población de malezas

Antes o inmediatamente después de la aplicación de los tratamientos herbicidas postemergentes se debe determinar la densidad de población de malezas. Para esto, se utilizan cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m o de 1 m x 1 m, los cuales se lanzan al azar en una o más ocasiones en cada una de las parcelas correspondientes a los testigos sin aplicar. En algunas ocasiones se puede seleccionar la parte más representativa de la unidad experimental que tenga las especies de interés y se hace un muestreo dirigido y mantener la ubicación de los cuadrantes para observar la evolución de los efectos del herbicida. Se selecciona el tamaño de la unidad de muestra de acuerdo con el tamaño de las plantas a muestrear. A mayor superficie, mayor tamaño de unidades de muestra. En superficies pequeñas o con una distribución uniforme de malezas se puede reducir el número de o el tamaño del cuadrante. Las malezas contenidas en el interior de los cuadrantes, se cuantifican e identifican por especie. Posteriormente se hacen las transformaciones para determinar su densidad de población por hectárea. En el caso de aplicarse herbicidas en preemergencia a las malezas, la densidad de población se determina como se indicó anteriormente durante la primera evaluación de control.

En el caso de que no se conozcan algunas de las especies presentes en el lote experimental, se colectan al menos tres ejemplares por especie, que tengan completas sus partes vegetativas y reproductivas. También se pueden tomar fotografías de la planta completa, siendo extremadamente importante tomar acercamientos de las inflorescencias, flores y frutos. Para la identificación de las especies, lo más recomendable es llevarlas o mandarlas a una institución que provea este servicio, ya que se requiere la intervención de un taxónomo de plantas. En ocasiones la identificación puede realizarse al comparar las fotografías con las de manuales impresos o páginas web. Sin embargo, se debe tener cuidado con la calidad académica de la fuente y que corresponda a la zona de estudio, ya que existen especies que son muy parecidas morfológicamente y que sólo pueden distinguirse mediante claves taxonómicas. Con la información obtenida se pueden jerarquizar las especies de malezas de acuerdo a su densidad de población.

Aplicación de los tratamientos

Antes de aplicar los tratamientos, se debe realizar la calibración del equipo para tener la seguridad de aplicar la dosis programada. La manera más práctica de hacer la calibración es poner en el equipo un volumen conocido de agua; posteriormente medir una distancia de 10 a 30 m sobre el terreno y aplicarlo con el equipo a velocidad y presión constantes (35 a 40 lb/pulg²), caminando en forma recta. Se mide el agua que quedó en el tanque y se calcula el agua utilizada. Al mismo tiempo se mide el ancho de la banda de aplicación y se calcula la superficie aplicada. Con estos datos se calcula la cantidad de agua agregar al tanque de la aspersora para cubrir la superficie que ocupan las cuatro repeticiones de cada tratamiento, así como la cantidad de herbicida y adherente para aplicar cada una de las dosis. Algunos factores del terreno o el desarrollo de las malezas pueden obligar a caminar más despacio en algunos tramos, por lo que, para evitar quedarse sin solución antes de haber aplicado completamente la última repetición, es recomendable hacer cálculos como si se fuera a aplicar una repetición extra y medir la solución sobrante, para de ser necesario registrar la dosis aplicada, que no debería ser mayor o menor a 5% de la dosis programada. Para aplicaciones totales se recomienda utilizar aspersoras motorizadas de mochila, equipadas con un aguilón y boquillas de abanico plano, ya que, al no existir variaciones en la presión, se logra una aspersión uniforme. Al utilizar un aguilón se puede cubrir el ancho de la unidad experimental con solamente una o dos pasadas. Con las aspersoras impulsadas por fuerza manual no siempre se puede mantener una presión constante; éstas generalmente están equipadas con una lanza en cuyo extremo se coloca el cuerpo y la punta de una boquilla; por esta razón, generalmente se necesitan de tres a cinco pasadas para cubrir el ancho de la unidad experimental, por lo que hay más posibilidades de que no haya traslape

entre pasadas, quedando áreas sin aplicar, comúnmente conocidas como “áreas crudas”. Esta situación es más probable que suceda en cultivos sembrados al voleo, en donde no existen surcos que guíen al aplicador para caminar de forma recta. En los experimentos de evaluación de herbicidas se sugiere dejar los surcos de las orillas de cada unidad experimental sin aplicar, a fin de utilizarlos como testigos laterales enhierbados, lo cual facilita otorgar un valor de control, durante la evaluación de los tratamientos.

Para las aplicaciones totales generalmente los herbicidas se disuelven entre 100 y 300 L de agua por hectárea, mientras que para las aplicaciones a plantas individuales (“manchoneo”) normalmente se recomiendan dosis en 100 L de agua; en este caso se utiliza el agua necesaria para cubrir completamente al follaje sin llegar al punto de escurrimiento. Para aplicaciones preemergentes se requiere que el terreno tenga una buena preparación y que no existan terrones grandes o residuos de plantas o cultivo sobre la superficie. Además, en la mayoría de los casos el terreno debe tener buena humedad, aunque sin llegar a encharcamientos. Sólo unos pocos herbicidas pueden aplicarse en seco. A excepción de las malezas arbustivas o arbóreas, las aplicaciones de herbicidas en postemergencia se hacen sobre malezas de tamaño pequeño (entre 5 y 15 cm); sin embargo, para el control de malezas perennes con herbicidas sistémicos, normalmente se recomienda aplicar el herbicida sobre malezas de mayor desarrollo (15 a 20 cm), ya que, al tener más follaje, pueden interceptar mayor cantidad de herbicida y trasladarlo hasta los órganos de reproducción vegetativa, que se quieren destruir.

En aplicaciones al follaje se recomienda la adición de un surfactante o adherente para lograr una mejor retención de la solución aplicada y un menor riesgo de pérdida por viento o lluvias. Las aplicaciones al suelo no requieren añadir surfactantes.

Para obtener el máximo beneficio de un herbicida y evitar o minimizar los riesgos de contaminación o toxicidad en cultivos o plantas no deseadas, es necesario considerar los factores que se indican a continuación: 1. Tipo de malezas. Identifique si las malezas que quiere controlar son zacates, hojas anchas o coquillos y si su ciclo de vida es anual o perenne y utilice esta información para seleccionar los herbicidas recomendados para el cultivo o situación en que se tiene el problema de malezas. 2. Tamaño de malezas. Se obtiene un mejor control de las malezas anuales, al aplicar los herbicidas, cuando éstas son pequeñas (5 a 15 cm); a su vez, en malezas perennes, generalmente se requiere un mayor desarrollo de las mismas (15 a 20 cm), para que una mayor cantidad de herbicida sea interceptada, absorbida y translocada. 3. Herbicida. Lea cuidadosamente la etiqueta de los herbicidas que piense utilizar. Ésta contiene información de los cultivos en que se pueden utilizar, las especies de malezas que controlan, las dosis y épocas en que se deben aplicar

y las incompatibilidades que pudieran tener con otros plaguicidas. Dedicar algunos minutos para leer la etiqueta antes de aplicar, puede evitar problemas de efectividad o toxicidad.

4. Tipo de boquilla. Para obtener una distribución uniforme de los herbicidas, deben utilizarse boquillas de abanico plano. Las boquillas de cono, son más apropiadas para aplicar insecticidas.
5. Calibración. Antes de aplicar cualquier herbicida, es indispensable calibrar el equipo de aspersión. Si no se realiza una calibración, o si ésta es deficiente, se pueden aplicar dosis inferiores o superiores a la recomendada, lo que resulta en un pobre control de malezas, o en un riesgo de toxicidad a los cultivos, respectivamente.
6. Forma de aplicar. Durante la aplicación, camine en línea recta, mantenga el paso constante y no mueva el aguilón o la boquilla de un lado hacia el otro. Muchas de las fallas en el control de malezas son consecuencia de una deficiente cobertura del terreno en el caso de los herbicidas preemergentes, o de las malezas, cuando se aplican herbicidas postemergentes.
7. Agitación. Agite constantemente la solución a aplicar, para mantener uniforme la concentración del herbicida. Esto es particularmente importante con aspersoras no motorizadas y con herbicidas formulados como polvos o granos.
8. Calidad del agua de aplicación. Utilice preferentemente agua limpia para disolver los herbicidas. El uso de aguas “duras” (conductividad eléctrica $>900 \mu\text{S}/\text{cm}$) o con arcillas en suspensión, puede reducir la efectividad de algunos herbicidas. Existen acondicionadores del agua que pueden eliminar esos problemas.
9. Disturbio del suelo. Evite disturbar el suelo, después de realizar aplicaciones de herbicidas preemergentes.
10. Lluvia. No aplique herbicidas postemergentes cuando esté lloviendo o amenace lluvia en las siguientes horas, ya que éstos pueden ser “lavados”, provocando un control deficiente o irregular, lo que obliga a repetir la aplicación.
11. Adherentes o surfactantes. Algunos herbicidas aplicados en postemergencia requieren la adición de un adherente o surfactante, que sirve para lograr mejor distribución y mayor adherencia al follaje de las malezas, resistir más tiempo al lavado por lluvia y penetrar más fácilmente al interior de las hojas. Hay herbicidas en que la adición de estas sustancias es indispensable.
12. Viento. Evite aplicar los herbicidas cuando haya vientos fuertes ($>20 \text{ km/h}$), que arrastren los productos fuera del área que se desea aplicar. Esto es de gran importancia cuando se aplican herbicidas de tipo hormonal o sistémicos en las cercanías de cultivos susceptibles.
13. Humedad del terreno. Aplique los herbicidas postemergentes cuando haya humedad en el suelo y las plantas muestren un crecimiento activo. Los herbicidas son absorbidos y translocados en una proporción menor y no tienen el mismo efecto cuando se aplican con humedad escasa. Es importante indicar, que algunos herbicidas preemergentes pueden aplicarse en terrenos secos y se activan cuando el terreno se humedece por riegos o lluvias.
14. Mezcla con otros plaguicidas. Antes de mezclar los herbicidas con otro tipo de agroquímicos, consulte las etiquetas o a un especialista. En algunos casos, la mezcla de agroquímicos no compatibles, puede resultar en la disminución del control de las malezas o el incremento en la toxicidad a los cultivos.

Evaluación de control de malezas

Para determinar la efectividad de los tratamientos herbicidas se pueden utilizar métodos cualitativos o métodos cuantitativos.

Métodos cualitativos. La evaluación por métodos cualitativos se realiza de manera visual y es relativamente rápida, por lo que se prefiere cuando se tienen experimentos grandes. Sin embargo, requiere forzosamente de personal con experiencia, ya que, al asignar los porcentajes de control por apreciación personal, puede ocurrir que evaluadores con entrenamiento distinto, le otorguen valores diferentes. Por lo anterior, es aconsejable que al menos dos personas realicen las estimaciones visuales de control y comparen sus estimaciones.

Para evaluar se utilizan principalmente dos escalas: 1. Escala logarítmica EWRS (European Weed Research System), en la cual los niveles de actividad decrecen a medida que la efectividad crece (Cuadro 1). 2. Escala porcentual de 0 a 100%, en la cual, los intervalos aumentan en progresión aritmética (Cuadro 2).

Cuadro 1. Escala EWRS para evaluación del control de malezas por herbicidas.

Valor	Control (%)	Efecto en malezas
1	99.0 - 100.0	Muerte
2	96.5 - 99.0	Muy buen control
3	93.0 - 96.5	Buen control
4	87.5 - 93.0	Control suficiente
5	80.0 - 87.5	Control medio
6	70.0 - 80.0	Control regular
7	50.0 - 70.0	Control pobre
8	1.0 - 50.0	Control muy pobre
9	0.0 - 1.0	Sin efecto

Una desventaja de la escala EWRS es que no se puede realizar un análisis de varianza con los valores directos; normalmente para poder analizar los datos se les asigna un valor en porcentaje, por lo que hay quien recomienda evaluar directamente utilizando la escala porcentual, con la cual se asignan valores que pueden analizarse estadísticamente, si bien, para homogenizar las varianzas, generalmente requieren su transformación a arco seno $\times \sqrt{\% + 1}$.

Cuadro 2. Escala porcentual para evaluación del control de malezas por herbicidas.

Valor	Descripción	Efecto en malezas
0	Sin efecto	Sin control
10	Efectos ligeros	Control muy pobre
20		Control pobre
30		Control pobre a deficiente
40		Control deficiente
50	Efectos moderados	Control deficiente a moderado
60		Control moderado
70		Control por debajo de satisfactorio
80	Efectos severos	Control de satisfactorio a bueno
90		Control muy bueno a excelente
100	Efecto completo	Control total

Antes de iniciar la evaluación es recomendable observar las parcelas de los testigos sin aplicar para tener una imagen mental con la cual comparar las parcelas tratadas. Si se dejaron surcos o un área sin aplicar en los lados de cada unidad experimental, se facilita la evaluación. Para asignar un valor de control, se compara la densidad de población, cobertura, altura y vigor de las malezas de los testigos sin aplicación con las mismas características de las parcelas aplicadas. Las evaluaciones de efectividad biológica se hacen por especie de maleza dominante (que normalmente varían de una a tres). Durante las evaluaciones se colecta información sobre los síntomas que muestran las malezas, y que se relacionan con el modo de acción de los herbicidas. Los principales efectos son: clorosis, necrosis, blanqueamiento, coloración rojiza o púrpura en el follaje o las nervaduras, reducción en altura, deformaciones en las hojas o tallo, formación de tumores y afectación en el desarrollo de raíces adventicias.

En cultivos anuales, se recomienda que las evaluaciones se realizan abarcando por lo menos el período crítico de competencia, que generalmente comprende entre 25 a 33% del ciclo de vida del cultivo. Las épocas para realizar las evaluaciones generalmente varían dependiendo del tipo de acción del herbicida aplicado y el ciclo de vida del cultivo. Es común realizar evaluaciones a los 7, 14, 21, 28 y 35 DDA, 10, 20, 30 y 40 DDA o 15, 30, 45 y 60 DDA. El tiempo de evaluación se debe seleccionar de manera que se pueda llevar un registro confiable del efecto de los tratamientos en las malezas. Periodos cortos de tiempo entre una evaluación y la siguiente permiten determinar cuándo se logró el mayor control y cuándo se presentan nuevos flujos de emergencia después de la aplicación.

Métodos cuantitativos. Uno de los métodos que pueden utilizarse para determinar el control de la maleza, es determinar la densidad de población, realizando conteos de éstas en diferentes épocas en cuadrantes arrojados al azar en la primera evaluación y usando la misma área seleccionada al inicio en las evaluaciones posteriores; los conteos se realizan en todas las unidades experimentales, no

solamente en los testigos sin aplicar. Este método requiere una gran cantidad de tiempo para hacer los conteos por especie, es costoso y tiene la desventaja de que la maleza puede no estar distribuida uniformemente, sino en manchones, por lo cual se requiere aumentar el número de cuadrantes por unidad experimental. Además, puede darse el caso de que, en una parcela aplicada, el número de plantas de una especie sea igual o mayor al del testigo sin aplicar, aunque de menor tamaño, por lo que la información debe completarse con otro tipo de datos, como el peso o altura de la maleza. El peso seco de la maleza es un método cuantitativo de mayor precisión que la densidad de población. Como es un método destructivo deben destinarse previamente áreas para cortar la maleza, sin afectar al desarrollo del experimento, o bien determinar solamente el peso conjuntamente con la última evaluación cualitativa de control. Las malezas se cortan a ras de suelo, se separan por especie y se pesan inmediatamente, para que su peso no se afecte por la deshidratación. De cada unidad experimental se toma una muestra representativa, que se coloca en una estufa de secado hasta obtener un peso constante.

Evaluación de toxicidad al cultivo

Debido a que los herbicidas son sustancias que afectan los procesos metabólicos vegetales, en ocasiones pueden causar toxicidad a las plantas cultivadas. En las pruebas de efectividad biológica de herbicidas que se aplican cubriendo tanto al cultivo como a las malezas, se espera que éstos sean selectivos al cultivo, o que su grado de daño sea leve y desaparezca en poco tiempo. Sin embargo, hay factores que pueden alterar o modificar la selectividad de un herbicida, haciéndolo más tóxico para los cultivos. Estos factores pueden estar relacionados con la formulación y la dosis del herbicida, la variedad o la etapa de desarrollo del cultivo y las condiciones de humedad del suelo y temperatura del ambiente.

Para evaluar la toxicidad a los cultivos también se tienen las escalas de la EWRS (Cuadro 3) y la porcentual, que asigna un valor en porcentaje al daño ocasionado por los herbicidas. Generalmente las evaluaciones de toxicidad se realizan al mismo tiempo que las evaluaciones de control de malezas, aunque cuando se aplican herbicidas de acción rápida, es conveniente realizar una evaluación entre tres y cinco DDA. En la mayoría de las ocasiones, el mayor daño al cultivo se observa durante la primera evaluación, y éste va disminuyendo progresivamente hasta prácticamente desaparecer entre los 15 y 30 DDA.

Cuadro 3. Escala EWRS para evaluación de la toxicidad al cultivo.

Valor	Toxicidad (%)	Efecto en cultivo
-------	---------------	-------------------

1	0.0 - 1.0	Sin efecto
2	1.0 - 3.5	Síntomas muy ligeros
3	3.5 - 7.0	Síntomas ligeros
4	7.0 - 12.5	Síntomas que no se reflejan en reducción del rendimiento
5	12.5 - 20.0	Daño medio
6	20.0 - 30.0	Daño elevado
7	30.0 - 50.0	Daño muy elevado
8	50.0 - 99.0	Daño severo
9	99.0 -100.0	Muerte total

Asignar un valor a la toxicidad ocasionada por un herbicida puede ser un proceso difícil, ya que los síntomas varían ampliamente de acuerdo al modo y mecanismo de acción de los herbicidas aplicados. En general, herbicidas con el mismo modo de acción producen síntomas de daños similares. Además, algunos síntomas de daños causados por herbicidas pueden parecerse a los síntomas ocasionados por algunas enfermedades, deficiencias nutricionales, estrés medioambiental o compactación del suelo. Los síntomas de daños en los cultivos son semejantes a los indicados para las malezas, por lo que puede ser relativamente fácil asignar un valor en porcentaje a la toxicidad por áreas necróticas, calculando el área de follaje afectada por esta condición o cuando la toxicidad consiste en reducción de altura o desarrollo, pero dar un valor cuando la planta presenta clorosis, cambio de coloración, deformaciones u otros síntomas muy ligeros, requiere de un conocimiento previo y experiencia en la realización de este tipo de evaluaciones.

Rendimiento

Si bien las principales variables a medir en un experimento de efectividad biológica de herbicidas es el control de malezas y la selectividad al cultivo, determinar el rendimiento del cultivo, que no solamente es resultado del control de malezas, sino del conjunto de prácticas agronómicas utilizadas, puede complementar la información y proporcionar una mayor comprensión sobre el efecto de los herbicidas; además, permite realizar análisis económicos, que pueden ser un factor importante para seleccionar un herbicida o mezcla de herbicidas, cuando se tienen varios tratamientos con controles de malezas y selectividad al cultivo similares.

Análisis estadístico

Los datos de control de malezas y toxicidad al cultivo pueden requerir su transformación antes del análisis de varianza. Lo más común es que los porcentajes de control de malezas se transformen a arco seno $\times \sqrt{\%/100}$ y los de toxicidad al cultivo a $\sqrt{\%}$, aunque pudiera ser necesaria una transformación diferente. Si se encuentran diferencias significativas entre tratamientos, se debe realizar una prueba de separación de medias, siendo las más comunes las de Tukey ($p \geq 0.05$), Duncan ($p \geq 0.05$) y Diferencia Mínima Significativa (DMS) ($p \geq 0.05$). Aunque en sentido

estricto los análisis son válidos para los datos transformados, por motivos de claridad, normalmente en los informes y publicaciones, los resultados se indican con los porcentajes sin transformar.

LITERATURA CONSULTADA

Alemán, F. 2004. Manual de investigación agronómica: con énfasis en ciencia de la maleza. Imprimatur Artes Gráficas. Managua, Nicaragua. 248 p.

Anderson, M. and Hartzler, R. 2021. Identifying common herbicide symptoms in soybean. Iowa Sta University. <https://crops.extension.iastate.edu/blog/bob-hartzler-meaghan-anderson/identifying-common-herbicide-symptoms-soybean> (consultado el 2t de octubre de 2021).

Boerrboom, C. M. 2005. Herbicide mode of action key for injury symptoms. University of Wisconsin. Cooperative Extension. Madison, WI, USA. 3 p.

Burrill, L. C., Cardenas, J. and Locatelli, E. 1976. Field manual for weed control research. Oregon State University. International Plant Protection Center. Corvallis, OR, USA. 63 p.

Canadian Weed Science Society. 2018. Description of 0-100 Rating Scale for Herbicide Efficacy and Crop Phytotoxicity. https://weedscience.ca/cwss_scm-rating-scale/ (consultado el 23 de octubre de 2021).

Comisión Federal para la Protección de Riesgos Sanitarios. 2021. Normas Oficiales Mexicanas: Plaguicidas. Transparencia COFEPRIS
transparencia.cofepris.gob.mx/index.php/es/marco-juridico/normas-oficiales-mexicanas/plaguicidas. (consultado el 30 de octubre de 2021).

DOF (Diario Oficial de la Federación). 1995. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-032-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4884922&fecha=17/11/1995 (consultado el 18 de octubre de 2021).

Ekhtor, F., Ola, O. T. and Ikuenobe, C. E. 2018. Effectiveness of tank mixture of glyphosate plus metsulfuron for weed control in a juvenile oil palm in Nigeria. International Journal of Agronomy and Agricultural Research 13(1):29-38.

Espinoza, G., Hernández, C. y Morales, J. 2013. Manual de malezas y catálogo de herbicidas para el cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Guatemala. 97 p.

Esqueda, E. V. A. 2005. Efecto de herbicidas sobre plantas y semillas de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) W. Clayton, en caña de azúcar. Agronomía Mesoamericana 16(1):45-50.

Esqueda, E. V. A., Uresti, D. D. y Hernández, A. L. 2015. Alternativas al fenoxapropetil para el control del zacate Johnson *Sorghum halepense* (L.) Pers. en arroz de riego. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 2(6):317-325.

Esqueda-Esquivel, V. A. y Rosales-Robles, E. 2013. Época de aplicación y toxicidad varietal del herbicida amicarbazone en la caña de azúcar, en Veracruz, México. Planta Daninha 31(3):611-621.

Esqueda-Esquivel, V. A., X. Rosas-González y E. N. Becerra-Leor. 2010. Evaluación de herbicidas residuales para el control de malezas en guanábana (*Annona muricata* L.) Revista Chapingo Serie Horticultura 16(1):5-12.

Frans, R., Talbert, R., Marx, D. and Crowley, H. 1986. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. p. 29-46. *In*: Camper, N. D. (ed.). Research Methods in Weed Science. 3rd ed. Southern Weed Science Society. Champaign, IL, USA.

García, B. R. M. y Aloma, O. R. M. 2020. Evaluación de vitroplantas de caña de azúcar, recomendaciones para su manejo agronómico. Revista Universidad y Sociedad 12(4):170-178.

Geier, P. W., Stahlman, P. W., Regehr, D. L. and Olson, B. L. 2009. Preemergence herbicide efficacy and phytotoxicity in grain sorghum. Weed Technology 23(2):197-201.

Germán, M. T. 1986. Estructura y organización del herbario. p. 11-30. *In*: Lot, A. and Chiang, F. (comps.). Manual de herbario. Administración y manejo de colecciones,

técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Consejo Nacional de la Flora de México. México, D. F.

Gomez, KA; Gomez, AA. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2 ed. Wiley, New York, USA. 680 p.

Gunsolus, J. L. and Curran, W. S. 1999. Herbicide mode of action and injury symptoms. BU-3832-S. University of Minnesota. Cooperative Extension Service. St. Paul, MN, USA. 21 p.

Hamill, A. S., Marriage, P. B. and Friesen, G. 1977. A method for assessing herbicide performance in small plot experiments. *Weed Science* 25(5):386-389.

ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). s/f. Manual para elaboración de protocolos para ensayos de eficacia con PQUA. file:///C:/Users/VALE/Desktop/Manual-protocolos-ensayos-eficacia-PQUA.pdf (consultado el 23 de octubre de 2021).

Lancaster, S., Jugulam, M. and Falk J., J. 2021. Herbicide mode of action. C715. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Manhattan, KS, USA. 20 p.

Loux, M. M., Doohan, D., Dobbels, A. F., Johnson, W. G., Young, B. G., Legleiter, T. R. and Hager, A. 2015. Weed control guide for Ohio, Indiana and Illinois. Pub.# WS16/Bulletin 789/ IL15. Ohio State University. College of Food, Agricultural, and Environmental Sciences. Columbus, OH, USA. 209 p.

Martínez-Méndez, D., Enríquez-Quiroz, J. F., Ortega-Jiménez, E., Esqueda-Esquivel, Valentín A., Hernández-Garay, A. y Escalante-Estrada, J. A. S. 2016. Rehabilitación de una pradera de pasto Insurgente con diferentes métodos de manejo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(8):1787-1800.

Mejía-Saulés, M. T. 2001. Poaceae I: Clave de géneros. Flora de Veracruz. Fascículo 123. Instituto de Ecología, A. C. University of California Riverside. México, D. F. 30 p.

Rosales, R. E., Chandler, J. M., Senseman, S. A. y Salinas, G. J. R. 2001. El estado de desarrollo afecta la respuesta del zacate Johnson [*Sorghum halepense* (L.) Pers] a los herbicidas nicosulfuron y clethodim. *Agrociencia* 35(5):525-533.

Rosales-Robles, E., Sánchez-de la Cruz, R. y Cerda-García, P. A. 2011. Control químico de maleza de hoja ancha en sorgo para grano. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(4):269-275.

Rosales-Robles, E., Sánchez-de la Cruz, R. y Rodríguez-del Bosque, L. A. 2014. Tolerancia de sorgo para grano a dos herbicidas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(1):89-94.

Rosales-Robles, E., Sánchez-de la Cruz, R. y Rodríguez-del Bosque, L. A. 2013. El tipo de boquilla no altera la efectividad de los herbicidas prosulfuron, bromoxinil y 2,4-D. *Agrociencia* 47:245-253.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). s/f. Manual de recolecta, preservación y envío de ejemplares de malezas. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/260230/Manual_de_Recolecta_Preservaci_n_y_Env_o_de_Ejemplares_de_Maleza__1_.pdf (consultado el 23 de octubre de 2021).

Smith, R. 2012. Herbicide modes of action and symptoms on plants. University of California. https://mtvernon.wsu.edu/path_team/Hcide%20modes%20of%20action%20and%20symptoms%20on%20plants%20-%20R%20Smith%20UCCE.pdf (consultado el 25 de octubre de 2021).

Tasistro, S. A. 2000. Métodos para evaluar efectividad en el control de malezas. *Revista Mexicana de la Ciencia de la Maleza*. Número Especial: 25-35.

University of Minnesota. 2021. How to calculate herbicide rates and calibrate herbicide applicators. <https://extension.umn.edu/herbicides/how-calculate-herbicide-rates-and-calibrate-herbicide-applicators#sprayer-calibration-1033260> (consultado el 25 de octubre de 2021).

WSSA (Weed Science Society of America). 2002. *Herbicide handbook*. 8th. ed. WSSA. Lawrence, KS, USA. 493 p.

WSSA (Weed Science Society of America). 2021. WSSA-Herbicide Site of Action (SOA) Classification List. <https://wssa.net/wssa/weed/herbicides/> (consultado el 19 de octubre de 2021).

Vibrans, H. 2011. Taller de identificación de malezas. [file:///C:/Users/VALE/Downloads/TALLER_DE_IDENTIFICACION_DE_MALEZAS%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/VALE/Downloads/TALLER_DE_IDENTIFICACION_DE_MALEZAS%20(1).pdf) (consultado el 23 de octubre de 2021).

Vibrans, H. (ed.). 2009. *Malezas de México*. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm> (consultado el 23 de octubre de 2021).

Zita, P. G. A. 2013. Resistencia de malas hierbas a herbicidas inhibidores de la enzima ACCasa. Tesis de doctorado. Universidad de Córdoba. Departamento de Edafología y Química. Córdoba, España. 174 p.

Zita, P. G. A. y Esqueda, E. V. A. 2020. Manual de prácticas de control de la maleza. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., México. 77 p.

APLICACIÓN EFICIENTE DE HERBICIDAS

J. Antonio Tafoya Razo
Depto. de Parasitología Agrícola
Universidad Autónoma Chapingo
atafoyarazo@yahoo.com.mx

La utilización de agroquímicos en la agricultura es una preocupación constante de agricultores y técnicos, por la posibilidad de intoxicación del aplicador, del consumidor, contaminación del ambiente y el alto costo de las aplicaciones.

Cuando se habla de aplicaciones no referimos a la acción de depositar el herbicida en el objetivo (maleza). La aspersión hidráulica es el método más común en el empleo de herbicidas, por la flexibilidad que ofrece en sus distintas aplicaciones. Consiste en diluir, suspender o emulsionar los herbicidas en un líquido, normalmente agua, formando la mezcla de aplicación. Esta mezcla será fraccionada en pequeñas gotas (su tamaño dependerá del equipo empleado), las cuales se depositarán en el objetivo a tratar. Una aplicación efectiva o de calidad, cualquiera que sea el equipo empleado, dependerá del número de gotas que llegue al objetivo, la uniformidad de su cobertura y la persistencia de la gota para que ejerza su efecto biológico.

Cuando se habla de un mal control, normalmente se culpa al herbicida o a la maleza que se está tornando resistente, y comúnmente cambian de producto o aumentan la dosis. Pero no se analiza que, posiblemente se ha realizado mala elección de equipo, una mala calibración o que el tamaño de gotas producidas es inadecuado, que la mezcla de tanque no fue correcta, la calidad de agua no sea la ideal. Estos factores son los más importantes y que con frecuencia cualquiera o varios de ellos, traen como resultado una aplicación de mala calidad, lo que afectará significativamente el control de la maleza.

La aplicación de herbicidas es el punto más débil en el proceso del manejo de malezas. En otras palabras, es el proceso más ineficiente de un sistema productivo. Muchos investigadores señalan que más del 70% del resultado de un herbicida depende de la eficiencia de aplicación (Jalil Maluf, 2015) y son varios factores o variables que están involucrados.

Variables:

- Maleza
- Herbicida
- Vehículo de aplicación (agua u otro líquido)
- Equipo de aplicación y aplicador
- Momento de aplicación

Cada una de estas nos impacta en la eficiencia de aplicación y sumadas nos determinan el grado de éxito. A la hora de decidir una aplicación se deben tener en cuenta los anteriores factores. Abordaremos someramente a las dos primeras variables.

Maleza

Las condiciones en las que se está desarrollando la maleza, estado de desarrollo, conocimiento de todo el aspecto biológico, morfológico y fisiológico de la maleza,

en que etapa de su desarrollo es más susceptible a los herbicidas. Todo esto es fundamental para realizar una aplicación eficiente.

Herbicida

Al igual que lo anterior, se requiere seleccionar el herbicida adecuado para el control de la maleza presente, selectivo al cultivo y que tenga buen accionar en las condiciones ambientales que se presentan (suelo, clima, etc.).

Vehículo de aplicación

Aquí se refiere principalmente al líquido que transporta al herbicida en la aspersión (comúnmente el agua), el vehículo debe tener condiciones que le permitan no alterar la eficiencia biológica del herbicida, para lo cual en muchas ocasiones se deben agregar coadyuvantes que acondicionan el agua con este fin, al igual que le permitan en la aspersión llegar de mejor manera al objetivo, superando barreras químicas o físicas del agua y malezas, así como limitantes ambientales.

El agua es el principal vehículo por el cual se transportan los herbicidas hasta la llegada al objetivo. Conocer las propiedades fisicoquímicas de nuestras aguas para la aspersión resulta fundamental a la hora de hacer una aplicación eficiente y de calidad, es por ello que hay que conocer los parámetros que definen esta calidad: pH, dureza, alcalinidad, limpieza y turbidez. Estos parámetros influyen directamente sobre la eficiencia biológica de los herbicidas.

El pH óptimo para las aplicaciones agrícolas es ligeramente ácido, valores entre 5-6. Este pH levemente ácido favorece que no se degraden los ingredientes activos, e incluso mejora la manera de penetrar en la planta. Tanto pH altos o muy bajos pueden degradar el activo por hidrólisis. La velocidad de descomposición del activo depende principalmente de las propiedades químicas del herbicida, del pH que alcance la mezcla y del tiempo de permanencia en el tanque.

Tanto las aguas superficiales como las subterráneas, tienen sólidos disueltos, y estos se encuentran bajo la forma de sales y su calidad depende de los aniones y cationes que las componen. Dependiendo de la combinación de sales disueltas, las aguas pueden ser:

- Neutras: Su salinidad proviene de cationes monovalentes, sodio y potasio, y aniones cloruros y sulfatos. Tienen un pH cercano a 7. Sin problemas para las aplicaciones agrícolas.
- Alcalinas: Su salinidad proviene de cationes monovalentes, sodio y potasio, y aniones cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, siendo las sales de estos últimos las que le confieren alcalinidad. Tienen un pH mayor a 7, pudiendo alcanzar 8,5 a 9. Se las denominan aguas salinas blandas, pues no precipitan los jabones.
- Duras: Su salinidad proviene de cationes monovalentes, sodio y potasio, divalente como calcio y magnesio, y de trivalentes, hierro, aluminio y arsénico. Los aniones son cloruros, sulfatos y bicarbonatos. Tienen un pH

entre 7 y 8. Se denominan duras porque precipitan los jabones, dando lugar a lo que se llama “corte del jabón”, perdiéndose así, la propiedad intrínseca de los jabones que es, la de bajar la tensión superficial del agua y permitir el mojado de las superficies y la eliminación de la suciedad.

Los cationes disueltos que se forman conjugados complejos hacen que las aguas denominadas “duras” afecten a los herbicidas disminuyendo e incluso neutralizando su efecto. La neutralización puede darse para herbicidas que se hidrolizan (2,4-D ester); herbicidas que se precipitan (2,4-D dimetilamina); herbicidas que se conjugan con los cationes divalentes y trivalentes (glifosato, glufosinato). Es por ello que la dureza es el parámetro más importante a tener en cuenta.

La dureza del agua se expresa como la suma del contenido de calcio (Ca) y magnesio (Mg), los cationes más importantes en aguas para aplicaciones agrícolas, expresados ambos en el equivalente en mg/l (o parte por millón = ppm) de carbonato de calcio (CO₃Ca).

A los fines prácticos será:

$$ppm (mg/l) CO_3Ca = 2.5 * mg/l Ca + 4 * mg/l Mg$$

En general las sales de calcio son más insolubles que las sales de magnesio. Por ello es que, según cuál sea la composición del suelo del acuífero del cual proviene el agua, ésta tendrá una concentración distinta de calcio y de magnesio (el sulfato de calcio, por ejemplo, es más insoluble que el de magnesio). Entonces, puede ser que de dos aguas con la misma dureza en ppm de CO₃Ca, una sea relativamente más blanda que la otra.

Todas las aguas tienen en mayor o menor medida todos los cationes y aniones que mencionamos anteriormente y se clasifican, por lo general arbitrariamente, de la siguiente manera (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipificación de dureza por concentración de CO₃Ca (Fuente: Manual de aplicaciones de Gota Protegida).

ppm de CO ₃ Ca	Tipo de agua
0-60	Blanda
61-120	Moderadamente dura
121-180	Dura
+181	Muy dura

Cabe destacar que los parámetros de dureza y pH para las aplicaciones agrícolas difiere mucho de los valores de calidad en lo que hace a consumo humano, es por ello que siempre es aconsejable realizar análisis periódicos de agua y sabiendo sobre que parámetros basarse.

Para la corrección de estos parámetros, existe en el mercado diversos productos correctores y secuestrantes. Es importante destacar que estos productos deben ser agregados en primer lugar en la formación de la mezcla, ya que tienen que acondicionar el vehículo (agua) convirtiéndolo en un medio ideal, sin poner en riesgo a los activos. Con aguas duras, también es recomendable disminuir el volumen de la mezcla, hasta un límite que por supuesto no afecte la mezcla de los productos en el tanque y se logren los impactos necesarios.

La turbidez se refiere al cambio de color de las aguas por la presencia de arcillas disueltas y restos orgánicos, compuestos que pueden desactivar fácilmente a los herbicidas. Para saber cuan sensibles son los herbicidas a este parámetro de calidad de agua se utiliza el Koc (Coeficiente de absorción de carbono orgánico). Es por ello que a mayor Koc más sensible a la turbidez. Dentro de los agroquímicos más usados los que tienen mayor sensibilidad a la turbidez son el Paraquat (muy alto) y el Glifosato (alto); en un punto medio los graminicidas fop's y dim's, y los demás agroquímicos presentan menor sensibilidad a la turbidez.

Un aspecto importante es como mezclar los herbicidas cuando se aplique más de un producto, sobre todo cuando se quieren mezclar diversos tipos de agroquímicos (herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.), existen varias propuestas en el orden de mezcla en el depósito, pero la más recomendada es la basada en la solubilidad de los productos, que recomienda mezclar empezando por los productos más insolubles a los más solubles, y algunos dicen que se debe a empezar los más solubles a los más insolubles, siendo lo de mejores resultados la primera opción.

Orden de mezcla sugerido:

- Llenado en tanque
- Acondicionar el agua (Coadyuvantes del tipo acidificante, secuestrante, antiespumante, etc.)
- Agregar los herbicidas en orden del más insoluble al más soluble
- Agregar el coadyuvante del tipo humectante, antievaporante, etc.

Equipo de aplicación

La selección del equipo es muy importante, ya que debe ser un equipo que sea eficiente para la aplicación de herbicidas, que se adapte a las condiciones en

general donde se desarrolla el cultivo (suelo, clima, área a tratar, topografía, etc.), con la boquilla adecuada para lo que se va a aplicar y una óptima calibración del equipo. Los equipos de mochila son más útiles para áreas pequeñas, por su costo principalmente, pero tienen la desventaja que la presión (en los de palanca manual) y velocidad de trabajo puede variar durante la aplicación, los equipos montados al tractor o autopropulsados tienen mejor control de presión y velocidad de trabajo, pero son más costosos y en ciertas condiciones se complica dirigir con precisión la aplicación, los equipos aéreos (avioneta, helicóptero y drones) realizan trabajo más rápido (los dos primeros) y en condiciones que los otros equipos no son útiles, pero son más costosos y/o poco disponibles, además no tienen la misma eficiencia de aplicación que los terrestres. Los drones aún tienen mucho camino por recorrer, no se conoce con precisión que tan útiles pueden ser.

La correcta selección de la boquilla y la presión a la cual la utilizaremos, son factores importantes para alcanzar una aplicación con un óptimo resultado biológico y una eficiente utilización del equipo aspersor. Para la elección de una boquilla se debe determinar un tamaño de gota a utilizar que maximice la cobertura en la maleza o suelo.



Figura 1. Variables a considerar para una correcta aplicación.

En las aspersiones, la uniformidad de la distribución del líquido es fundamental, lo que significa bajos coeficientes de variación de la distribución volumétrica superficial del líquido, en el objetivo a aplicar (uniformidad de la cantidad de líquido y de la distribución de las gotas en área aplicada). En un suelo no bien acondicionado o con paja sobre la superficie, una aplicación preemergente de herbicida tiene que distribuirse lo más uniforme posible, por lo que se requiere una boquilla que nos proporcione el espectro de gotas ideal para estas condiciones, lo mismo sucede en maleza emergida con mucha paja sobre el suelo, cultivo denso o maleza grande en pastizales. Las boquillas en estos casos se constituyen en el elemento básico para obtener la uniformidad deseada. El comité europeo de normalización especifica un

coeficiente de variación máximo admitido para un conjunto de boquillas de aspersión hidráulicas de 7%, cuando se utiliza la altura de aplicación y presión recomendada y de 9% para las demás alturas y presiones.

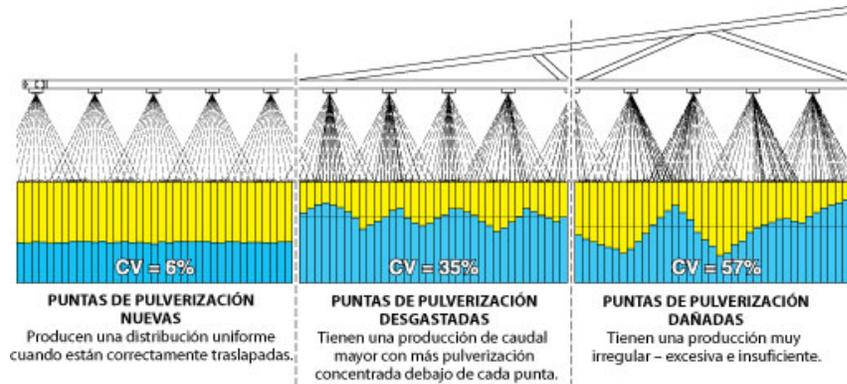


Figura 2. Distribución de líquido por las boquillas según su estado de uso.



Figura 3. Espectro de aspersión de una boquilla de abanico plano.

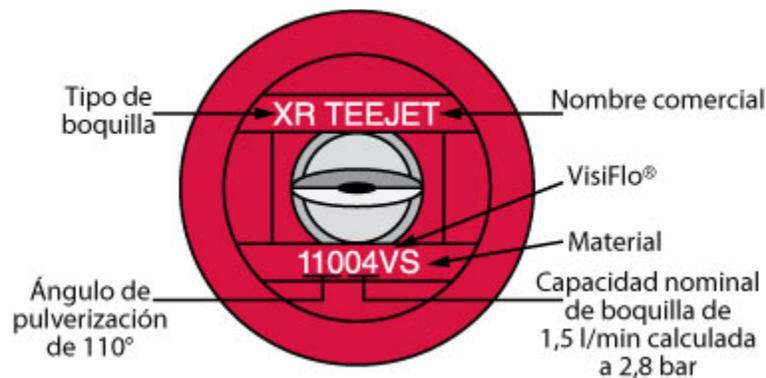


Figura 4. Características de una boquilla de abanico plano

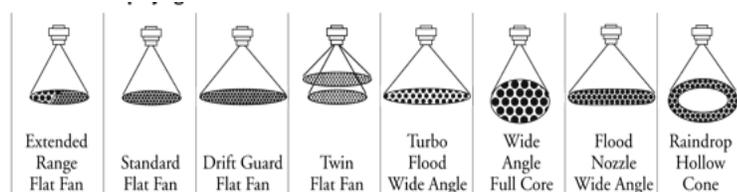


Figura 5. Características de las boquillas Spraying Systems

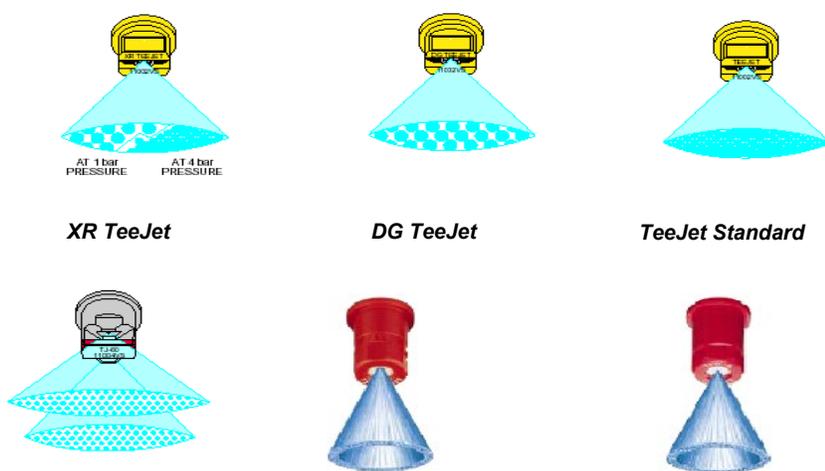


Figura 6. Características de las boquillas Spraying Systems

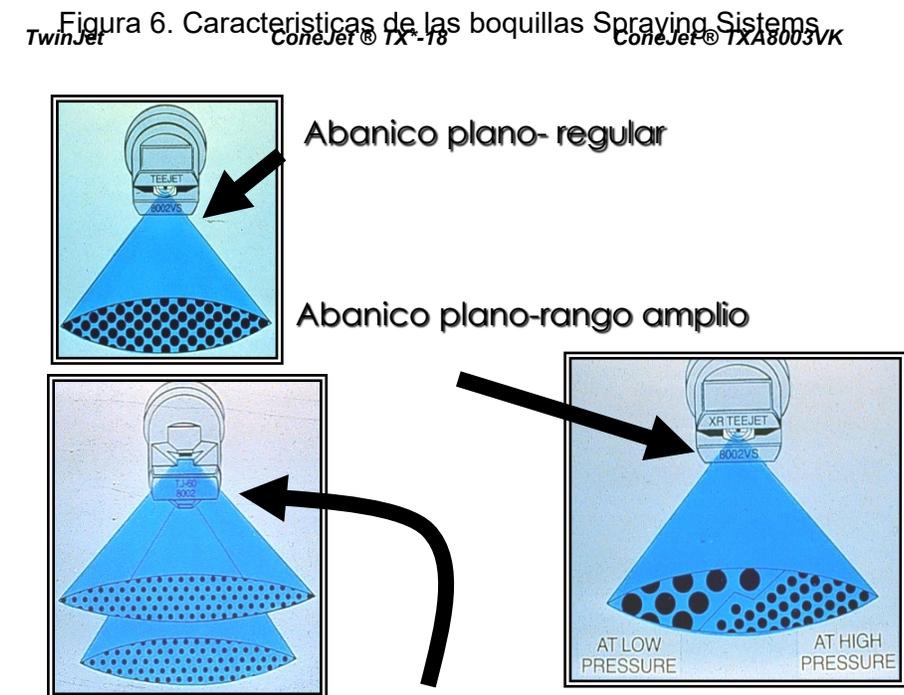


Figura 7. Características de las boquillas Spraying Systems



Figura 8. Características de las boquillas Spraying Systems

El número de gotas por cm^2 necesarios para lograr una buena calidad de aplicación es diferente según el objetivo a aplicar, y el tipo de herbicida. Los herbicidas pueden ser sistémicos o de contacto, los primeros al ser absorbidos por el follaje de la maleza se mueven por el simplasma hacia partes de la planta donde actúan, requieren un menor cubrimiento en la aspersion (número de gotas/ cm^2 de 20-30, algunos autores indican que hasta 40-50 gotas). Los herbicidas de contacto, debido a que, al ser absorbidos por el follaje de la planta, actúan inmediatamente en las células vivas afectándolas, no se mueven hacia otras partes de la planta, por lo que requieren mayor cubrimiento, un mínimo de 30-40 gotas por cm^2 para algunos y para otros de 50 gotas/ cm^2 . En general los herbicidas que van al suelo (preemergentes) no tienen demasiados requerimientos en calidad de aplicación, en cuanto a gotas/ cm^2 , pero si en uniformidad de la distribución de las gotas en la superficie del suelo, tienen la ventaja de que se pueden aplicar con gotas grandes para evitar deriva y/o llegar al suelo cuando existe paja sobre este.

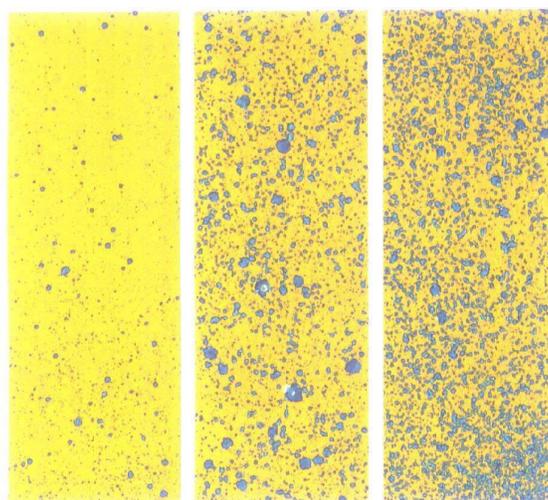
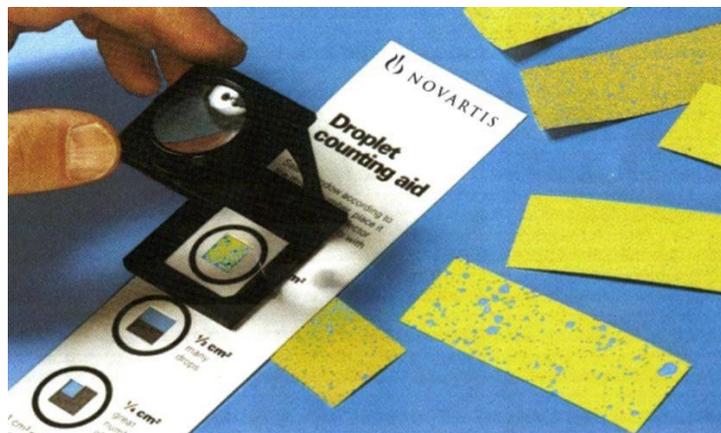
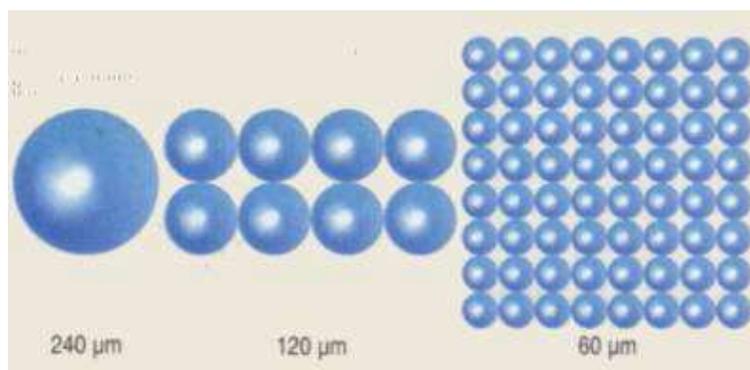


Figura 9. Cuantificación de gotas por cm^2



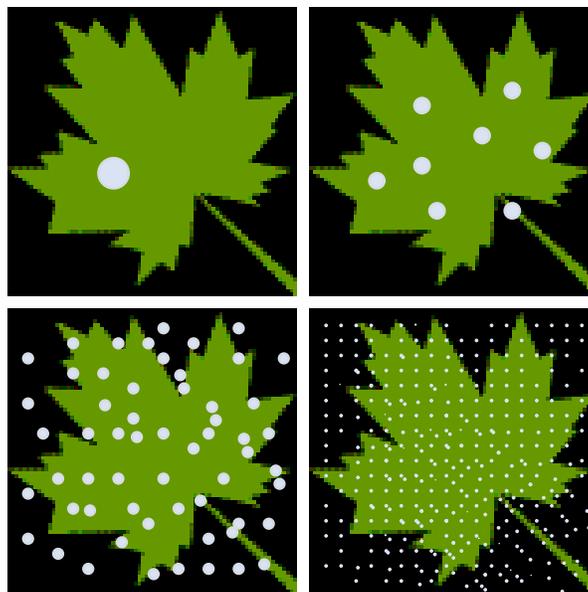


Figura 10. Cantidad de gotas fraccionadas de un mismo volumen pero de diferente tamaño.

Un ejemplo del tamaño de gota y número de gotas/cm² en la eficacia del herbicida lo presentó Ruas (2007), observó que en una aplicación de glifosato con gotas de 340µm, 50 gotas por cm² y un porcentaje de cobertura del 5%, proporcionó un control de *Brachiaria decumbes* superior al 91%, con una reducción del 33% de la dosis recomendada. La caracterización de tamaños de gotas en una aplicación, producidas por una boquilla específica, a una determinada presión de trabajo, permite evaluar la posibilidad, durante una aplicación, de que se produzca deriva por arrastre y/o evaporación (gotas chicas) o escurrimiento (gotas grandes).

Cuadro 2. Diámetro de gotas de diferentes boquillas a diferentes presiones.

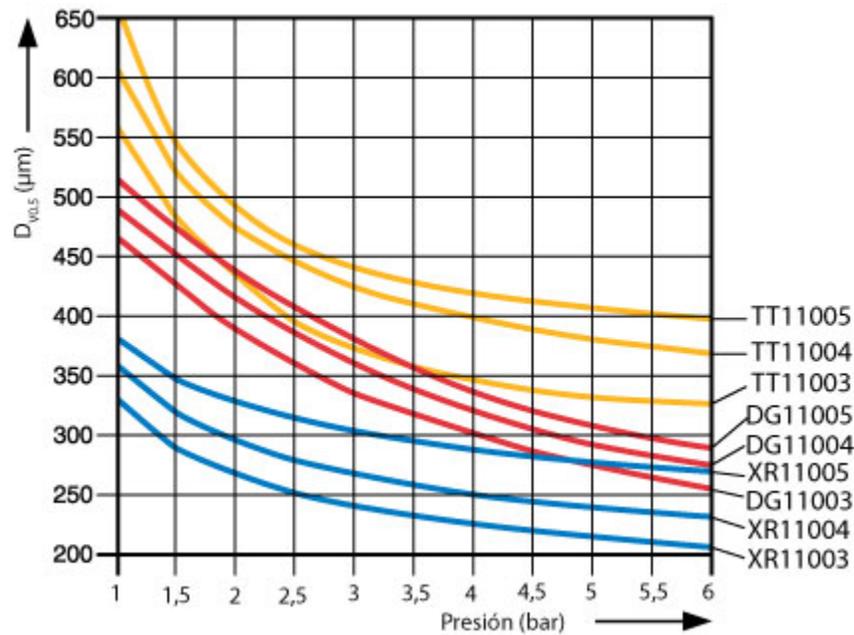


Diagrama 1. Importancia del aplicador en la eficiencia de la aspersión.

Este diagrama nos ilustra la importancia que tiene el aplicador en el resultado final de una aplicación de herbicidas, debido a que cualquiera de las variables que influyen en la eficiencia de una aplicación, si no es considerada adecuadamente por el aplicador, el resultado no será positivo. Por lo que el aplicador y/o quien lo dirige, debe tener pleno conocimiento del manejo de las variables que determinan la eficiencia de una aplicación de herbicidas.

Dentro de la eficiencia de aplicación de plaguicidas es importante el cálculo del volumen a aplicar el cual se realiza dependiendo de la maleza, cultivo, clima, herbicida y equipo. Para lo cual existen diversas metodologías que nos permiten obtener un óptimo volumen de aplicación.

Condiciones ambientales al momento de la aplicación

Es fundamental valorar las condiciones ambientales al momento de la aplicación, debido a que son claves en el éxito o fracaso de la aplicación.

En muchas ocasiones el agricultor no tiene la herramienta para medir las condiciones ambientales en un terreno, pero ya existen opciones muy accesibles para realizarlo. Son varios factores que se deben considerar, pero los más importantes son: humedad relativa, temperatura y velocidad del viento.

Humedad en el follaje. Normalmente en las primeras horas de la mañana, existe alta humedad sobre el follaje, lo cual impide que el herbicida entre en contacto con la superficie foliar, ocasionando deriva al resbalar las gotas de follaje. Entre mayor humedad exista en el follaje menor contacto herbicida-planta se realizará, el tiempo y cantidad de agua presente en el follaje dependerá de las condiciones climáticas del lugar, en un mismo sitio esto también puede variar de acuerdo a la época del año.

Una elevada temperatura, en combinación con una baja humedad relativa son condiciones que tienden a incrementar la evaporación de las gotas y, por ende, pérdida de ingrediente activo con consecuencias negativas para la tarea de control y para el ambiente. La medición de la humedad relativa en campo es particularmente importante ya que existen casos donde, si bien la temperatura no es tan elevada como para generar derivas, su combinación con una baja humedad relativa genera que aumenten los riesgos, afectando la calidad de la aplicación por pérdida de gotas.

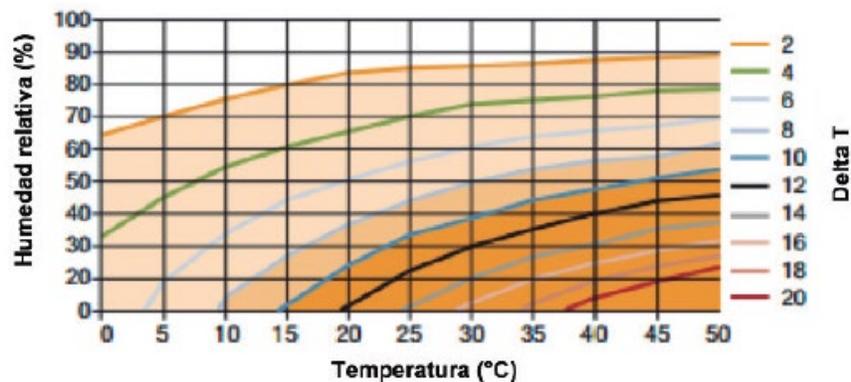
El Cuadro 3 muestra otra manera de combinar los valores de temperatura y humedad relativa. La combinación de los factores que ocupa el color verde, es donde se podrían realizar aplicaciones sin mayores restricciones ambientales, siempre y cuando el factor viento lo permita. Las combinaciones de valores de color amarillo serían condiciones restrictivas, pero con el uso de coadyuvantes, boquillas y calibración del equipo se puede realizar una buena calidad de aplicación con bajo riesgo. Los valores en rojo son más restrictivos y no se recomienda realizar una aplicación.

Cuadro 3. Muestra valores de humedad relativa y temperatura, las distintas combinaciones dan las diferentes condiciones para aplicar (verde: aplicación sin restricción, amarillo: aplicación con restricciones y rojo: no aplicar)

	Temperatura								
H.R.	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0
100	Aplicación no recomendada por riesgos de lluvia y lavado de agroquímicos								
90									
80									
70									
60									
50									
40									
30									
20									
10									

El Delta T (ΔT) es un indicador muy utilizado a la hora de determinar las condiciones de aplicación. Se trata de la diferencia de la medida del bulbo seco y el bulbo húmedo de un psicrómetro. Relaciona la temperatura del aire y la humedad relativa. Algunas estaciones portátiles ya calculan el Delta T, incluso los equipados en las máquinas aplicadoras. El Cuadro 4 relaciona la temperatura del aire y humedad relativa a los valores de ΔT . Se menciona un rango de entre 2 y 8 para aplicaciones agrícolas de calidad sin restricciones ambientales.

Cuadro 4. Valores de Delta T en función de la humedad relativa y la temperatura



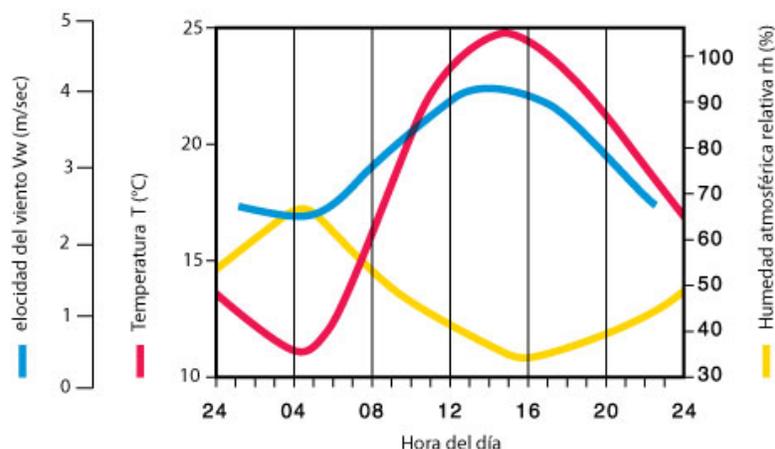
Viento

Si se presenta velocidad de viento tendiendo a cero existe una gran probabilidad que se dé el fenómeno de inversión térmica, donde las gotas aplicadas quedan suspendidas en el aire sin alcanzar el objetivo. Mientras que velocidades mayores podrían generar derivas no deseadas, afectando cultivos cercanos y áreas sensibles.

En general se recomienda que la velocidad del viento este entre 0-10 km/h, otros indican que hasta 15km/h y algunos que debe ser entre 5 y 15 km/h, señalando que toda aplicación requiere viento para penetrar en el follaje del cultivo, lo cual para el caso de herbicidas no es necesario, y al contrario puede arrastrar el herbicida hacia un cultivo susceptible ocasionando daño a este cultivo. Cuando no existe viento, la gota no se depositará, situación que sucede en condiciones de bajas temperaturas, lo cual en México se presenta en muy pocos lugares, donde se realizan aplicaciones con temperaturas por debajo de 10° C.

También se pueden realizar otras acciones para reducir la deriva, emplear boquillas antideriva, aumentar el tamaño de la gota (cambio de presión o de boquilla), bajar la altura de aplicación, disminuir la velocidad en la aplicación, emplear coadyuvantes antideriva y formulaciones con bajo riesgo de deriva, entre otras.

Cuadro 5. Evolución de la temperatura y humedad relativa a lo largo del día. Fuente: Manual para agroaplicadores.



BIBLIOGRAFIA

- Cid R. y Masiá G., 2011. Manual para agroaplicadores. Uso responsable y eficiente de fitosanitarios- Ediciones INTA. 1ª. Ed. Buenos Aires. Cid R. 2014. Aplicación eficiente de fitosanitarios. Instituto de Ingeniería Rural. INTA.
- Gota protegida y REM. 2018. Calidad de aplicación de herbicidas; Bases para lograr un tratamiento eficiente. Volumen IX. Argentina.
- Guía del usuario de Boquillas de Aspersión. Manual Spraying Systems.
- Jalil Maluf, E. 2015. Aplicaciones agrícolas de calidad y uso de coadyuvantes de última generación. Gota protegida. Argentina.
- Martins T., M. & Alves R. R.A. 2008. Importância do controle de qualidade na aplicação de agrotóxicos. XVIII Congresso de la Asociación Latino-Americana de Malezas. Ouro Preto, M.G. Brasil.
- Ross M. A. & Lembi C. A. 2008. Applied Weed Science. Third edition. Prentice Hall. USA.
- Ruas, R. A.A. 2007. Tecnologia de aplicação do glyphosate para certificação de productos agrícolas. 107f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidad Federal de Viçosa. Viçosa. M.G. Brasil.

Domínguez Valenzuela, José Alfredo¹, López Valencia, Gabriela¹, Preciado Urrutia, Saul¹, Vázquez García, José Guadalupe², Palma Bautista, Candelario², Alcántara de la Cruz, Ricardo³, y De Prado, Rafael²

¹Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México. C.P. 56230. Correo: jose_dv001@yahoo.com.mx; ²Departamento de Química Agrícola y Edafología, Universidad de Córdoba, España. Correo: ge1pramr@uco.es; ³Centro de Ciências da Natureza, Universidade Federal de São Carlos–Campus Lagoa do Sino, Buri 18290-000, Brazil. ricardo.cruz@ufscar.br

Resumen. Se describe el procedimiento para la confirmación de la resistencia a herbicidas en poblaciones de malezas. Los ensayos de dosis-respuesta son la prueba para confirmar la resistencia a herbicidas y se realizan en condiciones de invernadero incluyendo poblaciones resistentes y susceptibles de la misma especie, utilizando un mínimo de 6 dosis crecientes del herbicida en cuestión y un mínimo de 4 repeticiones, en un diseño completamente al azar. La estimación de los parámetros DL₅₀ y ED₅₀, se estiman mediante un análisis de regresión no lineal utilizando un modelo log-logístico de 3 o 4 parámetros.

INTRODUCCIÓN

La resistencia a herbicidas es la capacidad heredada de una población para sobrevivir a la aplicación de un herbicida a la dosis de campo, misma que antes era efectivamente controlada (Heap, 2005). La resistencia a herbicidas es un fenómeno de evolución reciente de las malezas para sobrevivir en los agroecosistemas a la acción de estos químicos (Dekker, 1977).

Los herbicidas son una herramienta fundamental para el manejo de malezas en muchos sistemas de producción, como consecuencia, los casos de especies y biotipos con resistencia, incluso resistencia múltiple a herbicidas se acumula cada año, dejando a los agricultores con escasas o nulas opciones químicas de manejo (Peterson, et al., 2017).

A nivel mundial, la resistencia a herbicidas es uno de los problemas más preocupantes que enfrentan los agricultores en múltiples sistemas de cultivo. Después de 70 años de intentos de control con herbicidas (Bagavathiannan and Davis, 2018) la experiencia dice que las malezas siempre ganan y que la resistencia

es uno de los mayores desafíos para los científicos y los agricultores (Dekker, 1997), por lo que se requiere de otro enfoque para el diseño de estrategias de manejo. Cuando las opciones de herbicidas son limitadas, hay consecuencias significativas económicas y ambientales (Gunsolus, 2021).

Es de suma importancia la identificación y confirmación de los casos de malezas resistentes a herbicidas. El primer paso para determinar que un biotipo de una especie de maleza es resistente a uno o varios herbicidas, es realizar pruebas confiables mediante la comparación de plantas resistentes y susceptibles (sensibles) de la misma especie en ensayos adecuadamente replicados y científicamente analizados (Heap, 2005).

Existen múltiples pruebas para la confirmación de la resistencia a herbicidas en un biotipo de maleza, desde los ensayos en cajas Petri, ensayos con brotes, ensayos con las enzimas objetivo y pruebas de fluorescencia (Beckie et al., 2000; Burgos et al., 2013). Sin embargo, a nivel mundial se acepta que la prueba que mejor caracteriza la resistencia o susceptibilidad de un biotipo a un herbicida o a un sitio de acción es la prueba de dosis-respuesta que utiliza plantas enteras, con suficientes repeticiones, en macetas individuales y dosis crecientes del herbicida (Beckie et al., 2000; Heap, 2005).

La confirmación de la resistencia permite rediseñar las estrategias de manejo, pues no se puede continuar haciendo lo mismo y esperar resultados positivos de control, más aún, continuar utilizando los mismos herbicidas o herbicidas del mismo modo de acción puede incrementar los niveles de resistencia en las especies problema (Burgos et. al., 2013) y producir resultados económicos y ambientales indeseables.

El propósito de este trabajo es mostrar la forma en que se realiza la prueba de dosis-respuesta para confirmar la susceptibilidad o resistencia de un biotipo de maleza a un herbicida o un sitio de acción.

Fallas en el control de una especie de maleza

La primera sospecha de resistencia usualmente resulta de un nivel de control insatisfactorio después de la aplicación de un herbicida. Por una parte, detectar la resistencia de una maleza cuando la ésta es absoluta y un herbicida no tiene efecto a la dosis de campo recomendada, la detección de la resistencia es fácil; contrario a cuando la resistencia es parcial (Moss, 2004). Los agricultores que utilizan herbicidas observan que cierto herbicida que han utilizado por varios ciclos de cultivo “ya no controla” a cierta especie de maleza que antes si controlaba. Por otra parte, puede ser un técnico de la compañía de herbicidas quien identifica que efectivamente el herbicida ya no está controlando a cierta especie en la dosis recomendada. La primera decisión que un agricultor o, inclusive, un técnico toma es generalmente incrementar la dosis del herbicida, aumentando los costos de control.

Lo primero que se debe hacer es informar a un investigador para que éste realice inspecciones de campo para descartar que las fallas no se deben a una mala

aplicación, deficiente calibración, falta de acondicionamiento del agua o aplicaciones fuera de época (estado fenológico de la maleza), y finalmente, realizar pruebas científicas para confirmar la resistencia o susceptibilidad de la maleza a un herbicida.

Es importante considerar antes de sospechar de resistencia a un herbicida específico, que la eficacia de un tratamiento depende también de factores relacionados con las malezas como estado de crecimiento, una alta infestación, emergencias posteriores a la aplicación, así como factores relativos al suelo y el clima (humedad del suelo, deficiente preparación del suelo, sequía, exceso de lluvia, baja humedad relativa, etc.). Adicionalmente, puede haber una baja eficacia de un tratamiento debido a aspectos como una mala calibración del equipo de aspersión, mala dosificación, falta de acondicionamiento del agua, etc.

Una vez descartados los factores que podrían ser la causa de una baja eficacia de un ingrediente activo, es importante observar si el control ha sido efectivo en aplicaciones anteriores, si otras especies susceptibles han sido controladas adecuadamente y si plantas de la misma especie mueren adyacentes a otras que sobreviven.

Historial de uso de herbicidas en los predios blanco del estudio

Tanto el agricultor como los técnicos de campo o los técnicos de las compañías de herbicidas pueden dar información sobre el uso de herbicidas en los predios donde se detectan fallas en el control de malezas. Es indispensable reunir información sobre los ingredientes activos que se han utilizado, sus dosis, el número de veces en el ciclo que se hacen las aplicaciones con el mismo ingrediente activo o diferentes ingredientes con el mismo modo de acción; conocer el equipo de aplicación, puntas de boquillas, volúmenes de agua utilizados, acondicionadores de agua, calibración del equipo de aspersión, etc.

También debe considerarse el hecho de que predios vecinos hayan tenido dificultades para controlar adecuadamente alguna especie de maleza con el mismo herbicida o herbicidas con el mismo modo de acción, por lo que esa información también es conveniente.

Una vez descartados otros factores que pudieran estar afectando la eficacia de los herbicidas en un predio en particular y que las especies de maleza que no han sido eficazmente controladas se han identificado propiamente, se pueden realizar las pruebas para confirmar o descartar la evolución de resistencia a herbicidas.

Colecta de semillas maduras de plantas identificadas como sospechosas de resistencia a un herbicida o modo de acción

Si se han descartado otros factores que pudieran haber contribuido a la falta de control en un predio sospechosos de resistencia, entonces lo que procede es la colecta de suficiente cantidad de semillas maduras de múltiples plantas de la especie sospechosa, considerando que la presencia de plantas sobrevivientes no tenga un patrón determinado y, de preferencia, coleccionar semillas de plantas vivas adyacentes a plantas muertas.

Se pueden coleccionar las semillas con todo y la inflorescencia o, como en el caso de pastos, coleccionar sólo las semillas en el campo. Se deben utilizar bolsas de papel resistente (Figura 1), identificando plenamente las muestras con la fecha de colecta, datos del predio, del productor, la especie en cuestión y las coordenadas del sitio. Cualquier otra información relacionada con los tratamientos de herbicidas, periodo en el que se han observado fallas, etc., deben ser registrada adecuadamente.

Se deben coleccionar cantidades suficientes de semillas (al menos 1000 semillas viables), considerando que puede haber mermas durante el proceso de limpia de éstas. De la misma forma, se deben coleccionar semillas de plantas provenientes de predios o sitios sin historial de uso de herbicidas (S), mismas que serán importantes para comparar con las plantas sospechosas (R).



Figura 1. Colecta de semillas maduras de malezas sospechosas de resistencia a herbicidas.

Manejo de las semillas en laboratorio

Las muestras de semillas provenientes del campo se deben secar lo antes posible a temperatura ambiente en condiciones de laboratorio o invernadero (Figura 2), para evitar que se puedan desarrollar patógenos, exponiéndolas en charolas individuales y eliminando la mayoría de las partes vegetativas que pudieran haber permanecido en las muestras de campo.



Figura 2. Secado de las muestras de semillas en bolsas de papel.

Una vez secas, las semillas deben limpiarse adecuadamente en el laboratorio. Algunas veces es conveniente eliminar ciertas estructuras que podrían afectar la germinación. En gramíneas, la eliminación de glumas, lemma y palea, con frecuencia mejora la germinación (Figura 3).



Figura 3. Semillas de *Avena fatua* escarificadas completamente.

Pruebas de germinación

Con frecuencia, en algunas especies que experimentan letargo en sus semillas es necesario realizar pruebas de germinación y tratamientos a la semilla para incrementar los porcentajes de germinación. Eliminación de estructuras florales o del fruto, escarificación mecánica o química, tratamientos de estratificación, uso de estimulantes (hormonas o nitrato de calcio o potasio), etc., pueden ayudar a aumentar la germinación de semillas de diversas especies. Algunas gramíneas como *Avena fatua* o *Phalaris spp.*, responden adecuadamente a la eliminación de gluma, lemma y palea, así como a tratamientos con soluciones de nitrato de calcio o potasio e incubación a 4 °C, por 24,48 o 72 h.

La germinación se puede hacer en caja Petri o bien en charolas germinadoras con sustrato estéril (Figura 4). Plántulas obtenidas in vitro se trasplantan directamente a macetas individuales, también con sustrato estéril. Aquellas plantas que se obtienen en charolas de germinación, se trasplantan a macetas individuales una vez que presentan su primera hoja verdadera. En condiciones de invernadero, las plántulas en proceso de crecimiento deben ser irrigadas y fertilizadas apropiadamente, para obtener individuos vigorosos.



Figura 4. Germinación de semillas sobre papel filtro y en sustrato de suelo:peat moss estéril.

Una vez que las plántulas alcanzan el estado de crecimiento adecuado, 2 -3 o 4-6 hojas verdaderas o estado inicial de roseta, las plántulas estarán listas para iniciar los tratamientos. Siempre se deben establecer más individuos de los que se podrían utilizar, de modo que se puedan seleccionar aquellos con características uniformes para efectuar los tratamientos con un mínimo de 4 repeticiones y hasta 10, arreglando los tratamientos en un diseño completamente al azar.



Figura 5. Plántulas de malezas sospechosas de resistencia a herbicidas, listas para tratamiento.

Ensayo preliminar con la dosis de campo (X) o con 1/5X, X 1.5X para los biotipos R y S, en condiciones de invernadero

Esta prueba ayuda, primero a discriminar entre R y S, y también es útil para ubicar el rango de dosis que pueden utilizarse, con base en la respuesta inicial. Se recomienda utilizar de 6 a 8 dosis del herbicida (tratamientos) en cuestión, incluido un tratamiento sin herbicida (0X).

Ensayo de dosis- respuesta

Utiliza plantas enteras y se realiza en condiciones de invernadero. Plantas individuales de los biotipos sospechosos de R y la población S, con un mínimo de 4 repeticiones, se someten a un rango de dosis del o los ingredientes activos a evaluar. Utilizar de 6 a 8 dosis de un herbicida, permite cuantificar mejor el grado de resistencia de las diferentes poblaciones. En general se acepta que la estimación de las curvas de dosis-respuesta es una prueba que confirma la resistencia a un

ingrediente activo, dado que se obtiene el parámetro denominado dosis media efectiva (effective dose); es decir la ED_{50} . La ED_{50} es la dosis necesaria para reducir el peso fresco o seco de plantas al 50%, con respecto al tratamiento testigo (sin herbicida). También se puede estimar la dosis letal media; es decir la dosis necesaria para matar al 50% de una población (LD_{50}). Con la ED_{50} o DL_{50} , estimadas a través de un análisis de regresión no lineal utilizando un modelo log-logístico de 3 o 4 parámetros, se determina el factor de resistencia (FR); es decir, qué tanto el biotipo R es más resistente que S, realizando el cociente $FR = ED_{50}$ de R/ ED_{50} de S (Palma Bautista et al., 2018).

El factor FR debe ser suficientemente alto, considerando que la población R requiere de una dosis superior a la dosis de campo para lograr un alto porcentaje de control.

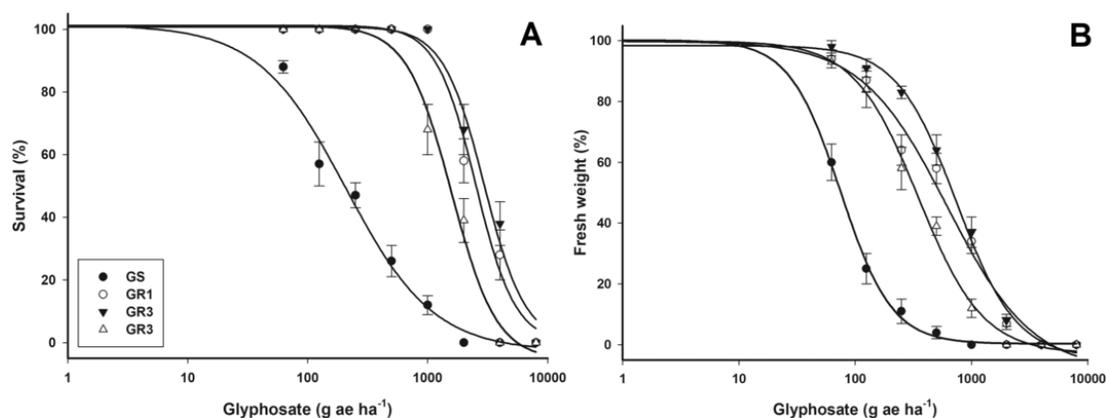


Figura 6. En los gráficos se muestra A: las curvas de dosis-respuesta para el porcentaje de sobrevivencia, y B, las curvas de dosis-respuesta para el porcentaje de reducción de peso fresco de cuatro poblaciones de *Parthenium hysterophorus* a glifosato (Palma Bautista et al., 2018).

En la Tabla 1, se muestran los parámetros de la ecuación log logística utilizadas para estimar las dosis de glifosato necesarias para causar la mortalidad (DL_{50}) y la reducción de peso fresco (ED_{50}) al 50%, de cuatro poblaciones de *Parthenium hysterophorus* colectadas en cítricos. Los valores de FR para las poblaciones 1, 2 y 3, son 15.1, 17.3 y 9.2 para porcentaje de mortalidad (DL_{50}), en tanto que son de 12.7, 15.5 y 7.5 para el porcentaje de reducción de peso fresco (ED_{50}), respectivamente (Tabla 1). Las poblaciones 1, 2 y 3 son respectivamente 15.1, 17.3 y 9.2 veces más resistentes que la población susceptible con base en la DL_{50} , y respectivamente 12.7, 15.5 y 7.5, veces más resistentes que la población susceptible, en términos de la ED_{50} ((Palma Bautista et al., 2018).

Tabla 1. Parámetros de la ecuación log-logística^a utilizada para estimar la dosis (g ea ha⁻¹) necesaria para causar el 50% de mortalidad de plantas (DL_{50}) y de

reducción de peso fresco (ED₅₀%) de cuatro poblaciones de *Parthenium hysterophorus* colectadas en cítricos en Puebla y Veracruz.

Poblacion	d	b	Dosis	IC 95% ^b		FR ^c
				Inferior	Superior	
			DL ₅₀			
GS	100	1.3	173	197	149	
GR1	100	2.4	2618	2724	2512	15.1
GR2	100	2.6	2985	3322	2648	17.3
GR3	100	2.3	1594	1735	1453	9.2
			ED ₅₀			
GS	100	4.1	48	52	43	
GR1	100	1.1	611	651	571	12.7
GR2	100	1.3	742	794	690	15.5
GR3	100	0.9	360	427	293	7.5

^a $Y=d/1+(x/g)$, donde: Y= respuesta al 50%, d es el coeficiente correspondiente al límite superior de la asíntota, b es la pendiente de la línea de regresión, x es la dosis del herbicida, y g es la dosis en el punto de inflexión, es decir la DL₅₀ o ED₅₀.

^bIC es el valor del intervalo de confianza 95% (n=10).

^cFR factores de resistencia [FR=DL₅₀ o ED₅₀ (resistente) /ED₅₀ o DL₅₀ o ED₅₀ (susceptible)].

CONCLUSIONES

Existen muchas pruebas que se pueden realizar para confirmar la resistencia de una población de maleza a un herbicida, pero sin duda los ensayos de dosis-respuesta son los más utilizados, pues con ellos se pueden determinar los parámetros de DL₅₀, ED₅₀ y FR, que permiten discriminar entre poblaciones R y S.

Una vez confirmada la resistencia a un herbicida, el siguiente paso es el estudio de los mecanismos de resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

Bagavathiann, M. V. and. Davis, A. S 2018. An ecological perspective on managing weeds during the great selection for herbicide resistance. *Pest Manag Sci*; 74: 2277–2286. DOI 10.1002/ps.4920

Beckie, H. J., Heap, I. M., Smeda R. J., and . Hall, L. M. 2000. Screening for Herbicide Resistance in Weeds. *Weed Technology* 14 (2): 428-445.

Burgos Nilda R., Tranel Patrick J., Streibig Jens C., Davis Vince M., Shaner Dale, Norsworthy Jason K. and Ritz Christian. 2017. Review: Confirmation of

- Resistance to Herbicides and Evaluation of Resistance Levels. *Weed Sci.* 61(1):4-20. <https://doi.org/10.1614/WS-D-12-00032.1>
- Dekker, J. 1997. Weed Diversity and Weed Management. *Weed Science.* 45, No. (3):357-363. <https://www.jstor.org/stable/4046031>.
- Gunsolus, J. 2021. Herbicide-resistant weeds. University of Minnesota Extension. <https://extension.umn.edu/herbicide-resistance-management/herbicide-resistant-weeds>.
- Heap, 2005. Criteria for Confirmation of Herbicide-Resistant Weeds with specific emphasis on confirming low level resistance. The HRAC.
- Moss, S. 2004. Detecting herbicide resistance. <http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000IL3890W.182VAU719SSQLS>. Consultado 4 de octubre de 2021.
- Palma-Bautista, c, Gherekhloo, j., Domínguez-Martínez, p. a., Domínguez-Valenzuela, J. A., Cruz-Hipolito, H. E., Alcántara-de la Cruz, R., Rojano-Delgado, A. M., and De Prado, R.2018. Characterization of three glyphosate resistant *Parthenium hysterophorus* populations collected in citrus groves from Mexico. *Pesticide Biochemistry and Physiology* <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.11.002>
- Peterson M. A., Collavo, A., Ovejero, R., Shivraind, V., and Walshe, M. J. 2017. The challenge of herbicide resistance around the world: a current summary. *Pest Manag Sci.* DOI 10.1002/ps.4821