



► CURSO

PRE CONGRESO

XLVI

CONGRESO NACIONAL DE

LA CIENCIA DE LA MALEZA

4 de Octubre 2025



XLVI Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza

MESA DIRECTIVA 2023-2025

Oscar Liedo Granillo
Presidente

Juan Carlos Martínez Álvarez
Vicepresidente

Juan Carlos Delgado Castillo
Secretario

Enrique Rosales Robles
Tesorero

Germán Bojórquez Bojórquez
Vicepresidente Pacífico

Miriam Sánchez Vega
Vicepresidente Norte

Hugo Enrique Cruz Hipólito
Vicepresidente Occidente

Jaime Urzúa Gutiérrez
Vicepresidente Sur

Tomás Medina Cázares
Consejo Técnico

Charles Van der Mersch
Vocal de Gestión y Relaciones Públicas

José Alfredo Domínguez Valenzuela
Vocal de Capacitación, Difusión y Vínculo Institucional

Valentín Esqueda Esquivel
Publicaciones

Comité Editorial

Hugo Enrique Cruz Hipólito
Oscar Liedo Granillo

ÍNDICE

	Página
1. Principales familias botánicas de malezas en México	4
2. Biología de malezas	15
3. Manejo integrado de maleza	21
4. Clasificación de los herbicidas por su modo y mecanismo de acción	37
5. Establecimiento, conducción y análisis de ensayos de efectividad biológica de herbicidas	58
6. Aplicación eficiente de herbicidas	72
7. Resistencia de malezas a herbicidas: detección y confirmación	86

1. 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. Parcela 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 cuáles 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, quiebraplato (figura 2J)
- Fabaceae: tronadoras, carretilla, alfalfa, tréboles (figura 2K)
- Solanaceae: mala mujer, trompillos, toloaches (figura 2L)

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



Figura 2. Familias representativas de malezas comunes. Especies de malezas comunes

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* (= *Urochloa*) *plantaginea* (zacate brillante)
- *Brassica nigra* (mostacilla)
- *Capsella bursa-pastoris* (bolsa de pastor)
- *Cenchrus echinatus* (zacate cadillo)
- *Chenopodium album* (quelite cenizo)
- *Chenopodium* (= *Chenopodiastrum*) *murale* (quelite hediondo)
- *Chloris chloridea* (= *Enteropogon chlorideus*) (zacate navajita)
- *Chloris virgata* (zacate escobilla)
- *Commelina coelestis* (tripa de pollo)
- *Commelina diffusa* (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* (zacate amor)
- *Flaveria trinervia* (retama)
- *Ixophorus unisetus* (zacate pitillo)
- *Lepidium virginicum* (lentejilla)
- *Leptochloa panicea* (zacate cola de zorra)
- *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* (= *Megathyrsus 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



Poygonum 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

2. BIOLOGÍA DE MALEZAS

Dr. Juan Lorenzo Medina Pitalúa
Depto. de Parasitología Agrícola
Universidad Autónoma Chapingo
jmedinap@chapingo.mx

La Biología de Malezas es la parte de la Ciencia de la Maleza, que estudia las adaptaciones de un grupo de especies de plantas que han evolucionado en ambientes perturbados por el hombre. Principalmente en los ambientes agrícolas, que son constantemente perturbados por la labranza del suelo y el uso del fuego para la eliminación de malezas.

Estas adaptaciones resultan como una respuesta a la presión de selección que el hombre le ha impuesto a estas plantas, desde el mismo origen de la agricultura. La forma como lo ha hecho, ha sido a través de los diferentes métodos de control aplicados a estas para su erradicación; logrando en realidad con ello, que las malezas desarrollaran dos asombrosas características biológicas de sobrevivencia y nocividad; me refiero, a su PERSISTENCIA y AGRESIVIDAD (Medina, 2000).

Se entiende por Persistencia de Malezas, la capacidad de una especie ó especies de malezas, de estar siempre presentes en los terrenos agrícolas, en diferentes formas fenológicas como son: semilla, plántula, planta en crecimiento, y planta adulta (Sobrevivencia), (Medina, 2000). Por otro lado, se entiende por Agresividad de Malezas, a la capacidad de una especie ó especies de malezas de germinar, emerger del suelo, establecerse, crecer y reproducirse, logrando constituirse en poblaciones y/ó comunidades de malezas abundantes y eficientes para aprovechar el potencial ambiental (agua, nutrientes, y luz), presentes en los terrenos agrícolas; resultando en la disminución en la disminución del potencial productivo de los cultivos con quienes crecen, (Nocividad), (Medina, 2000). En esta ocasión, explicaremos la Persistencia de Malezas.

Persistencia de la Maleza

Esta característica biológica les permite a las malezas, garantizar su sobrevivencia en tiempo y espacio en los agroecosistemas. Las malezas a lo largo de toda su historia evolutiva, la que comienza con la creación de la agricultura, ha tenido que sobreponerse ha los intentos del hombre de erradicar su presencia en los terrenos que utiliza para cultivar sus alimentos. La forma como lo ha intentado ha sido mediante la utilización de todas las estrategias de control que ha desarrollado.

Así, producto de esa presión de selección, las malezas han desarrollado tres adaptaciones biológicas que actúan armónicamente para garantizar la Sobrevivencia de estas y con esto, la necesidad del hombre de controlarlas permanentemente. Las adaptaciones biológicas de las malezas que sostienen y explican la persistencia de estas en la agricultura, son: **1).**- Alta Capacidad Reproductiva; **2).**- Diversificación de los Medios de Diseminación de sus individuos; **3).**- La Creación de Mecanismos Complejos en sus Unidades Reproductivas para Controlar la Germinación de sus Semillas (Letargo).

1).- Alta Capacidad Reproductiva

Las malezas desde sus orígenes apostaron a la reproducción sexual y asexual como medio natural para aumentar las probabilidades de sobrevivencia de las especies que crecían con los cultivos. Por esa razón la mayoría de las especies de malezas, superan por mucho la capacidad reproductiva de los cultivos. Así, mientras la capacidad de producción de “semillas” de un individuo de maleza se determina en miles, la de un individuo de cultivo, es apenas de unas cuantas centenas. Para poder lograr la maleza esta adaptación, tuvo que comprometer el tamaño de sus “semillas”; muchos embriones con pocas reservas, produciéndose abundantes “semillas” de tamaño pequeño para optimizar la fotosíntesis. Es por esto que la mayoría de las especies de malezas se caracterizan por producir miles de “semillas” por planta de tamaño muy pequeño, comparado con el tamaño de la mayoría de las plantas cultivadas.

Desde muy temprano Stevens, 1957 hace alusión a esta enorme capacidad reproductiva que tienen las especies de malezas más importantes del mundo. Indicando que una planta de *Portulaca oleraceae* puede producir más de 52000 semillas; una planta de *Amaranthus hybridus* 117000; una planta de *Chenopodium album* 72000 “semillas”, por mencionar a algunas de estas especies.

Aunado a la alta capacidad reproductiva, las malezas mediante este medio de sobrevivencia han desarrollado una amplia base genética que les confiere una enorme capacidad adaptativa a los individuos que les permite expresar una gran plasticidad fenotípica que les garantiza la posibilidad de producir nuevos individuos en cualquier situación de ambiente o de manejo.

2).- Diversificación en los Medios de Diseminación de Malezas

Una condición necesaria para asegurar que esa gran cantidad de individuos que logran generarse en forma de semillas, se expresen como individuos adultos, es asegurar que estos puedan ser diseminados en el espacio para que puedan explorar nuevos espacios y disminuir la competencia que se generaría si todos ellos, después de ser producidos por la planta madre se quedaran en el mismo lugar donde fueron procreados.

De ahí que la naturaleza evolutiva de estas especies, enfocara gran parte de sus cambios y adaptaciones en los órganos reproductivos, haciendo cada especie

cambios estructurales que le permitieran al nuevo ser creado (embrión), poder ser protegido y diseminado eficientemente en espacio y tiempo. La estructura físico-funcional que resulto de estos cambios es lo que se conoce como **Diáspora**.

La diáspora es la unidad de diseminación de los nuevos individuos (embriones), en espacio y tiempo. La diáspora puede estar representada la semilla; por un fruto; parte de un fruto; una infrutescencia; incluso la planta completa, según la especie de maleza. Los diseños estructurales que cada especie desarrollo para conformar su diáspora, son verdaderos prodigios de la creación; permitiendo que los medios naturales como el aire, el agua, los animales incluido el hombre y mecanismos propios de propulsión, sean los vehículos o fuerzas que transporten las diásporas a distancias variables.

Sin duda que, de todas las fuerzas diseminadoras que existen, la actividad humana ha sido la más importante en la distribución mundial de especies de

malezas. El papel del hombre en los movimientos de plantas y animales; de maquinaria; del transporte de productos; en el movimiento de personas y muchas otras actividades, son en definitiva la principal fuerza diseminadora de malezas.

3).- La Creación de Mecanismos Complejos en sus Unidades de Diseminación (Diásporas) para Regular la Germinación de los Embriones, (Letargo).

Una de las adaptaciones más complejas y sorprendentes que han desarrollado las malezas, es su habilidad de poder regular los mecanismos de germinación de sus embriones contenidos en sus diásporas, (Baskin y Baskin, 1989).

Los embriones vivos no germinaran aún en condiciones de ambiente favorables. Esta condición de letargo de los embriones, permiten a estos sobrevivir en el suelo por periodos de tiempo prolongado en forma de embriones vivos con potencial de germinar y desarrollar nuevos individuos. Por la condición intrínseca en que se encuentran los embriones dentro de la diáspora, se pueden distinguir dos estados de letargo de los embriones. **Embriones con letargo extrínseco o letargo ambiental** y **embriones con letargo intrínseco o letargo innato**.

Letargo Extrínseco o Letargo Ambiental

En esta condición el embrión está listo para iniciar su desarrollo, dependiendo solamente de los factores ambientales que le permitan germinar. Para que se dé el proceso de germinación de los embriones de malezas que no tienen ninguna restricción física ni fisiológica en la diáspora donde están contenidos, se requiere que los niveles de los factores ambientales se encuentren todos presentes. Son cinco factores ambientales los que condicionan la germinación de embriones de malezas, siendo estos: a) agua; b) temperatura; c) Oxígeno; d) luz y e) ausencia de inhibidores en el ambiente alrededor del embrión. Cualquiera de los factores mencionados, que no se encuentre disponible en el suelo en el nivel que requiere la especie de maleza, será motivo para que el embrión continúe en su condición de letargo y será hasta que esta restricción ambiental desaparezca, como el embrión germinara.

Letargo Intrínseco o Letargo Innato.

Generalmente un alto porcentaje de los embriones producidos por una planta de maleza trae consigo una condición de letargo innato. Letargo intrínseco, o letargo profundo. Esto se debe a la naturaleza misma de construcción de las diásporas en que se encuentran contenidos los embriones. La estructura física-química y/o fisiológica de la diáspora, no permite que los embriones contenidos en ella puedan iniciar el proceso de germinación, aún cuando el ambiente en el que se encuentran, presenten condiciones ideales para que esta se dé.

Entre las características más comunes que las diásporas de malezas presentan en su diseño y construcción que explican la imposibilidad de germinación de los embriones contenidos en ella, son: a)- la presencia de cubiertas mecánicamente duras; b)- cubiertas impermeables al agua y/o oxígeno; c)- presencia de embriones inmaduros; d)- requerimientos de postmaduración de los embriones; e).- presencia de inhibidores de la germinación en la diáspora.

Cada una de estas características estructurales pueden presentarse todas o alguna de ellas en la diáspora, haciendo que el o los embriones contenidos en ella no puedan germinar, condicionando a estas a permanecer en el suelo por periodos prolongados de tiempo. Será el tiempo interaccionando con los factores ambientales del suelo como, humedad, temperatura, oxígeno/CO₂, actividad biológica entre otros, quienes alteren y eliminen estas restricciones de la diáspora para que los embriones dejen de tener esa condición intrínseca y puedan germinar. Mientras más restricciones o candados tenga la diáspora, más tiempo e interacción con el ambiente tendrá que experimentar en el suelo antes de estar en condiciones de germinar.

La fuerza de selección más poderosa que ha direccionado a las malezas a desarrollar estas adaptaciones para darle la condición de letargo en sus diásporas, ha sido la práctica milenaria de remover el suelo (Labranza), para iniciar los eventos agrícolas.

La remoción del suelo como práctica convencional de inicio de los procesos agrícolas en el mundo se remonta a más de 5000 años. En las tumbas egipcias se pueden observar pinturas bien conservadas, donde animales bovinos jalan implementos parecidos a nuestros arados y que remueven el suelo, destruyendo la vegetación presente para acondicionar áreas de terreno para el establecimiento de cultivos. Así, la agricultura convencional se tornó la forma común de producción agrícola, basada en la remoción del suelo, utilizando diversos implementos como, el arado, rastras, cultivadoras, para destruir la vegetación presente, antes y durante el desarrollo de los cultivos.

Es una realidad que la necesidad de controlar malezas fue, es, y seguirá siendo la principal razón de labrar el suelo. La labranza destruye todo tipo de plantas establecidas en el suelo; destruye plántulas de malezas en germinación y emergencia y plantas ya establecidas en el suelo. La labranza también promueve y optimiza la germinación, emergencia y establecimiento de nuevas generaciones de malezas.

La labranza del suelo forzó a las malezas a desarrollar la adaptación del letargo de sus diásporas, para evitar la acción destructiva de la labranza, en esta particular etapa del ciclo de vida que es en el estado de embrión-semilla-diáspora. Los embriones y semillas contenidos en la diáspora, no presentan susceptibilidad a la acción destructiva de la labranza; por el contrario, la acción de voltear el suelo con el arado forzó a la diáspora de malezas a inducción del letargo para evitar su germinación y la destrucción por el arado. La labranza regular del suelo se tornó en un ciclo virtuoso para la sobrevivencia de las malezas en el tiempo, pues mientras las diásporas producidas en una temporada son enterradas e inducidas a al letargo y no germinar, las que son desenterradas en la misma operación provenientes de otros ciclos de producción anterior y que fueron enterradas, al ser colocadas en la superficie, germinarán al encontrar mejores condiciones ambientales.

Sin temor a equivocarme, sostengo que el letargo fue la adaptación más importante que las malezas desarrollaron para evitar en gran medida la acción destructiva de la labranza. El efímero control inicial, la promoción de nuevas generaciones de malezas y la erosión del suelo, hacen de esta, la práctica agrícola más perturbadora e ineficiente de la agricultura. Siendo el letargo de las diásporas la

mejor manera de restarle efectividad a esta nociva practica de control de malezas.

El Banco de Diásporas de Malezas en el Suelo: Razón de la Persistencia en los Cultivos.

La conjunción de estas tres importantes adaptaciones evolutivas, presentadas en este trabajo, actúan en forma simultánea y permanente en los campos agrícolas, creando en estos, la existencia de un reservorio de acumulación creciente de diásporas enterradas en los suelos, en forma viable y dinámica propia, semejándose a la estructura y funcionamiento de un banco. El banco de diásporas de malezas en el suelo son acumulaciones de cientos de millones de diásporas contenidas en el suelo con historia individuales únicas. Este banco de diásporas, son permanentemente recargados y enriquecidos (depósitos), por las malezas que resistieron a las medidas de control utilizadas para su control. Las fallas de control son la principal fuente de reinfestación del banco de diásporas. Otra fuente de depósito, son las diásporas que entran al suelo provenientes de la diseminación de malezas que hace que nuevas diásporas provenientes de otros lugares, entren y se establezcan.

Por otro lado, estos bancos de diásporas de malezas, se verán disminuidos por: 1)- acciones que promuevan la abundante promoción de la germinación de embriones contenidos en sus diásporas, seguida obligadamente de una eficiente destrucción de todos los individuos germinados. Aunque parece lógica este procedimiento, resulta muy difícil alcanzar dicho objetivo y muchas de las veces esta abundante germinación seguida de un deficiente control de ellas se convierte en la principal fuente de enriquecimiento de los bancos. 2)- Otro mecanismo que puede operar a favor de la disminución de los bancos de diásporas de malezas, es la salida de considerables cantidades de estas vías de diseminación. 3)- La depredación, que es la acción destructiva que diferentes organismos que viven en el suelo, pueden ejercer en las diásporas de malezas. Se conoce poco sobre el peso que juega este mecanismo en la dinámica de diásporas en el suelo, pero debe ser un mecanismo importante sobre todo en aquellos sistemas de producción que privilegian la mínima labranza acompañada de coberturas vivas y muertas sobre el suelo. 4)- La senescencia de diásporas de malezas se presenta en muchas diásporas de malezas de edad avanzada al permanecer muchos años en esta condición de diáspora esperando la oportunidad de germinar. Son diásporas viejas, sin vigor y con embriones muertos.

Un estudio clásico de la persistencia de las diásporas de malezas en el suelo, fue la que inicio en 1879, William James Beal, profesor de botánica de la Universidad de Michigan. Él enterró diásporas de 21 especies de plantas de malezas, las cuales se fueron desenterrando en periodos fijos de tiempo, mostrando que todavía para el año 2000 algunas de esas especies permanecían viables y con capacidad de germinación.

La existencia de un banco generalmente multimillonario de diásporas de malezas en el suelo y el conocimiento de su dinámica, nos permite un manejo más adecuado de estas en los cultivos. Su conocimiento nos permite entender porque las malezas son un componente siempre presente en los agroecosistemas. Que su expresión como poblaciones y/o comunidades de individuos abundantes desde el establecimiento de los cultivos es quizá el factor competitivo más importante. Que

podemos evitar la expresión de ese banco, manejando la luz desde etapas tempranas de los ciclos de vida de los cultivos, la cual es uno de los factores ambientales que podemos y debemos manejar a nuestro favor para limitar la germinación de diásporas de tamaño pequeño que necesitan de luz para germinar. Que la labranza intensiva si bien tiene un efecto devastador en los individuos de malezas ya germinados, emergidos, un efecto devastador en los individuos de malezas ya germinados, emergidos, establecidos y adultos, también es la mejor manera de sobrevivencia de las malezas al permitir a sus diásporas entrar en letargo y permitir crear las condiciones ideales para que nuevas generaciones provenientes de diásporas germinadas se vuelvan a establecer en nuestros cultivos, haciendo de las labores de control costosas, demandantes de mucha energía, y muchas veces poco eficientes, lo que lleva al enriquecimiento del banco, ciclo tras ciclo.

Manejar el banco de semillas de malezas (recuerden, diásporas), es uno de los retos más importantes en el manejo exitoso de malezas en la agricultura. Y la mejor forma es evitar su expresión de este como individuos germinados (el reto es mantener las diásporas de malezas dormidas en el suelo mientras nuestro cultivo se desarrolle en el terreno, y esto solo se logra evitando la participación de la luz en la germinación). Que todas nuestras prácticas de cultivo favorezcan el enriquecimiento de la vida del suelo para favorecer la depredación de diásporas de malezas, y finalmente haciendo una aplicación efectiva de las técnicas de control conocidas que garanticen la destrucción total de los individuos de malezas que logren germinar y establecerse.

Termino esta participación con la definición que para mí refleja con mucha exactitud la inteligencia evolutiva de las malezas en la agricultura, pues describe muy bien los dos atributos más importantes de las malezas en los cultivos, y que son su persistencia y nocividad silenciosa. Saludos.

“Las malezas, plaga visible, pero sin espectacularidad, cuya presencia es obvia, pero sus efectos en los cultivos no lo son” (Morgan, 1850.).

BIBLIOGRAFÍA

- Baskin, J. M. and Baskin, C.C. 1989. Physiology of dormancy and germination in relation to seed bank ecology. En: M.A. Leck; V.T. Parker and R.L. Simpson (Eds.). Ecology of soil seed banks. Academic Press, Inc. pp 33-66.
- Bulher D.D.; Hartzler, R.G. and Forcella, F. 1997. Implications of weed seedbank dynamics to weed management. Weed Sci. 45:329-336.
- Faulkner E.H. 1943. Plowman's folly. University of Oklahoma Press Norman, Oklahoma, USA. 161p.
- Harper J.L. 1977. Population biology of plants. Academic Press, Inc. London. 892p.
- Medina J.L. 2000. Curso manejo y control de malezas bajo sistemas de labranza de conservación. UACH. 94 p.

3. MANEJO INTEGRADO DE MALEZA

Tomás Medina Cazares¹
Sarahyt S. Gonzalez Figueroa¹
Enrique Rosales Robles²

¹Investigadores en Ciencia de la Maleza, INIFAP - Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, ²Asesor externo en el programa Ciencia de la Maleza,

INTRODUCCION

Las malas hierbas son plantas que crecen donde no son deseadas e interfieren con los intereses del hombre (Ashton y Monaco, 1991; Anderson, 1996). Al conjunto de malas hierbas en un área se le denomina maleza e incluye tanto a las especies silvestres como a los cultivos voluntarios indeseables (Chandler y Cooke, 1992). La maleza compite con los cultivos por luz, agua y nutrimentos y si no son controladas oportuna y eficientemente, reducen significativamente su rendimiento y la calidad del grano cosechado (Bridges, 1995). El manejo de la maleza es una de las prácticas más antiguas en la agricultura. Sin embargo, debido a que el efecto nocivo de la maleza no es evidente al inicio del desarrollo de los cultivos, en muchas ocasiones no se le otorga la importancia debida y su control se lleva a cabo cuando el cultivo ya ha sido afectado (Rosales et al., 2002). Los sistemas de manejo de malezas tienen y van a seguir teniendo una gran importancia para la agricultura, por lo que es urgente desarrollar prácticas de protección de cultivos más eficientes sin importar cual es el modelo global en el cual nos desarrollemos (agricultura convencional, orgánica, sostenible, de conservación, etc.) (De Prado y Jorriin 2001).

A nivel mundial los herbicidas son la opción preferida por los agricultores para el control de maleza en la agricultura convencional (Kudsk y Streibig, 2003). La dependencia actual a estos productos ha dado lugar a preocupaciones ambientales y de la salud humana (Riemens et al., 2022); su uso se ha asociado con efectos adversos sobre la biodiversidad (Strandberg et al., 2017) y contaminación de los mantos fríasicos (Rosebom et al., 2015). Para reducir los efectos negativos de los herbicidas que incluyen resistencia es necesario diversificar el manejo de malezas (Mortensen et al., 2012), por lo cual es necesario promover e implementar la adopción del manejo Integrado de maleza (MIM).

El manejo integrado de maleza MIM implica no sólo depender de las medidas de control de la maleza existente, sino prevenir la producción de nuevos propágulos, reducir la emergencia de maleza en los cultivos y maximizar la competencia del cultivo hacia la maleza. El manejo integrado de maleza 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 altas infestaciones (Dieleman y Mortensen, 1997).

El MIM es la selección, integración e implementación de prácticas de manejo de maleza con un enfoque de sistemas, considerando consecuencias socioeconómicas y ecológicas. Se considera como una herramienta dentro del

manejo de un agroecosistema. Es un proceso dinámico en constante movimiento y no se puede tomar como una simple receta de cocina,

Los Objetivos del MIM son:

- Disminuir pérdidas causadas por maleza
- Reducir costos de control
- Asegurar un adecuado abasto de alimentos
- Conservar la calidad del ambiente
- Obtener mayores beneficios para el productor con bajos costos para el consumidor

Al integrar técnicas preventivas, conocimientos científicos y prácticas de manejo.

CLASIFICACION DE LAS MALEZAS

El primer paso en el diseño de un programa de manejo de maleza es conocer a la maleza a controlar (Ashton y Monaco, 1991). Existen algunas formas de clasificación de las malas hierbas que son útiles en su identificación:

Clasificación botánica

La clasificación botánica de las malezas es la más importante, ya que es un sistema que permite identificar plenamente a una planta a través de sus características morfológicas, principalmente de sus órganos reproductivos, en familias, géneros y especies (Radosevich et al., 1997). El nombre científico de las plantas consta de dos palabras en latín, la primera indica el género y la segunda la especie. Para precisar más, se añade el autor, es decir, el nombre del botánico que primero describió la planta con ese nombre. Para ello, se acostumbra a usar abreviaturas, por ejemplo, L. que significa Linneo; en algunas ocasiones las especies se han tenido que reclasificar y la abreviatura del apellido del reclasificador aparece después de la del autor. Esta nomenclatura binomial es usada internacionalmente, lo cual evita confusiones por el uso de nombres comunes que varían entre regiones o países. Por ejemplo, la correhuela perenne, es conocida también como gloria de la mañana, oreja de ratón y lengua de pollo en México y “field bindweed” en Estados Unidos. Al conocer su nombre científico: *Convolvulus arvensis* L. se tiene la certeza de que se trata de la misma planta. Por lo anterior, la identificación adecuada de una mala hierba por su clasificación botánica es fundamental para su manejo.

Clasificación morfológica

Por su forma, las principales malas hierbas pueden ser clasificadas en:

Hojas anchas: Estas plantas presentan las nervaduras de las hojas en forma de red o reticuladas, dos hojas seminales o cotiledonares en las plántulas y raíces primarias con crecimiento vertical. Ejemplos: quelite, polocote y correhuela.

Zacates: Son plantas que presentan sólo una hoja seminal en sus plántulas, hojas

con disposición alterna y nervaduras paralelas y sistema radical fibroso. Ejemplos: zacate Johnson, zacate de agua, zacate cola de zorra.

Ciperáceas: Estas plantas tienen características similares a los zacates, sus principales diferencias consisten en que tienen tallos triangulares y las hojas se presentan en rosetas que nacen de la base del tallo y la inflorescencia. Ejemplos: coquillo morado y coquillo amarillo.

Clasificación por ciclo de vida

Anuales: plantas que completan su ciclo de vida en menos de un año. Pueden ser anuales de invierno (octubre-abril) o de verano (mayo-septiembre). Algunos ejemplos de malas hierbas anuales de invierno son: la borraja *Sonchus oleraceus* y la mostacilla *Brassica campestris* y anuales de verano: el quelite *Amaranthus hybridus* y el girasol silvestre o polocote *Helianthus annuus*.

Bianuales: malas hierbas que su ciclo de vida comprende dos años. En el primer año, la planta forma la roseta y una raíz primaria profunda y en el segundo año florecen, maduran y mueren. Las malas hierbas bianuales no son muy comunes. Un ejemplo de mala hierba bianual es la zanahoria silvestre *Daucus carota*.

Perennes: plantas que viven más de dos años y si se presentan condiciones favorables pueden vivir indefinidamente. Se reproducen por semilla y en muchas ocasiones vegetativamente a través de estolones, tubérculos, rizomas o bulbos. El zacate Johnson *Sorghum halepense* y la correhuella perenne *Convolvulus arvensis* son ejemplos de malas hierbas perennes.

PRINCIPALES MALEZAS EN MAÍZ, SORGO, TRIGO Y FRIJOL EN MEXICO

En México se reportan más de 400 especies de malas hierbas, pertenecientes a más de 50 familias botánicas, asociadas a diferentes cultivos (Villaseñor y Espinosa, 1998; Tamayo, 1991). Las principales especies de maleza en maíz, sorgo, trigo y frijol se presentan en el Cuadro 1 de acuerdo con su clasificación morfológica.

Cuadro 1. Principales malas hierbas en maíz, sorgo, trigo y frijol en México.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Hábito	Ciclo
HOJAS ANCHAS				
Acahual	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	Asreraceae	E	A
Acetilla	<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	E	A
Amargosa, Estafiate	<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	Asteraceae	E	A
Correhuela, Bejuco	<i>Ipomoea</i> spp.	Convolvulaceae	R-T	A
Chayotillo, Cadillo	<i>Xanthium strumarium</i> L.	Asteraceae	E	A
Chual blanco,	<i>Chenopodium album</i> L.	Chenopodiaceae	E	A

Q.cenizo				
Chual morado	<i>Chenopodium murale</i> L.	Chenopodiaceae	E	A
Giganton, Chotol	<i>Tithonia tubaeformis</i> (Jacq.)Cass	Asteraceae	E	A
Lechosa, Leche de sapo	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae	E	A
Lengua de vaca	<i>Rumex crispus</i> L.	Polygonaceae	E	P
Malva, quesillo	<i>Anoda cristata</i> (L.) Sshiltdl.	Malvaceae	R	A
Malva	<i>Malva praviflora</i> L.	Malvaceae	E	A
Meloncillo, pepinillo	<i>Cucumis melo</i> L.	Cucurbitaceae	R-T	A
Mostaza, mostacilla	<i>Brassica campestris</i> L.	Brassicaceae	E	A
Quelite bledo	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Amaranthaceae	E	A
Quelite	<i>Amaranthus palmeri</i> S.	Amaranthaceae	E	A
Toloache	<i>Datura stramonium</i> L.	Solanaceae	E	A
Tomatillo	<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	E	A
Trampillo, abrojo	<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	Solanaceae	E	P
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	R	A
ZACATES				
Gramma, gramilla	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Poaceae	R	P
Zacate cangrjo,pata de gallo	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Poaceae	E	A
Zacate de agua	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	Poaceae	E	A
Zacate espiga, carricillo	<i>Panicum fasciculatum</i> Swartz.	Poaceae	E	A
Zacate guiador, panicum	<i>Panicum reptans</i> L.	Poaceae	E	A
Zacate Johnson	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers	Poaceae	E	P
Zacate lancita	<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) Lutati	Poaceae	E	A
Zacate pata de gallo	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn	Poaceae	E	A
Zacate pinto, lagunero	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link.	Poaceae	E	A
Zacate pitillo	<i>Ixophorus unisteus</i> (Presl.) Schult	Poaceae	E	A
Zacate pegaropa	<i>Setaria verticillata</i> L.	Poaceae	E	A
Zacate salado	<i>Leptochloa filiformis</i> (Lam) Beauv.	Poaceae	E	A
CYPERACEAS				
Coquillo Amarillo	<i>Cyperus esculentus</i> L.	Cyperaceae	E	P
Coquillo morado, ajillo	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae	E	P

Hábito: E= erecto; R= rastrero; T= trepador; Ciclo: A= anual; P= perenne

DAÑOS OCASIONADOS POR LA MALEZA

Al conjunto de daños causados por la maleza a los cultivos se le denomina

interferencia. La interferencia incluye la reducción del rendimiento por competencia y la alelopatía, la disminución en la calidad del producto cosechado, el aumento en los costos de cosecha y la mayor incidencia de plagas y enfermedades (Stoller et al., 1987). Las pérdidas de rendimiento son ocasionadas principalmente por la competencia entre maleza y cultivo por luz, agua y nutrimentos, factores básicos para el desarrollo de las plantas (Chandler et al., 1984; Trenbath, 1976).

La mayor incidencia de plagas y enfermedades por la presencia de maleza es muy importante en los cultivos. En soya, la presencia de amargosa incrementa la incidencia del tizón de la yema, enfermedad causada por el virus de la mancha anular del tabaco, al hospedar trips que transmiten esta enfermedad. Entre los daños que la maleza ocasiona deben considerarse, la disminución en la calidad del grano y fibra, la contaminación de lotes de producción de semilla, la dificultad en el manejo y distribución del agua de riego y la depreciación de los lotes agrícolas infestados con malas hierbas (Ellis et al., 1998; Rosales et al. 2002).

En trigo la competencia de maleza ocasiona pérdidas de rendimiento de 19% si no se ejerce algún tipo de control en los primeros 50 días de su desarrollo y 59% si se permite la libre competencia de maleza durante todo el ciclo.

La avena silvestre es también una especie altamente competitiva comúnmente asociada al trigo. Una densidad de población de 50 plantas de avena silvestre por metro cuadrado disminuyó 55% el rendimiento de trigo al permitir su competencia durante los primeros 60 días de desarrollo del cultivo. Cuando la población de avena silvestre fue de 300 plantas por metro cuadrado, el rendimiento de trigo se redujo en 85% al competir con el cultivo por 60 días (Tamayo, 1991).

PERIODO CRÍTICO DE COMPETENCIA

La competencia de la maleza afecta el desarrollo y rendimiento de los cultivos. La severidad de la competencia entre la maleza y los cultivos anuales depende de las malezas presentes, densidad del cultivo y la maleza, época de emergencia de la maleza, sistema de siembra, condición de humedad, nivel de fertilidad del suelo y duración del período de competencia, entre otros (Radosevich et al., 1997). En general, la competencia es más crítica durante la primera parte del desarrollo vegetativo del cultivo. Lo anterior ha dado como resultado la definición de : Período crítico de competencia (PCC). El PCC es el intervalo entre el tiempo crítico de inicio del control (critical time for weed removal, CTWR), cuando el retraso en el control comienza a generar pérdidas inaceptables, y el período crítico libre de malezas (critical weed-free period, CWFP), que es la duración mínima sin malezas necesaria para evitar mermas de rendimiento. Por ello, su estimación debe realizarse con datos locales y ajustarse por sistema de labranza, fecha de siembra y densidad del cultivo, ya que estos factores desplazan tanto el CTWR como el CWFP (Knezevic et al., 2002; Ramesh et al., 2021). En maíz, por ejemplo, prácticas como la labranza y la aplicación de quema previo a la siembra modifican la amplitud del PCC (Adamič Zamljen et al., 2023).

En este aspecto, se considera que las reducciones significativas o umbral económico ocurren cuando las pérdidas de rendimiento igualan al costo de control de maleza. Con fines prácticos se ha considerado un 5% de reducción de rendimiento como el umbral económico en la mayoría de los cultivos anuales (Ghosheh et al., 1996).

METODOS DE CONTROL DE MALEZA

Los diferentes tipos de control de maleza pueden ser agrupados en varios métodos generales:

Algunas prácticas que pueden coadyuvar al manejo de las malezas, pero también a prevenir la introducción de semillas a nuevos sitios o a evitar la dispersión de semillas o propágulos hacia nuevos sitios, son las siguientes:

Capacitación

La inducción de los productores y técnicos a nuevos esquemas o filosofías de manejo integrado de malezas, es el primer paso para focalizar la problemática y definir los planes regionales de manejo, todo con el objeto de contribuir a la reducción de las poblaciones de malezas en las diferentes parcelas; así como conseguir el compromiso de cada uno de los participantes en las diferentes etapas del ciclo productivo tendientes a la ejecución de programas permanentes de manejo para evitar la reinfestación de parcelas. El plan de capacitación debería incluir los siguientes puntos, de manera no limitativa:

- Especies de maleza de importancia económica, biología y ecología
- Resistencia a herbicidas, casos registrados, importancia, métodos de detección
- Plan de manejo integrado de malezas
- Calibración de equipos de aplicación, boquillas, mangueras, aguilones, momento oportuno

Control Legal

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), son regulaciones técnicas de observancia obligatoria, por ende se establecen aquellas en materia de Sanidad Vegetal, la NOM-043-FITO-1999 (Especificaciones para prevenir la introducción de malezas cuarentenarias a México) no es la única que procede aplicar para el manejo de malezas, hay que articular las otras medidas fitosanitarias oficiales ya que se constituyen como herramientas fundamentales en el manejo de malezas, donde se incluyen las campañas fitosanitarias para prevenir la introducción (cuando no está presente una especie de maleza) o para evitar la dispersión hacia nuevos sitios (cuando está presente). Un ejemplo típico de este esquema es la campaña contra especies de malezas reglamentadas o cuarentenadas que se aplica en México desde hace casi 10 años para especies como *Polygonum convolvulus*, *Cuscuta* spp., *Rottboellia cochinchinensis*, *Silybum marianum*, *Urochloa panicoides*, *Themeda quadrivalvis*, *Digitaria velutina*, *Aegilops cylindrica* y *Emex australis*.

Este tipo de acciones debería incluir necesariamente la participación de los productores y todos los sectores involucrados para atender la problemática en toda la zona agroecológica. Los esfuerzos individuales no redundarán en una reducción de los niveles de infestación de una especie puesto que hay muchos involucrados y cada quién tiene una responsabilidad en la cadena productiva.

Las medidas legales deberían incluir el control de la movilización de granos y semillas para evitar la dispersión, primero, de semillas de malezas reglamentadas, pero también de semillas de biotipos resistentes a herbicidas. Debería ser

obligatoria la aplicación de medidas de manejo en parcelas altamente infestadas, con presencia de malezas de importancia económica o malezas reglamentadas y sobre todo donde se confirme la presencia de biotipos de malezas resistentes a herbicidas.

Control Preventivo

Se refiere a las medidas tomadas para impedir la introducción, establecimiento y desarrollo de maleza en áreas no infestadas. Estas medidas incluyen: uso de semilla certificada, habilitada o seleccionada la llegada de nuevas especies de malezas a un sitio o parcela, frecuentemente está relacionada con la introducción de semillas de cultivo contaminadas; eliminación de maleza en canales de riego y caminos; limpieza de maquinaria: uno de los medios comunes de contaminación de parcelas es por el uso de maquinaria contaminada con residuos donde se pueden localizar grandes cantidades de semillas de malezas. Es deseable que antes de introducir cualquier tipo de maquinaria a nuestras parcelas, ya sea propia o rentada, se debería asegurar que está completamente limpia de esos residuos y, por ende, de semillas de malezas y el no permitir el acceso de ganado de zonas con altas poblaciones de maleza a áreas libres. Otras medidas preventivas incluyen la siembra en terreno libre de maleza y el control de maleza antes de su floración para impedir que se incremente el banco de semillas de maleza en el suelo. El control legal es un control preventivo a escala regional o nacional apoyado en leyes adecuadas para lograr su objetivo.

Control Cultural

Incluye prácticas de manejo como la selección y rotación de cultivos, sistema y fecha de siembra entre otras, que promueven un mejor desarrollo del cultivo para hacerlo más competitivo hacia la maleza. Una medida básica para el manejo de maleza es el establecimiento de una población adecuada de plantas cultivadas. Las áreas del terreno con una baja población de plantas cultivadas son más susceptibles de infestarse con maleza. La siembra de maíz, sorgo y frijol en surcos estrechos de 35 a 70 cm promueve que el cultivo sea más competitivo al “cerrar” más rápidamente los surcos, sombrear el terreno e impedir el establecimiento de nuevas poblaciones de maleza. Sin embargo, este método de siembra requiere su integración al uso de herbicidas al no ser posible el paso de escardas (Elmore et al., 1990).

Aplicación de riegos muertos: cuando las condiciones de las parcelas por las altas infestaciones de malezas son insostenibles, donde la producción de cualquier cultivo es casi imposible, la aplicación de riegos muertos, si se dispone de agua, es una de las medidas más importantes para reducir el banco de semillas de esos suelos. Esta práctica permite controlar una gran cantidad de malezas que emergen de los primeros centímetros del suelo.

La rotación de cultivos es vital para impedir la selección de especies de maleza difíciles de controlar en la soya, además de rotar el uso de herbicidas y evitar el desarrollo de resistencia a herbicidas en la maleza (Buhler, 1995). Otra estrategia cultural es incluir el uso de cultivos de cobertura viva, los cuales crecen asociados a un cultivo que es económicamente más importante. Dentro de las ventajas de este tipo de sistemas de cultivo se incluyen, además del control de maleza, la reducción de la erosión, la estabilización de la materia orgánica del suelo, el mejoramiento de la estructura del suelo y la reducción de su compactación (Radosevich et al., 1997)

Control Mecánico

Se refiere a las prácticas de control de maleza basadas en el uso de la fuerza física. El control mecánico incluye los deshierbes manuales e incluso el uso del fuego. En sistemas de labranza convencional el control mecánico de maleza incluye la labranza primaria o preparación del terreno mediante arado, subsuelo y rastra, y la labranza secundaria como la siembra y el paso de escardas (Buhler, 1998). Además, el sistema de siembra en húmedo o a "tierra venida" elimina la primera generación de maleza y permite establecer los cultivos en suelo sin maleza. Posteriormente el paso de escardas con cultivadora rotativa ("lilliston") o de picos ("sweeps"), elimina a la maleza a la vez que ayuda al "aporque" del cultivo y facilita la conducción del agua de riego. El número y época de las escardas depende de factores como presencia de maleza, humedad del suelo y disponibilidad de equipo. El paso de dos escardas o cultivos a los 15 a 20 días y 25 a 35 después de la emergencia de los cultivos es una práctica común (Reddy et al., 1999; Esqueda et al., 1997). Es importante señalar que el control de maleza entre los surcos por medio de escardas es eficiente si se lleva a cabo oportunamente. No obstante, la maleza que se establece en la hilera de plantas del cultivo sólo puede ser controlada en sus primeras etapas de desarrollo por medio de escardas con cultivadoras rotativas al cubrirlas con suelo.

Eliminación de escapes: en etapas intermedias y al final del ciclo de producción es común observar manchones de malezas que de algún modo escaparon a las prácticas de manejo convencionales iniciales. Aunque lo más preocupante sería la posibilidad de tener un posible foco de infestación con un biotipo resistente, bajo cualquier circunstancia donde haya escapes, sería deseable que de forma manual se eliminaran esos escapes antes de la floración y maduración de las semillas.

Eliminación de malezas en canales de riego y bordes de parcelas: en muchas situaciones, la infestación de las parcelas se presenta a partir de las semillas que llegan a través del agua de riego, provenientes de parcelas contiguas o de nuevas

especies de malezas que están en proceso de introducción e invasión de nuevos sitios.

En sistemas de labranza de conservación, la labranza primaria es limitada o bien sustituida por la aplicación de herbicidas. Sin embargo, el paso de escardas puede efectuarse con cultivadoras de picos que arrancan la maleza sin disturbar los residuos de cosecha que cubren el suelo. El uso de cultivadoras rotativas en labranza de conservación es limitado por los residuos de plantas en la superficie del suelo (Buhler, 1995; 1998).

Control Químico

Se efectúa por medio del uso de productos químicos comúnmente llamados herbicidas que, aplicados en la época y dosis adecuadas, inhiben el desarrollo o matan a las plantas indeseables. El uso de herbicidas debe efectuarse sólo cuando los otros métodos de control no son factibles de utilizarse o cuando su uso representa una ventaja económica para el productor. En la actualidad los herbicidas constituyen la herramienta más efectiva en programas de control de maleza (Reedy et al., 1999)

El control químico requiere de conocimientos técnicos para la elección y aplicación eficiente y oportuna de un herbicida (Rosales et al., 2002). El control químico tiene ventajas importantes sobre los otros métodos de control de maleza: oportunidad en el control maleza, pues la elimina antes de su emergencia o en sus primeras etapas de desarrollo; amplio espectro de control; control de maleza perenne; control residual de la maleza.

El uso inapropiado de los herbicidas representa algunos riesgos a la agricultura. Sin embargo, todos estos daños son posibles de evitar con una buena selección y aplicación de estos productos y con el conocimiento de sus características específicas (Rosales et al., 2002). Algunos de los posibles riesgos por el uso inadecuado de herbicidas son: daños al cultivo en explotación por dosis excesiva o a cultivos vecinos por acarreo del herbicida; daños a cultivos sembrados en rotación por residuos de herbicidas en el suelo; cambios en el tipo de maleza por usar continuamente un herbicida; desarrollo de resistencia de malezas a herbicidas.

En Estados Unidos en la actualidad existen alrededor de 200 ingredientes activos utilizados en la fabricación de aproximadamente 800 herbicidas comerciales (Vencill, 2002). En México, existen 65 ingredientes activos en alrededor de 300 herbicidas comerciales (Anónimo, 2007). La presentación comercial de un herbicida consiste en el ingrediente activo en un porcentaje conocido en formulaciones sólidas o en gramos por litro en formulaciones líquidas, además de un material inerte o disolvente y en algunas ocasiones emulsificantes y coadyuvantes. Es importante conocer el ingrediente activo de un herbicida, ya que puede presentarse en forma comercial con varios nombres, tal es el caso del glifosato que se comercializa con nombres como Faena, Glyfos, Cufosato, Líder y otros.

Época de aplicación de herbicidas

Los herbicidas también pueden agruparse de acuerdo con su época de aplicación basada en el estado de desarrollo del cultivo y/o maleza. A continuación, se discuten las diferentes épocas de aplicación de herbicidas (Reedy et al., 1999).

Herbicidas de presembría foliares

Son herbicidas que se aplican antes de la siembra de los cultivos para eliminar a la vegetación existente. El glifosato y el paraquat son los herbicidas comúnmente aplicados en esta época. Estos herbicidas no son selectivos y no dejan residuos en el suelo, lo que hace posible su uso sin afectar a los cultivos sembrados posteriormente. El paraquat es un herbicida de contacto, usado para el control de maleza anual y glifosato es sistémico, por lo que es usado para el control de maleza anual y perenne.

Herbicidas de presembría al suelo

Estos herbicidas son aplicados antes de la siembra del cultivo y generalmente requieren incorporación mecánica al suelo para situarse en los primeros 5 a 10 cm de profundidad y evitar su degradación por la luz o su volatilización. Normalmente, estos herbicidas tienen poca solubilidad en agua, por lo que la lluvia o riegos no los lixivian o mueven en el suelo. Este tipo de herbicidas afecta a las semillas de maleza al germinar o emerger sin afectar al cultivo, el cual debe ser sembrado por debajo de la capa de suelo donde se sitúa la mayor concentración del herbicida. La incorporación mecánica de los herbicidas se realiza por medio de un paso de rastra de discos o cultivadora rotativa y se logra una mejor distribución de los productos en suelo seco. Un buen ejemplo de este tipo de herbicidas son trifluralina y pendimetalina de amplio uso en soya (Reedy et al. 1999).

Herbicidas preemergentes

Son los herbicidas que se aplican después de la siembra, pero antes de que emerjan la maleza y la soya. Los herbicidas pre-emergentes requieren de un riego o precipitación en los primeros 10 días después de su aplicación para situarse en los primeros 5 cm de profundidad del suelo, donde germina la mayor parte de la semilla de maleza. Este tipo de herbicidas elimina a las malas hierbas en germinación o recién emergidas, lo que evita la competencia temprana con el cultivo. Los herbicidas pre-emergentes presentan una gran interacción con algunas características del suelo como son: textura, pH y materia orgánica que pueden afectar la cantidad de herbicida disponible en el suelo para controlar la maleza. Por lo general la dosis de este tipo de herbicidas se ajusta según el tipo de suelo, contenido de materia orgánica y pH del suelo, requiriendo una mayor dosis en suelos arcillosos y con alto contenido de materia orgánica y menor dosis en suelos alcalinos (Anderson, 1996). La elección de los herbicidas pre-emergentes depende de las especies de maleza observadas en ciclos anteriores, de las características del suelo y la rotación de cultivos.

Herbicidas postemergentes

Si la maleza se presenta cuando los cultivos ya están establecidos es común que se requiera la aplicación de herbicidas post-emergentes (POST) para eliminarla y evitar su competencia y producción de nuevas semillas. Es importante señalar que, en la mayoría de los casos, la aplicación de herbicidas POST debe realizarse sobre maleza en sus primeros estados de desarrollo (2 a 4 hojas) cuando es más susceptible a los herbicidas y su competencia es mínima.

Los herbicidas POST pueden ser más económicos para el productor al utilizarse sólo donde se presenta la maleza. La actividad de los herbicidas POST depende de factores como su grupo químico, especies de malezas presentes y condiciones de clima como velocidad del viento, temperatura del aire, humedad relativa y presencia de lluvia. Estos factores influyen para obtener un cubrimiento uniforme de la aspersión sobre la maleza y su posterior absorción. El cubrimiento adecuado de la maleza es más crítico con el uso de herbicidas POST de contacto que con los de acción sistémica. Las condiciones óptimas para lograr un buen control de maleza con los herbicidas POST son: maleza en sus primeras etapas de desarrollo y en crecimiento activo, temperatura del aire de 20 a 30° C, humedad relativa mayor de 60%, buena humedad del suelo y ausencia de rocío sobre la maleza y ausencia de lluvias por 4 a 6 horas después de la aplicación (Buhler, 1998).

Control Biotecnológico

Se efectúa por medio del uso de organismos genéticamente modificados que por medio de la biotecnología son inducidos genes que le confieren una característica específica a ese material que la hace resistente a la aplicación de un producto agroquímico en este caso sería a un herbicida, los más típicos son los materiales de maíz, soya, alfalfa y algodón que poseen esa característica.

Control Biológico

Se efectúa por medio del uso de organismos vivos ya sean hongos, bacterias, virus o insectos que atacan una especie de maleza en particular y que son altamente específicos en su acción. Prácticamente es una acción no explorada en nuestro país, se ha encontrado al hongo *Puccinia coronata* en *Avena fatua* y *Phalaris minor*, pero es necesario realizar una búsqueda de posibles enemigos naturales que pueden coadyuvar al manejo de estas malezas de manera práctica.

La adopción de control biológico aumentó en América Latina, con aplicaciones a gran escala en campo abierto. Para malezas, destacan bioherbicidas basados en hongos y bacterias fitopatógenas y el uso de insectos específicos en especies invasoras. Integrar estas tácticas con medidas preventivas y culturales es clave para sostener su efectividad.

Control con agricultura de precisión e Inteligencia Artificial

La agricultura moderna experimenta una revolución tecnológica sin precedentes. Las tecnologías agrícolas actuales están transformando completamente los métodos de producción tradicionales, integrando innovaciones como drones, sensores IoT, inteligencia artificial y robótica.

Estas innovaciones agrícolas buscan optimizar la productividad, hacer un uso más eficiente de los recursos naturales y reducir el impacto ambiental.

Aplicaciones principales

- Monitoreo aéreo con drones (RGB/multiespectral) para estimar densidad y distribución de malezas y priorizar franjas de control.
- Rociado selectivo en tiempo real (*see-and-spray*) que activa boquillas solo donde se detecta maleza, reduciendo insumos.
- Robótica de deshierbe intra-hilera con actuadores mecánicos o láser, apta para reducir maleza en etapas tempranas sin dañar el cultivo.
- Sistemas de apoyo a decisiones (DSS) que integran clima, suelo y fenología para programar ventanas óptimas (CTWR/CWFP) y elegir tácticas.

La tecnología utiliza visión artificial para detectar y localizar malezas con precisión. Este sistema de inteligencia artificial analiza imágenes en tiempo real para identificar patrones específicos de malezas y distinguirlas de los cultivos deseados.

Proceso de Detección: La IA analiza continuamente el campo, identifica las malezas y activa la pulverización solo en las áreas específicas donde se detectan, evitando el desperdicio de herbicidas en zonas limpias.

Los resultados de la investigación demuestran que la pulverización dirigida con IA funciona tan eficazmente como la pulverización tradicional para controlar malezas, pero con beneficios adicionales significativos.

Buenas prácticas de implementación

- Construir y actualizar bancos de imágenes locales de las especies problema del Bajío.
- Usar *transfer learning* y aumento de datos para mejorar la generalización entre ciclos y ambientes.
- Validar en campo el ahorro de herbicida, el impacto en rendimiento y la robustez frente a variabilidad ambiental.
- Integrar la IA al MIM con tácticas preventivas, culturales, mecánicas y químicas, evitando dependencia de una sola tecnología.

Beneficios clave:

- **contaminación ambiental:** Disminuye la cantidad de herbicidas en el medio ambiente
- **Eficiencia económica:** Reduce costos de insumos en 75%
- **Precisión:** Aplica tratamiento solo donde es necesario
- **Sostenibilidad:** Menor impacto químico en el ecosistema

Visión Futura: La tecnología de IA agregará capacidades de detección temprana de malezas, manejo dirigido y seguimiento continuo de poblaciones de malezas a lo largo del tiempo.

El objetivo es apoyar a los agricultores para que se mantengan en el negocio y sean más eficientes, combinando inteligencia artificial con prácticas agrícolas sostenibles.

Desafíos

Incluyen la recolección y análisis de datos, la generalización de modelos, la capacitación del personal y el costo de los equipos.

BIBLIOGRAFIA

- Adamič Zamljen, S., Cukjati, B., & Pongrac, P. (2023). Critical period of weed control in maize as influenced by tillage practice and timing of burndown herbicide. *Agronomy*, 14(1), 93. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010093>
- Ahrens, W.H. 1994. *Herbicide Handbook*. Seventh Edition. Weed Science Society of America. Champaign, IL.
- Aldrich, R.J. and R.J. Kremer. 1997. *Principles in Weed Management*. Iowa State Univ. Press. Ames, Iowa.
- Anderson, W.P. 1996. *Weed Science: Principles and Practices*. 3rd. Ed. West Publishing Company. Minneapolis, MN.
- Baker, H.G. 1974. The evolution of weeds. *Annual Rev. Ecol. Syst.* 5:1-24.
- Black, C. C., T. M. Chen, and R. H. Brown. 1969. Biochemical basis for plant competition. *Weed Sci.* 17:338-343.
- Bridges, D. C. 1995. Weed interference and weed ecology. pp: 417-422. In: *Herbicide Action Course*. Purdue University. West Lafayette, Indiana.
- Bruce, J.A. and J.J. Kells. 1990. Horseweed (*Conyza canadensis*) control in no-tillage soybean with preplant and preemergence herbicides. *Weed Technol.* 4:642-647.
- Buhler, D.D. 1998. Tillage systems and weed population dynamics and management. pp: 223-246. In: J.L. Hatfield, D.D. Buhler and B.A Stewart, eds. *Integrated Weed and Soil Management*. Ann Arbor Press. Chelsea, MI.

- Burnside, O. C., and G. A. Wicks. 1967. The effect of weed removal treatments on sorghum growth. *Weeds* 15:314-316.
- Burnside, O.C. 1968. Control of wildcane in soybeans. *Weed Sci.* 16:18-22.
- 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.
- Cao, Z., Chen, X., Wang, J., & Li, Y. (2025). A review of computer vision and deep learning applications in weed detection. *Applied Sciences*, 15(15), 8438. <https://doi.org/10.3390/app15158438>
- Contreras, C. E y L.M. Tamayo, E. 1999. Tecnología para el control de maleza en los principales cultivos del Valle del Yaqui, Sonora. Publicación Técnica No.1. Campo Experimental Valle del Yaqui, CIRNO-INIFAP.
- Danish Environmental Protection Agency. (2024). The Danish Pesticide Leaching Assessment Programme: Monitoring results May 1999–June 2024. https://www.vap.dk/wp-content/uploads/2025/04/The_Danish_Pesticide_Leaching_Assessment_Programme_Monitoring_results_May_1999-June_2024_web.pdf
- Davis, R. G., A. F. Wiese, and J. L. Pafford. 1965. Root moisture extraction profiles of various weeds. *Weeds* 13:98-102.
- Forcella, F., K. Eradat-Oskoui, and S.W. Wagner. 1993. Application of weed seedbank ecology to low-input crop management. *Ecol. Appl.* 3:74-83.
- Graham, P. L., J. L. Steiner, and A. F. Wiese. 1988. Light absorption and competition in mixed sorghum - pigweed communities. *Agron. J.* 80:415-418.
- Heap, I. (2025). The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. [WeedScience.org](https://www.weedscience.org/). <https://www.weedscience.org/>
- Holm, L.G., D.L. Plunknett, J.V. Pancho, and J.P. Herberger. 1977. *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. University Press of Hawaii, Honolulu.
- Klingman, G.C. and F.M. Ashton. 1975. *Weed Science: Principles and Practices*. John Wiley and Sons. New York.
- Knezevic, S. Z., Evans, S. P., Blankenship, E. E., Van Acker, R. C., & Lindquist, J. L. (2002). Critical period for weed control: The concept and data analysis. *Weed Science*, 50(6), 773–786. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0773:CPFWCT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0773:CPFWCT]2.0.CO;2)
- Kudsk, P., Streibig, J.C., 2003. Herbicides – a two-edged sword. *Weed Res.* 43, 90–102. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00328.x>.
- Lopez, J. A. 1988. Biological aspects and control of johnsongrass in grain sorghum. M.S. Thesis. Texas A&M Univ., College Station, TX.
- Matthews, G.A. 1987. Métodos para la Aplicación de Pesticidas. CECSA, México.
- McWhorter, C.G. 1989. History, biology, and control of johnson-grass. *Rev. Weed Sci.* 4:85-121.
- McWhorter, C.G. and M.R. Gebhardt. 1987. *Methods of Applying Herbicides*. Monograph Series of the Weed Science Society of America. Number 4. Champaign, IL.
- Mortensen, D.A., Egan, J.F., Maxwell, B.D., Ryan, M.R., Smith, R.G, 2012. Navigating a Critical Juncture for Sustainable Weed Management. *BioScience* 62 (1), 75–84. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.12>.

- Qi, Y., Li, Q., Li, Y., & Chen, J. (2020). Effects of herbicides on non-target plant species diversity in a fallow field. *Scientific Reports*, 10, 10436. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67025-2>
- Radosevich, S., J. Holt, and C. Ghera. 1997. *Weed Ecology: Implications and Management*. Second Ed. John Wiley and Sons. New York.
- Ramesh, K., Rathika, S., & Janpoi, S. (2021). Revisiting the concept of the critical period of weed control. *The Journal of Agricultural Science*, 159(10), 829–843. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000564>
- Reedy, K.N., L.G. Heatherly, and A. Blaine. 1999. Weed management. pp: 171-195. In: *Soybean Production in the Midsouth*. L.G. Heatherly and H.F. Hodges, eds. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Riemens, M., Sonderskov, M., Moonen, A. C., Storkey, J., y Kudsk, P. 2022. An integrated weed management framework: a pan-European perspective. *European Journal of Agronomy*, 133, 126443.
- Rosales Robles, E. y L.A. Rodríguez del Bosque. 1991. Efecto de la densidad de polocote (*Helianthus annuus*) sobre el desarrollo y rendimiento del trigo. XI Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. Irapuato, Gto.
- Rosenbom, A.E., Olsen, P., Plauborg, F., Grant, R., Juhler, R.K., Brüsck, W., Kjær, J., 2015. Pesticide leaching through sandy and loamy soils - long-term lessons learnt from the danish pesticide leaching assessment programme. *Environ. Pollut.* 201, 75–90. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.002>.
- Saini, P., & Singh, A. (2025). Deep learning applications in weed detection: A comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 219, 109952.
- Shibley, J. L., and A. F. Wiese. 1969. Economics of weed control in sorghum and wheat. *Texas Agric. Exp. Stn. MP-909*.
- Spraying Systems Company. 1995. Tee Jet: Agricultural spray products catalog 45A. Wheaton, IL.
- Strandberg, B., Boutin, C., Mathiassen, S.K., Damgaard, C., Dupont, Y.L., Carpenter, D., Kudsk, P., 2017. Effects of herbicides on non-target terrestrial plants. In: Duke, S.O., Kudsk, P., Solomon, K. (Eds.), *Pesticide Dose: Effects on the Environment and Target and Non-Target Organisms*, Vol. 1249. ACS Symposium Series, pp. 149–166.
- Swan, D. G. 1980. Field bindweed *Convolvulus arvensis*. College of Agriculture Research Center. Washington State Univ. Bulletin 0888.
- Tamayo, E. L. M. 1991. La maleza y su manejo integrado en México. pp: 133-153. In: *Memorias del Curso sobre Manejo y Control de Malas Hierbas*. Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza. Acapulco, Gro.
- Triplett, G.B. 1985. Principles of weed control for reduced-tillage corn production. pp: 26-40. In: A.F. Wiese, ed. *Weed Control in Limited Tillage Systems*. Weed Sci. Sc. Am., Champaign, IL.
- VanHeemst, H. D. J. 1985. The influence of weed competition on crop yield. *Agric. Systems* 18:18-93.
- Wiese, A. F., and W. C. Vandiver. 1970. Soil moisture effects on competitive ability of weeds. *Weed Sci.* 18:518-519.
- van Lenteren, J. C., Bueno, V. H. P., Luna, M. G., & Parra, J. R. P. (2025). Latin America has the largest area under augmentative biological control.

Biological Control, 192, 105512.

<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2025.105512>

Zimdahl, R.L. 1993. Weed biology: reproduction and dispersal. pp: 59-89. In: R.L. Zimdahl, Fundamentals of Weed Science. Academic Press. Fundamentals of Weed Science. Academic Press.

4. CLASIFICACIÓN ACTUALIZADA 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 solo alguna 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 40% de la producción agrícola mundial se pierde por el manejo inadecuado de insectos y ácaros (14%), patógenos (13%) y malezas (13%) a pesar de las medidas de control utilizadas, incluyendo el uso de plaguicidas (Pimentel *et. al.*, 1993). 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 altas (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 el banco de semillas en el suelo y la emergencia de maleza en los cultivos en ciclos posteriores.

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.

Los herbicidas son los plaguicidas más utilizados en la agricultura mundial. En 2022 de un total de 2.66 millones de toneladas de plaguicidas aplicados, el 52.5% fue de herbicidas, 22.8% fueron fungicidas o bactericidas y 17.7% fue de insecticidas (Statista, 2022). 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, una aplicación efectiva para evitar daños a cultivos vecinos y el uso y manejo 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 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 por los productores.

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 la actualidad, el mercado mundial de plaguicidas comprende alrededor de 40% de productos con patente y 60% de productos genéricos (Data M Intelligence, 2022). 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 que el suelo tenga humedad al momento de la aplicación y de un riego o precipitación en las primeras dos semanas después de su aplicación 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. Sin embargo, no evitan la germinación de las semillas de malezas, ni actúan en semillas en latencia.

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 el control de 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 nicosulfuron 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 tanto para el control de maleza anual como perenne (Ross y Lembi, 1985).

Familia química

Esta clasificación se basa en la composición química de los diferentes ingredientes activos usados como herbicidas. Los herbicidas pertenecientes a una familia química tienen propiedades 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 y sulfonilureas (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, Kapler y Namuth, 2004). 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, 2024).

Con fines prácticos el Comité de Acción de Resistencia a Herbicidas (HRAC, 2024) clasifica los herbicidas ahora en solo tres modos de acción:

I Herbicidas activados por luz para producir especies reactivas de oxígeno

II Herbicidas que afectan la división celular y crecimiento

III Herbicidas que afectan el metabolismo celular

Esta clasificación facilita el reconocimiento de los herbicidas por sus síntomas, 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 Weed Science Society of America (WSSA) como una herramienta básica para el manejo de la resistencia a herbicidas (Shaner, 2014; HRAC, 2024). A partir de 2020, tanto el HRAC como la WSSA usan la clasificación de herbicidas en 26 grupos, a los que asigna un número arábigo 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). En México, están registrados 117 ingredientes activos, aunque no todos siguen siendo comercializados (COFEPRIS, 2024). El HRAC registra 361 ingredientes activos en su nueva clasificación (HRAC, 2024).

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 cada grupo se incluyen los principales herbicidas que se comercializan en México.

I HERBICIDAS ACTIVADOS POR LUZ PARA PRODUCIR ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO

INHIBIDORES DE LA FOTOSÍNTESIS EN EL FOTOSISTEMA II GRUPOS 5 y 6

El mecanismo de acción de estos herbicidas es la inhibición de la fotosíntesis, al unirse a la proteína D1 en el fotosistema II (IFSII) 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 IFSII 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, 2024). Los IFSII se utilizan principalmente para el control de malezas de hoja ancha, pero también tienen algunos efectos sobre gramíneas y se pueden clasificar en herbicidas móviles o sistémicos y herbicidas no-móviles o de contacto. Los IFSII 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 IFSII 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 IFSII 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 al permanecer activos en el suelo por más tiempo (Baumann *et al.*, 1998).

Grupo 5			
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,	Caña de azúcar
	Prometrina	Gesagard	Algodón, maíz, apio, chícharo
Triazinonas	Metribuzina	Sencor, Lexone,	Papa, tomate
	Hexazinona	Lucazinona, Hexakoor	Caña de azúcar
Triazolinonas	Amicarbazone	Orión, Pegaso	Agave, maíz
Uracilos	Bromacil	Hyvar X	Cítricos, piña
	Bromacil +	Krovar	Agave, cítricos
Ureas	Diuron	Karmex, Cañex, Diurontac. Bazuka	Caña de azúcar, maíz
	Linuron	Afalón, Linurex, Linuron Plus	Zanahoria, tabaco y otros
Amidas	Propanil	Lanza 360, Pacora,	Arroz

Los herbicidas POST de esta clase tienen un transporte limitado dentro de la planta, por lo que requieren un cubrimiento total de la misma. Por esta razón, se deben aplicar en malezas pequeñas para lograr un buen control (Baumann *et al.*, 1998). Estos herbicidas tienen una residualidad limitada en el suelo. La selectividad de los IFFII 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 ya que su transporte es limitado.

Grupo 6			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Benzotiadizinas	Bentazona	Basagran	Frijol, chícharo, soya, cacahuate, maíz y arroz

DESVIADORES DE ELECTRONES EN EL FOTOSISTEMA I GRUPO 22

En este grupo solo está la familia de los piridinios que son herbicidas fuertemente catiónicos con dos cargas positivas, que se reducen dentro de la planta y en la presencia de la luz causan marchitez de las hojas en minutos, la cual

evoluciona a necrosis en pocas horas. Debido a que se adsorben fuertemente al suelo, no tienen acción PRE. El mecanismo de acción de los desviadores de electrones en el Fotosistema I es la aceptación de electrones 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 piridinius 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			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Piridinius	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 PROTOPORFIRINOGENO OXIDASA (PPO) GRUPO 14

Los herbicidas inhibidores de la protoporfirinógeno oxidasa IPPO tienen acción foliar y en el suelo y controlan principalmente malas hierbas de hoja ancha. Actúan en forma similar a los piridinius, 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 frijol y 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			
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,	Frijol, Soya
N-fenil-triazolinonas	Sulfentrazone	Boral	Caña de azúcar, agave, tabaco
	Carfentrazone	Affinity, Veloz	Caña de azúcar, maíz, algodón
	Carfentrazone +	Focus	Maíz, sorgo,
	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,
	Saflufenacil + dimetenamida	Integrity	Maíz
	Flumioxazin	Sumimax, Gesapax Premax	Cebolla, ajo, vid, caña de azúcar papa
Fenil-pirazoles	Piraflufen-etil	Kabuki	Cítricos

BLOQUEO DE LA ENZIMA DESOXI-D-XILULOSA FOSFATO SINTASA (DXP)

GRUPO 13

ACCIÓN EN LA ENZIMA HIDROXIFENIL PIRUVATO DIOXIGENASA (HPPD)

GRUPO 27

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) grupo 13 y la 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenasa (HPPD) grupo 27.

El grupo 13 con bloqueo de la DXP incluye solo la familia química isoxazolidinonas y grupo 27 que actúa sobre la HPPD, cuenta 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).

Estos herbicidas ocasionan 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 la síntesis 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 estos grupos 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 clomazona. Los inhibidores de la síntesis de pigmentos de los grupos 13 y 27 pueden tener alta residualidad en el suelo y causar daños a cultivos que se siembran en rotación (Baumann *et al.*, 1998).

Grupo 13			
Isoxazolidinonas	Clomazona	Gramer, Command	Calabaza, chile, soya, arroz, agave, caña de azúcar
Grupo 27			
Isoxazoles	Isoxaflutole	Adengo (+ thiencarbazone metil)	Maíz
Tricetonas	Mesotrione	Callisto, Argomes, Commander	Maíz
	Mesotrione + atrazina	Callisto Xtra	Maíz
	Biclipirona	Crestivo (+ hexazinona)	Caña de azúcar
	Tembotrione	Laudis	Maíz
Pirazoles	Topramezone	Convey	Maíz
	Tolpyralate	Raker Pro	Maíz

INHIBIDORES DE LA ENZIMA GLUTAMINA SINTETASA

GRUPO 10

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 tratadas con glufosinato de amonio presentan clorosis entre tres y cinco días, después de la aplicación, la cual se transforma en necrosis en una semana, según la especie y tamaño de planta. Su acción se incrementa con la luz y 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 y se producen ROS, 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 varios nombres como Finale Ultra, Glufoxone, Galardón, Glufin, Ígneo Ultra, Invictus y otros.

II HERBICIDAS QUE AFECTAN LA DIVISIÓN CELULAR Y CRECIMIENTO

INHIBIDORES DEL ENSAMBLE DE MICROTÚBULOS

GRUPO 3

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 los primeros días de desarrollo de las plántulas (Shaner, 2014). Como resultado, impiden el 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 del ensamble de microtúbulos son más efectivos en el control de hojas anchas y zacates anuales 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 degradables por la luz, por lo que se deben incorporar mecánicamente al suelo. Los daños de los inhibidores del ensamblado de microtúbulos en cultivos incluyen la tumoración de las raíces, la ausencia de raíces secundarias y el engrosamiento de hipocótilos en dicotiledóneas.

GRUPO 3			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Dinitroanilinas	Etalfluralina	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

IMITADORES DE AUXINAS GRUPO 4

Los imitadores de auxinas incluyen a las familias químicas: fenoxicarboxilatos, benzoatos, piridincarboxilatos, piridiloxicarboxilatos, quinolinacarboxilatos, fenilcarbolicarboxilatos y pirimidin-carboxilatos (HRAC, 2024). Estos herbicidas actúan como las 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 y alteran el balance hormonal de las plantas, que regula procesos como la división y elongación celular, la síntesis de proteínas y la respiración. (Shaner, 2014). Por lo anterior, también se conocen como “herbicidas hormonales” (Baumann *et al.*, 1998). Los síntomas de este grupo de herbicidas incluyen 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. Su acción es lenta, pues requiere de una a dos semanas para matar a las malezas. Los imitadores de auxinas se usan principalmente para el control de especies dicotiledóneas u “hojas anchas” anuales y perennes en cultivos de gramíneas. Los reguladores del crecimiento se absorben por hojas y raíces y se transportan por el floema y xilema. Su forma de aplicación principal es POST al cultivo y las malezas (Sterling *et al.*, 2005).

La selectividad de los imitadores de auxinas 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 imitadores de auxinas 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 muy 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			
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
	Clopirialid	Sure Start (+acetoclor +	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

III HERBICIDAS QUE AFECTAN EL METABOLISMO CELULAR

INHIBIDORES DE LA ENZIMA ACETIL COENZIMA A CARBOXILASA (ACCasa) GRUPO 1

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 (ACCase) incluyen a las familias químicas: ariloxifenoxipropionatos, ciclohexanodionas y fenilpirazolininas (Devine *et al.*, 1993, HRAC, 2024). 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 ACCase 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 ariloxifenoxipropionatos, 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 ACCase del trigo, lo cual les otorga selectividad a estos herbicidas (Shaner, 2014). Además, algunos de estos herbicidas incluyen compuestos llamados “protectores” 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 ACCase de las dicotiledóneas es insensible a su acción. En el caso de herbicidas de este grupo que se aplican en cereales, la selectividad principalmente se obtiene por el metabolismo del herbicida a compuestos no tóxicos.

GRUPO 1			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Ariloxifenoxipropionatos	Fluazifop-P-butil	Fusilade BIW	Soya, frijol, algodón y
	Quizalofop-P-tefuril	Pantera 3, Assure II	Papa y otros

	Clodinafop propargil	Topik Gold, Traxos (+ pinoxaden)	Trigo
	Haloxifop-R-metil	Galant Ultra	Papa
	Fenoxaprop-P-etil	Furore Super, Puma	Arroz, trigo
	Cyhalofop N-butil	Clincher EC	Arroz
Ciclohexanodionas	Sethoxidim	Poast	Ajo, alfalfa, algodón y
	Clethodim	Select Ultra, Cedrus y otros	Soya, algodón,
	Tralkoxidim	Grasp	Trigo, cebada
	Profoxidim	Aura	Arroz
Fenilpirazolinas	Pinoxaden	Axial, Traxos (+ clodinafop- propargil)	Trigo, cebada

INHIBIDORES DE LA ACETOLACTATO SINTASA (ALS) GRUPO 2

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 aplicadas con estos herbicidas no producen proteínas y mueren, sin que se sepan exactamente las causas. A este grupo 2 pertenecen las familias químicas: sulfonilureas, imidazolinonas, triazolinonas, triazolopirimidinas, sulfonanilidas y pirimidinilbenzoatos (HRAC, 2024). 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 a guindas en el envés y puntos de crecimiento muertos, aunque las hojas basales permanecen verdes por algunos días. 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 presiembrado, 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 al interferir con su metabolismo (Baumann *et al.*, 1998).

GRUPO 2			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Sulfonilureas	Flazasulfuron	Katana	Caña de azúcar
	Furamsulfuron + iodosulfuron metil sodio	Maister	Maíz
	Halosulfuron metil	Sempre, 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
		Elumis (+ mesotrione)	Maíz
	Prosulfuron	Peak	Maíz, sorgo, trigo, cebada
	Rimsulfuron	Titus	Maíz
	Thifensulfuron metil	Harmony,	Trigo, cebada
	Triasulfuron	Amber	Trigo, cebada
	Trifloxysulfuron sodio	Envoke	Caña de azúcar
		Krismat (+ ametrina)	Caña de azúcar
Tritosulfuron	Condraz (+ dicamba)	Maíz, trigo, cebada	
Imidazolinonas	Imazamox	Sweeper Pro	Frijol
	Imazapic	Plateau	Cacahuete, caña de

	Imazapir	Arsenal 240-A	Áreas sin
	Imazetapir	Pivot, Chamura y otros	Soya, cacahuate, alfalfa, frijol
Triazolopirimidinas	Pyroxsulam	Across	Trigo
	Flumetsulam	Sure Start (+acetoclor + clopvalid)	Maíz
Pirimidiniltiobenzot os	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

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 y poca producción de raíces. 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 registrados más de 400 nombres comerciales elaborados glifosato; los más conocidos en México son: Faena, Coloso, Durango, Lafam, Rudo, Desafío y Glyphos entre otros.

El mecanismo de acción del glifosato es la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil-shikimato 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 ÁCIDOS GRASOS DE CADENA MUY LARGA GRUPO 15

Los inhibidores de ácidos grasos de cadena muy larga (IAGCML) incluyen a las familias químicas de las α -cloroacetamidas, α -oxiacetamidas, tiocarbamatos e isoxazolininas. Estos herbicidas inhiben el desarrollo de las plántulas en proceso de emergencia. Su 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 presembrado 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. Los herbicidas IAGCML 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 IAGCML 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 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 herbicidas IAGCML se incrementan si se presentan períodos de clima frío y húmedo que reducen su metabolismo (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			
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	Guardsman 2X	Maíz
	Metolacloclor + atrazina	Primagram Gold	Agave, maíz, sorgo
	Petoxamida	Asgard	Maíz, agave
	Propisoclor	Proponit	Maíz, sorgo
	Dimetenamida	Frontier 2X	Maíz
	Dimetenamida + atrazina	Guardsman 2X	Maíz
α -Oxiacetamida	Flufenacet	Aspect	Sorgo
Isoxazolininas	Pyroxasulfone	Anthem Maxx (+ fluthiacet metil)	Maíz

INHIBIDORES DE LA SÍNTESIS DE CELULOSA

GRUPO 29

En este grupo se incluyen solo la familia de las alquilazinas en México y solo el herbicida indaziflam. Estos herbicidas inhiben la síntesis de celulosa afectando la producción de paredes celulares, la elongación celular y la formación de los meristemos iniciales en plántulas, por lo que evitan la emergencia de malezas. Si emergen las malezas muestran sus raíces hinchadas.

FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
GRUPO 29			
Alkilazina	Indaziflam	Aliom	Caña de azúcar, vid, cítricos y nogal

NO CLASIFICADOS

GRUPO 0

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 algunos herbicidas formadores de ROS y destruyen 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, 2024). 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 0			
Arsenicales orgánicos	MSMA	Gramopol, Novansar, Velconate, MSMA 480	Cítricos, caña de azúcar
	MSMA + ametrina	Gesapax Plus, Caña.Tec Plus	Cítricos, caña de azúcar

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.
- COFEPRIS, 2024. Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR. <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>. Consultado el 4 de octubre de 2024.
- 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.
- Data M Intelligence. 2022. New Crop Protection Generics Market Size Share Growth Opportunities and Forecast 2022 (datamintelligence.com). (consultado el 7 de noviembre de 2022)

- 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. 2024. International survey of herbicide-resistant weeds. Classification of herbicides by mode of action. <http://www.weedscience.com> (consultado el 4 de octubre de 2024).
- HRAC (Herbicide Resistance Action Committee). 2024. Global HRAC MOA Classification Working Group Report https://hracglobal.com/files/GHRAC_MOA_UPDATE_2020.pdf (consultado el 4 de octubre de 2024).
- Kapler, B. and D. Namuth. 2004. Clasificación de los herbicidas. *Plant and Soil Sciences eLibrary*. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/c6f27ffb3c0a> (consultado el 4 de octubre de 2024).
- 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 4 de octubre de 2024).
- 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 4 de octubre de 2024).
- 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.
- Statista 2022. Global pesticide consumption by type | Statista (consultado el 7 de noviembre de 2022).
- 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 7 de noviembre de 2022).
- 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.
- Weed Science Society of America WSSA. 2021. https://wssa.net/wp-content/uploads/WSSA-Herbicide-SO_WSSA_20210505.xlsx (consultado el 4 de octubre de 2024)

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

Valentín A. Esqueda Esquivel,
Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP
Enrique Rosales Robles
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 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 riego 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	Efectos moderados	Control deficiente
50		Control deficiente a moderado
60		Control moderado
70	Efectos severos	Control por debajo de satisfactorio
80		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 State University. <https://crops.extension.iastate.edu/blog/bob-hartzler-meaghan-anderson/identifying-common-herbicide-symptoms-soybean> (consultado el 14 de septiembre de 2025).

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://weedsociety.ca/cwss_scm-rating-scale/ (consultado el 12 de septiembre de 2025).

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 14 de septiembre de 2025).

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 12 de septiembre de 2025).

Ekhator, 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., Rosas-González, X. y Becerra-Leor, E. N. 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, K. A. and Gomez, A. A. 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 14 de septiembre de 2025).

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, V. 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. 2013. El tipo de boquilla no altera la efectividad de los herbicidas prosulfuron, bromoxinil y 2,4-D. *Agrociencia* 47:245-253.

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.

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 14 de septiembre de 2025).

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 13 de septiembre de 2025).

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 13 de septiembre de 2025).

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 14 de septiembre de 2025).

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 12 de septiembre de 2025).

Vibrans, H. (ed.). 2009. *Malezas de México*. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm> (consultado el 14 de septiembre de 2025).

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.

6. 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 les denomina 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 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 de los más solubles a los más insolubles, siendo la 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 por 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 por el fabricante y de 9% para las demás alturas y presiones.

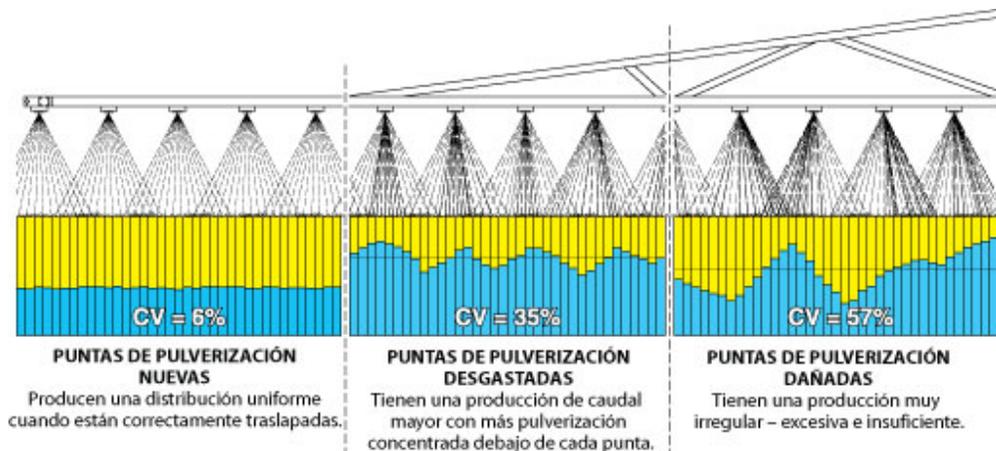


Figura 2. Distribución de líquido por las boquillas según su estado de uso.

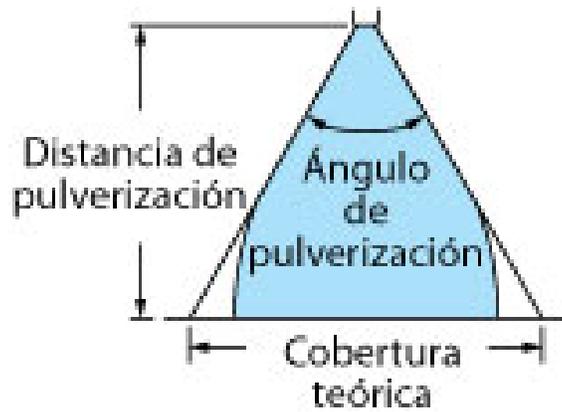


Figura 3. Espectro de aspersion de una boquilla de abanico plano.

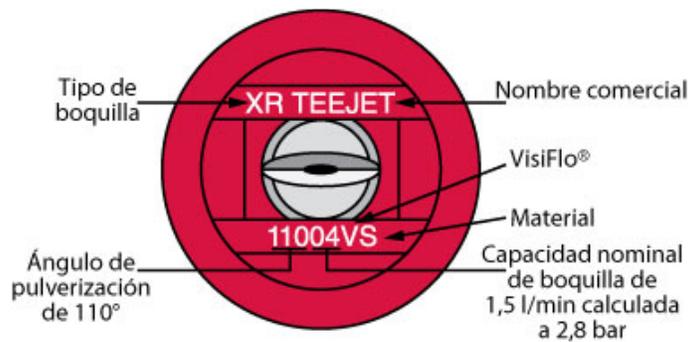


Figura 4. Características de una boquilla de abanico plano

								
	Extended Range Flat Fan	Standard Flat Fan	Drift Guard Flat Fan	Twin Flat Fan	Turbo Flood Wide Angle	Wide Angle Full Core	Flood Nozzle Wide Angle	Raindrop Hollow Cone
Herbicides								
Soil-incorporated	Good		Very Good		Very Good	Very Good	Good	Good
Pre-emerge	Very Good <small>(at low pressure)</small>	Good	Very Good		Very Good	Very Good		Good
Post-emerge Contact	Good	Good		Very Good				
Post-emerge Systemic	Very Good <small>(at low pressure)</small>	Good	Very Good		Very Good			Good
Fungicides								
Contact	Very Good	Good						
Systemic	Very Good <small>(at low pressure)</small>		Very Good		Very Good			
Insecticides								
Contact	Good	Good		Very Good				
Systemic	Very Good <small>(at low pressure)</small>		Very Good	Very Good	Very Good			

Figura 5. Características de las boquillas Spraying Systems

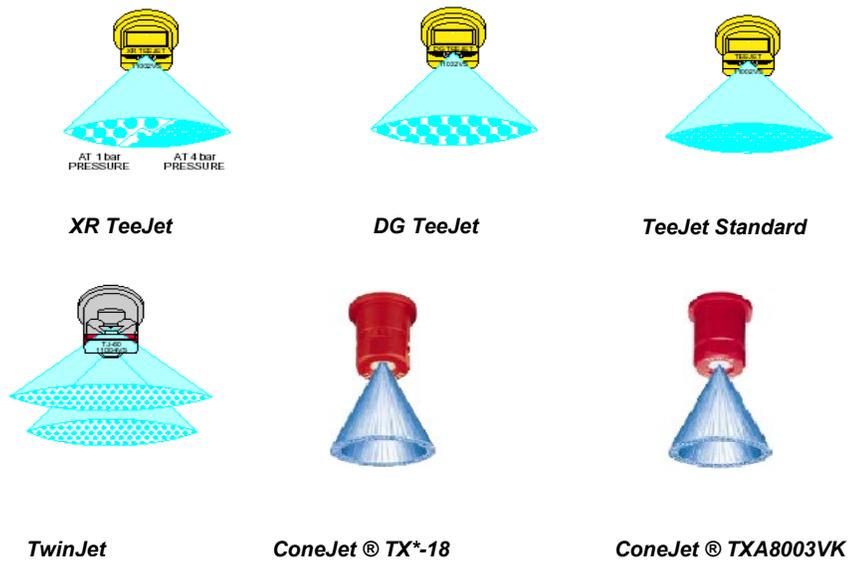


Figura 6. Características de las boquillas Spraying Systems

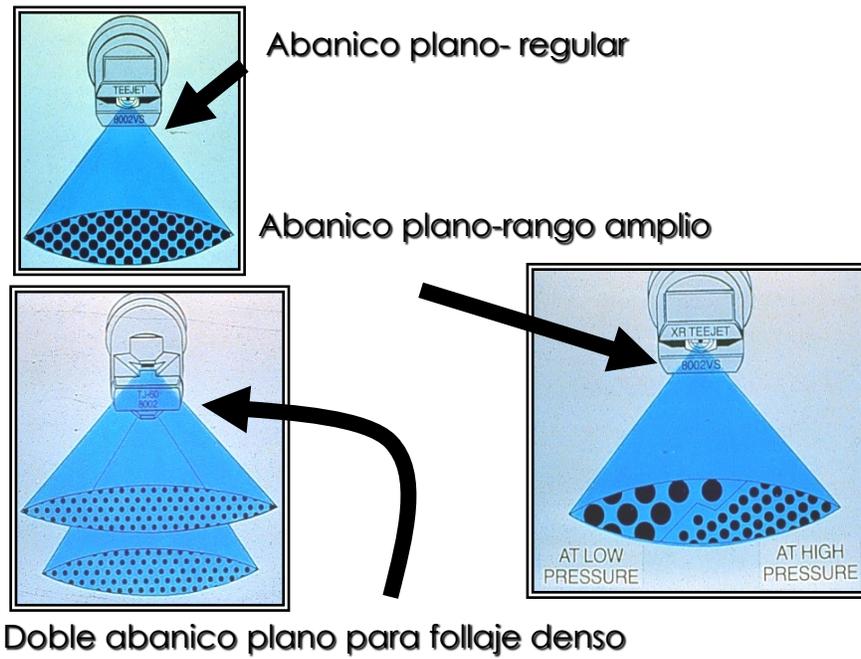


Figura 7. Características de las boquillas Spraying Systems



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 aspersión (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.



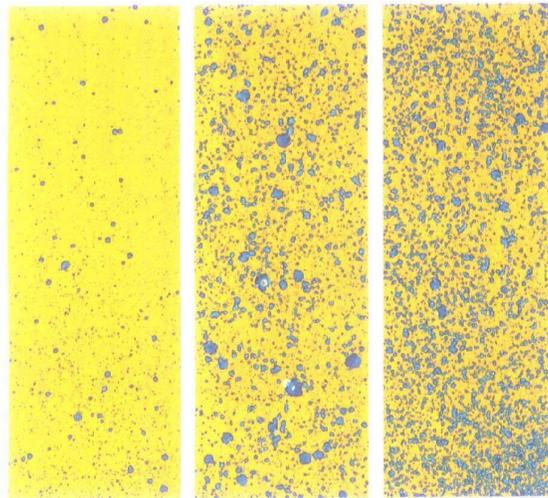


Figura 9. Cuantificación de gotas por cm^2

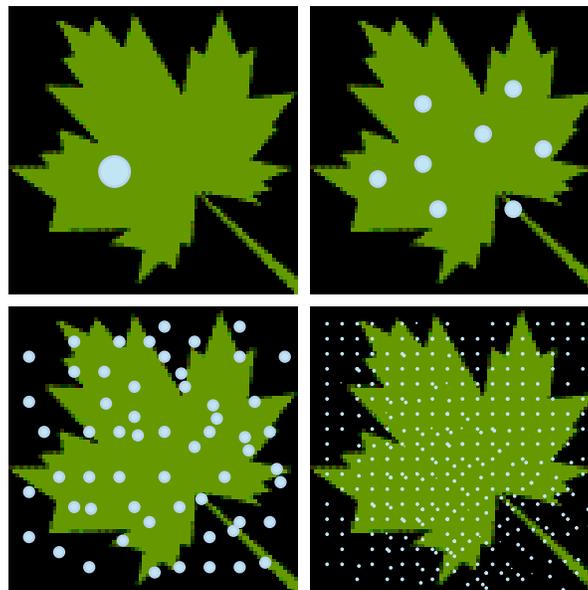
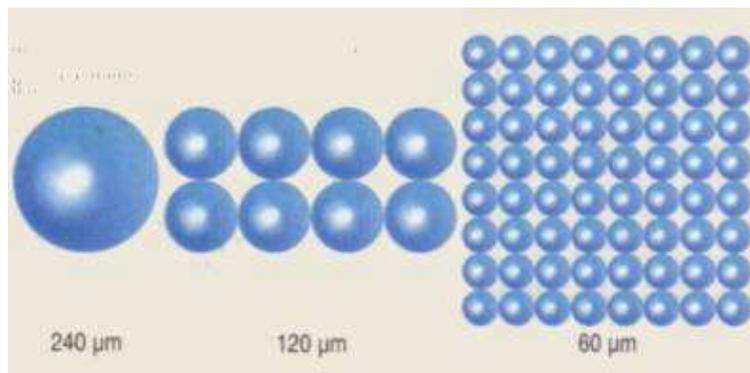


Figura 10. Cantidad de gotas fraccionadas de un mismo volumen pero de diferente tamaño.

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.

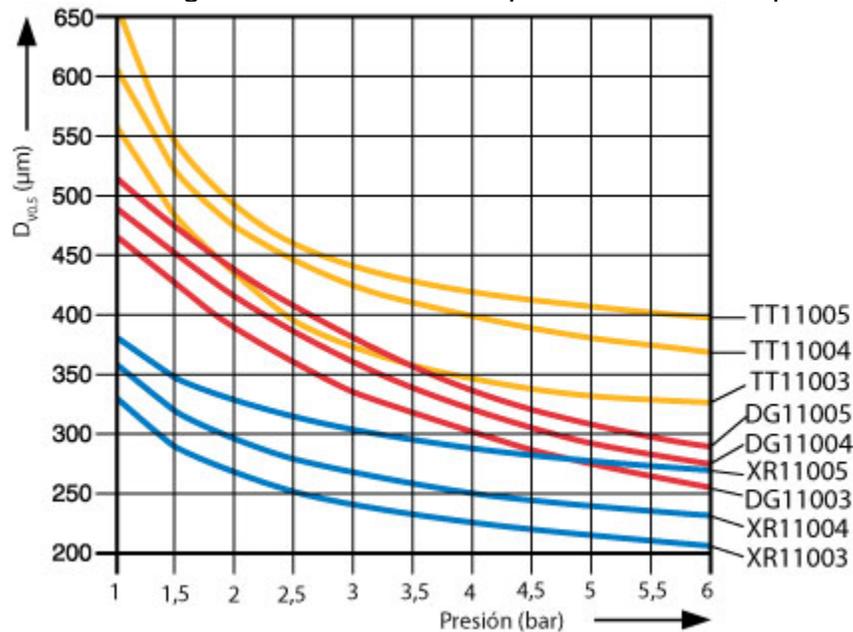


Diagrama 1. Importancia del aplicador en la eficiencia de la aspersión.

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 con 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.

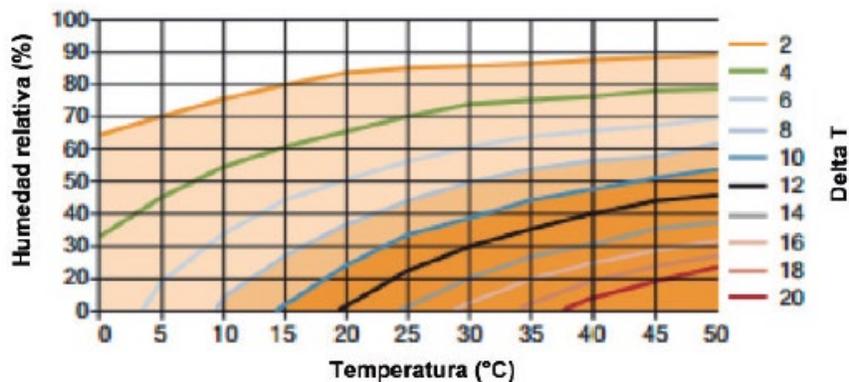
El Cuadro 3 muestra otra manera de combinar los valores de temperatura y humedad relativa. La combinación de los factores que ocupa el color verde es donde se podrían realizar aplicaciones sin mayores restricciones ambientales, siempre y cuando el factor viento lo permita. Las combinaciones de valores 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)

H.R.	Temperatura								
	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	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
80	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
70	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
60	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo
50	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo
40	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo
30	Verde	Amarillo	Rojo						
20	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
10	Amarillo	Amarillo	Rojo						

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 los equipos de aspersión. 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

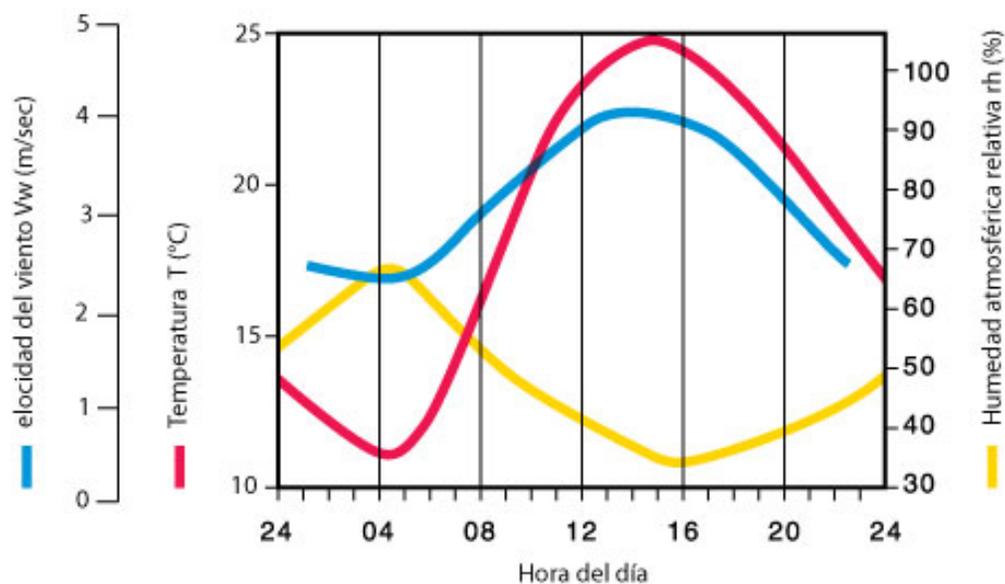
Si se presenta velocidad de viento tendiendo a cero existe una gran probabilidad que se dé el fenómeno de inversión térmica, donde las gotas aplicadas quedan suspendidas en el aire sin alcanzar el objetivo. Mientras que velocidades mayores podrían generar derivas no deseadas, afectando cultivos cercanos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



BIBLIOGRAFÍA

- 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 Latinoamericana 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.

7. RESISTENCIA DE MALEZAS A HERBICIDAS: DETECCIÓN Y CONFIRMACIÓN

J. A. Domínguez-Valenzuela¹

C. Palma-Bautista¹

R. E. Ruiz-Romero¹

Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma
Chapingo.

jose_dv001@yahoo.ocm.mx

INTRODUCCIÓN

El abuso en la aplicación de herbicidas ha exacerbado el problema de la resistencia de malezas (Damalas & Koutroubas, 2025), lo cual se complica más por la falta de nuevos herbicidas con nuevos mecanismos de acción (Dayan & Duke, 2020; Duke & Dayan, 2022). Hasta ahora, existen 537 casos de resistencia en 273 especies de malezas que han evolucionado a 21 de los 31 sitios o mecanismos de acción (Heap, 2025). El uso “indiscriminado” de herbicidas, aunado al incremento de las superficies de cultivos genéticamente modificados (cultivos resistentes), especialmente a glifosato e inhibidores de ALS, ha complicado aún más el problema (Damalas & Koutroubas, 2025).

La resistencia a herbicidas es una de las mayores preocupaciones de los agricultores y la industria de los herbicidas (USB, 2025). Con la evolución de una nueva especie o un nuevo biotipo a un determinado sitio de acción, los agricultores pierden eficiencia en el manejo de malezas, resultando en elevados costos de producción, menores rendimientos (Mulweli & Ndou, 2023) y una mayor carga tóxica en el ambiente. Por otra parte, la industria puede ver mermados sus ingresos al reducirse su mercado (Miranowski & Carlson, 1986). Aunque la resistencia a herbicidas por sí misma no ha sido la causa de la prohibición de algún herbicida en el mundo, sí ha sido un factor que ha aumentado el escrutinio y las restricciones para el uso de alguna molécula por razones ambientales o de salud pública (Freese, 2024).

México no escapa a esta problemática. Lamentablemente falta mucho trabajo para detectar y confirmar especies y biotipos de malezas resistentes a herbicidas (Domínguez-Valenzuela et al., 2025 en prensa). Hasta hace apenas unos años, existía la confusión entre malezas tolerantes y malezas resistentes. De hecho, varias especies de malezas fueron referidas como resistentes a herbicidas en México, cuando en realidad eran tolerantes. De manera natural, hay especies de malezas que ciertos herbicidas no controlan cuando se usan las dosis recomendadas. *Ipomoea purpurea*, *Cyperus esculentus*, *C. rotundus*, escapan a glifosato en las dosis convencionales para malezas anuales de 2-3 L de producto comercial. Para esas especies tolerantes se requieren dosis de 2 a 3 veces la dosis convencional. Por lo tanto, es indispensable que se distinga entre malezas

resistentes y tolerantes a herbicidas, dos conceptos diferentes que pueden generar confusión.

La resistencia a herbicidas es la condición heredable de una población de plantas para sobrevivir a la aplicación de un herbicida en dosis de campo, al que anteriormente podía matar (HRAC, 2025). Las malezas resistentes pueden sobrevivir a dosis mucho más altas que las recomendadas porque han pasado por un proceso de selección gracias a uno o varios herbicidas que son los agentes de selección (Powles & Preston, 2025). La tolerancia, por su parte, también es una condición heredable en la que una especie sobrevive y se reproduce después de un tratamiento a la dosis recomendada de un herbicida, pero en este caso no hay un proceso de selección involucrado (Borger, 2025). La tolerancia es la razón por la que muchos herbicidas son selectivos a ciertos cultivos. En sí, los mecanismos por los que las plantas tolerantes a herbicidas sobreviven (cultivos o malezas), son los mismos por los que las plantas resistentes lo hacen.

La resistencia puede ser un proceso simple que se expresa en una población de plantas o puede ser un proceso complejo en el que una población sobrevive a uno o más herbicidas con diferente sitio de acción (resistencia múltiple) o a herbicidas que comparten el mismo sitio de acción (resistencia cruzada) (Powles & Preston, 2025). Dado que la resistencia, en cualquiera de sus expresiones, involucra a uno o varios ingredientes activos, resulta imperativo conocer y comprender el modo y mecanismo de acción de los herbicidas para prevenirla y manejarla.

Para definir si una especie de maleza es o no resistente a un ingrediente activo, es indispensable seguir un protocolo de investigación desde la identificación y colecta de semillas maduras en campo hasta las pruebas de invernadero o laboratorio. Existen múltiples pruebas para separar entre poblaciones resistentes y sensibles. La prueba más comúnmente aceptada para confirmar la resistencia a herbicidas es la de dosis-respuesta, en la que se determina la dosis media efectiva (ED_{50}) o tasa media de crecimiento (GR_{50}) y la dosis letal media (DL_{50}), en donde a través la comparación de poblaciones sensibles contra resistentes a dosis crecientes de un herbicida se estiman estos parámetros con el peso seco o fresco de planta y con el porcentaje de mortalidad, respectivamente, en donde la población resistente sobrevive a la dosis de campo del herbicida o mayores (Heap, 2005).

El objetivo de este trabajo es informar sobre conceptos básicos de la resistencia de malezas a herbicidas y aprender a detectar y confirmar si una población de plantas es resistente a un herbicida.

Fallas en el control de una especie de maleza

Cuando un agricultor detecta que una aplicación tiene fallas en el control, observando que plantas de una especie sobreviven, con o sin daños, mientras que otras, a veces la mayoría, mueren, su primera reacción es volver a aplicar el mismo herbicida en la misma o en una dosis mayor a la recomendada. En el siguiente ciclo, por lo general y con la experiencia anterior aumentan la dosis y eventualmente se lo comunican a un técnico de la compañía, el cual, por lo general, recomienda incrementar la dosis o mezclar con otro ingrediente activo.

Casi siempre un investigador se entera cuando el problema ya es mayor. Por una parte, detectar la resistencia de una maleza es fácil cuando ésta es absoluta y un herbicida no tiene efecto a la dosis de campo recomendada; por el contrario,

cuando la resistencia es parcial y sólo algunas plantas mueren o presentan daños y sobreviven, resulta más difícil (Moss, 2004).

Realizar inspecciones cuidadosas de campo después de una aplicación es lo recomendable, para detectar plantas que escapan. Se debe descartar que las fallas no se relacionan con las técnicas de aplicación, dosis, volumen de aspersión, equipos o condiciones generales de las malezas y el ambiente. La eficacia de un tratamiento depende también de factores relacionados con las malezas como estado de crecimiento, momento de emergencia, alta infestación, 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 la deficiente calibración del equipo de aspersión, dosificación, calidad del agua, cobertura de aspersión deficiente, 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 a través del tiempo, si otras especies susceptibles han sido controladas adecuadamente y si plantas de la misma especie mueren adyacentes a otras que sobreviven.

Al detectar fallas en el control, descartadas las anteriores condiciones, se deben coleccionar semillas maduras o plantas que sobrevivieron a la aplicación para lograr su reproducción en condiciones controladas y producir semillas de buena calidad y suficientes. Asimismo, se deben localizar plantas en sitios en donde no hayan estado expuestas a la aplicación con el ingrediente activo involucrado para considerarlas como población o biotipo susceptible a comparar con las plantas sospechosas de resistencia.

Historial de uso de herbicidas en los predios de 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 boquilla, volúmenes de aspersión utilizados, uso de acondicionadores de agua y calibración de los equipos.

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 sospechosas de resistencia

Al detectar fallas en el control, descartadas las anteriores condiciones, se deben coleccionar semillas maduras o plantas que sobrevivieron a la aplicación para lograr su reproducción en condiciones controladas y producir semillas de buena

calidad y suficientes. Asimismo, se deben localizar plantas en sitios en donde no hayan estado expuestas a la aplicación con el ingrediente activo involucrado para considerarlas como población o biotipo susceptible a comparar con las plantas sospechosas de resistencia.

Es importante considerar que la presencia de plantas sobrevivientes no tenga un patrón determinado y, de preferencia, coleccionar semillas de plantas vivas adyacentes a plantas muertas, en diferentes puntos del predio. Es conveniente coleccionar pocas semillas de muchas plantas para tener una población representativa de una maleza con sospecha de resistencia. Se deben coleccionar cantidades suficientes de semillas (al menos 1000 semillas maduras), considerando que puede haber mermas durante el proceso de limpieza de estas. De la misma forma, se deben coleccionar semillas de plantas provenientes de predios o sitios sin historial de uso de herbicidas (S), que serán importantes para comparar con la población sospechosa (R).

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, de las especies en cuestión y las coordenadas del sitio además del cultivo presente. Cualquier otra información relacionada con los tratamientos de herbicidas, periodos en el que se han observado fallas, etc., deben registrarse adecuadamente.



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.

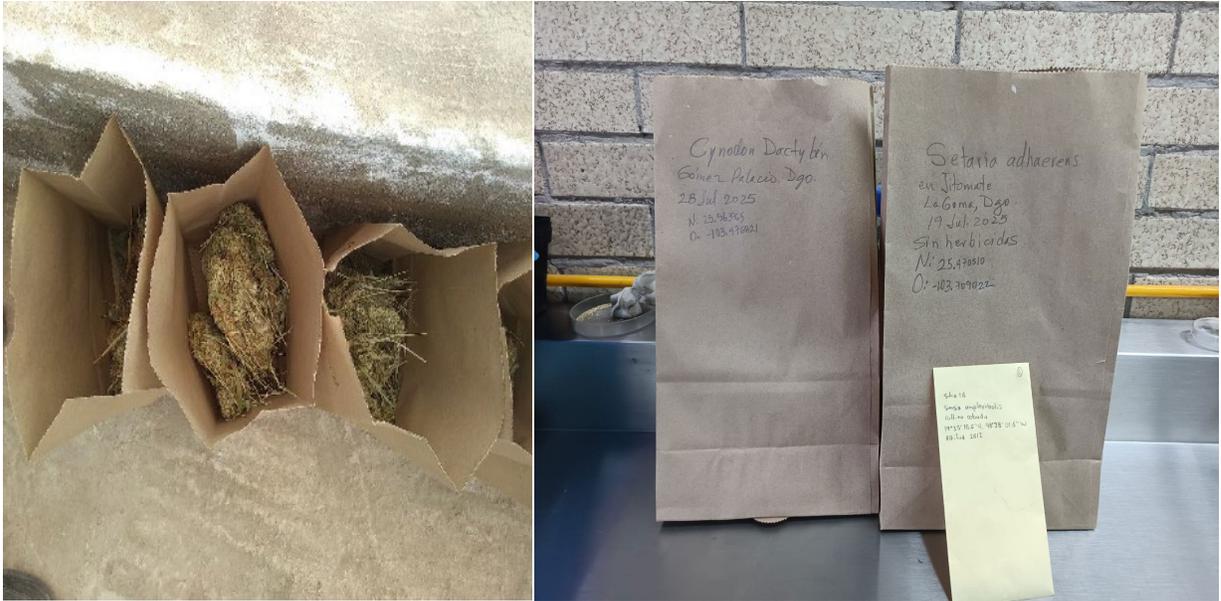


Figura 2. Secado y conservación de las muestras de semillas.

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, lema y palea, con frecuencia mejora la germinación (Figura 3).



Figura 3. Escarificación o eliminación de las estructuras de la espiguilla de semillas de *Avena fatua*.

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, lema 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 estéril de suelo y peat moss estéril, para generar plántulas para su trasplante individual en macetas.

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 con el herbicida correspondiente. Por seguridad, 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 y hasta 10 repeticiones de plantas individuales, arreglando los tratamientos en un diseño estadístico apropiado.



Figura 5. Plántulas individuales de malezas sospechosas de resistencia a herbicidas en macetas con sustrato estéril, listas para el tratamiento con herbicidas.

Ensayo preliminar o tamizado (screening)

Es un ensayo sencillo que permite saber si una población o biotipo es o no resistente a un ingrediente activo. También se conoce como tamizado (screening) o ensayo preliminar. Esta prueba ayuda, primero a discriminar entre R y S cuando se aplica la dosis de campo recomendada. Utilizando más dosis, por ejemplo, testigo sin herbicida (0X), media dosis de campo ($\frac{1}{2}X$), dosis de campo (X) y 2X, es útil para ubicar el rango de dosis que pueden utilizarse en un ensayo posterior de dosis-respuesta. Como se ilustra en la tabla 1, se aplicaron cinco herbicidas en dosis de campo (X) sobre 21 poblaciones de *Brassica rapa*, para discriminar entre poblaciones sensibles y resistentes.

Tabla 1. Herbicidas evaluados en el tamizado de 21 poblaciones de *B. rapa* y las dosis de campo aplicadas (Ruiz-Romero et al., 2025).

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis de p. c. ^a ha ⁻¹	Dosis en g i.a. ^b ha ⁻¹
Starane® Ultra	Fluroxipir meptil	0.4 l/ha	182
Hierbamina®	2,4-D	2 l/ha	718
Faena Fuerte®	Glifosato	2 l/ha	726 ^c
Peak® 57 WG	Prosulfuron	40 gr/ha	22.8
Sigma Forte® ^d	Mesosulfuron metil + Iodosulfuron metil sodio	1.5 l/ha	1,250 ^b

^ap. c.= producto comercial, ^bi. a.= ingrediente activo, ^cácido equivalente, ^dMesosulfurón-metil (10 g i. a.) + Iodosulfurón metil sodio (2 g i. a.), ^emL de producto comercial ha⁻¹ (mesosulfurón-metil 12.5 g i. a. + iodosulfurón metil sodio 2.5 g i. a.)

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. Se utilizan 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 o tasa media de crecimiento (effective dose o growth rate); es decir la ED₅₀ o GR₅₀. La ED₅₀ (GR₅₀) 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 (DL₅₀). Con la ED₅₀ o DL₅₀, 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 $FR = ED_{50} \text{ de R} / ED_{50} \text{ de S}$ (Palma Bautista et al., 2018). El 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 (Heap, 2005).

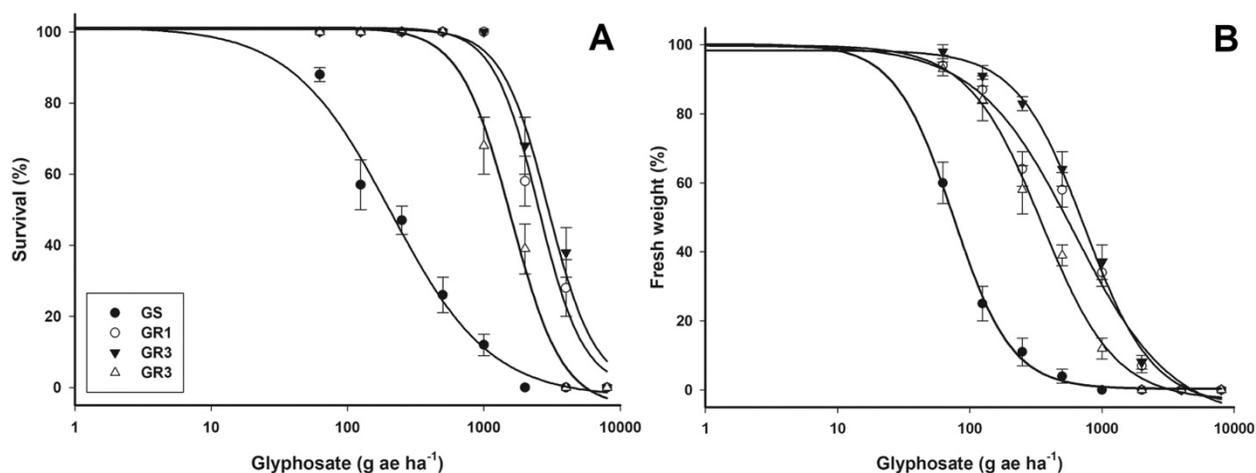


Figura 6. En los gráficos se muestra A: las curvas de dosis-respuesta para el porcentaje de sobrevivencia, y B, las curvas de dosis-respuesta para el porcentaje de reducción de peso fresco de cuatro poblaciones de *Parthenium hysterophorus* a glifosato (Palma Bautista et al., 2018).

En la tabla 2, se muestran los parámetros de la ecuación log-logística utilizadas para estimar las dosis de glifosato necesarias para causar la mortalidad (DL₅₀) y la reducción de peso fresco (ED₅₀) 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, 9.2 para porcentaje de mortalidad (DL₅₀), en

tanto que son de 12.7, 15.5 y 7.5 para el porcentaje de reducción de peso fresco (ED₅₀), 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 DL₅₀, y respectivamente 12.7, 15.5 y 7.5, veces más resistentes que la población susceptible, en términos de la ED₅₀ (Palma Bautista et al., 2018).

Tabla 2. Parámetros de la ecuación log-logística^a utilizada para estimar la dosis (g e a ha⁻¹) necesaria para causar el 50% de mortalidad de plantas (DL₅₀) y de reducción de peso fresco (ED₅₀) de cuatro poblaciones de *Parthenium hysterophorus* colectadas en cítricos en Puebla y Veracruz (Palma Bautista et al., 2018).

Población	d	b	Dosis	IC 95% ^b		FR ^c
				Inferior	Superior	
DL₅₀						
GS	100	1.3	173	197	149	–
GR1	100	2.4	2618	2724	2512	15.1
GR2	100	2.6	1985	3322	24648	17.3
GR3	100	2.3	1594	1735	1453	9.2
ED₅₀						
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 síntota, 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 al 95% (n=10).

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

CONCLUSIONES

La resistencia de malezas es una realidad que amenaza la viabilidad de los sistemas de producción de cultivos más importantes del mundo.

La resistencia a herbicidas es una amenaza ambiental, dado que aparecen biotipos de plantas que pueden superar la efectividad de diversos mecanismos de acción, mientras que aumentan la necesidad de más herbicidas en dosis y

moléculas en un ciclo de cultivo, comprometiendo la viabilidad de las moléculas de herbicidas a mediano y largo plazo.

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

- Borger, C. 2025. Herbicide resistance. Government of Western Australia. Department of Primary Industries and Regional Development. <https://www.dpir.wa.gov.au/businesses/pests-weeds-and-diseases/control-methods/chemicals/herbicides/herbicide-resistance/#:~:text=Herbicide%20resistance%20is%20the%20inherited,greater%20than%20the%20recommended%20rate.> Consultado 17 de septiembre de 2025.
- Damalas, C. A. & Koutroubas, S. D. 2025. Current status of herbicide resistance in global cotton production: trends and perspectives. *Crop Protection* Vol. 197. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107320>
- Dayan F. E. & Duke, S. O. 2020. Discovery for New Herbicide Sites of Action by Quantification of Plant Primary Metabolite and Enzyme Pools. *Engineering* 6 (5): 509-514. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.03.004>.
- Domínguez-Valenzuela, J. A., Palma-Bautista, C., Vázquez-García J. G., Ruiz Romero, R. E., Cruz-Hipólito, H., Alcántara-de la Cruz, R., De Prado, R. y Plaza, G. 2025. Domínguez Valenzuela et al., 2025. Weed resistance to herbicides in Mexico: a review. *Agronomy* (Enviado).
- Duke, S. O. & Dayan F. E. 2022. The search for new herbicide mechanisms of action: Is there a 'holy grail'?. *Pest Manag Sci.* 78(4):1303-1313. doi: 10.1002/ps.6726.
- Freese, B. 2024. An Herbicide So Hazardous That Courts Have Banned It Twice. Center for Food Safety. <https://www.centerforfoodsafety.org/blog/6913/an-herbicide-so-hazardous-that-courts-have-banned-it-twice>. Consultado 17 de septiembre de 2025.
- Heap, 2005. Criteria for Confirmation of Herbicide-Resistant Weeds with specific emphasis on confirming low level resistance. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://hracglobal.com/files/Criteria-for-Confirmation-of-Herbicide-Resistant-Weeds.pdf. Consultado 18 de septiembre de 2025.
- Heap, I. 2025. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <https://www.weedscience.com/Home.aspx>. "4 de septiembre de 2025.
- HRAC (Herbicide Resistance Action Committee). 2025. Confirming Resistance. Overview. <https://hracglobal.com/herbicide-resistance/overview>. Consultado 22 de septiembre de 2025.

- HRAC, 2025. Confirming Resistance. <https://hracglobal.com/herbicide-resistance/confirming-resistance>. Consultado 18 de septiembre de 2025.
- Miranowski, J. A. & Carlson, G. A. 1986. Economic issues in public and private approaches to preserving pest susceptibility. In Pesticide resistance: Strategies and tactics for management, Ed. by Board on Agriculture. National Academy Press, Washington, DC, pp. 436–448.
- Moss, S. 2004. Detecting herbicide resistance. <http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000IL3890W.182VAU719SSQLS>. Consultado 4 de octubre de 2021.
- Mulweli M. Matshidze, Vhuthu Ndou. 2023. A bibliometric analysis of herbicide resistance in Africa, Scientific African. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01899>.
- Ofosu, R., Agyemang, E. D., Márton, A., Pásztor, G., Taller, J. and Kazinczi, G. 2023. Herbicide Resistance: Managing Weeds in a Changing World. *Agronomy* 13 (6) 1595. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061595>
- Palma-Bautista, c, Gherekhloo, j., Domínguez-Martínez, p. a., Domínguez-Valenzuela, J. A., Cruz-Hipólito, 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>
- Powles, S. B. and Preston, C. 2025. Herbicide Cross Resistance and Multiple Resistance in Plants. At: Herbicide Resistance Action Committee (HRAC). 19p. [HRACGLOBAL.COM.comchrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://hracglobal.com/files/Herbicide-Cross-Resistance-and-Multiple-Resistance-in-Plants.pdf](https://hracglobal.com/files/Herbicide-Cross-Resistance-and-Multiple-Resistance-in-Plants.pdf). Consultado 22 de septiembre de 2025.
- Ruiz-Romero, R. E., Caltempa-Sánchez, O. J., Palma-Bautista, C., Domínguez-Valenzuela, J. A. 2025. Sensibilidad de *Brassica rapa* procedente de Hidalgo y Tlaxcala a herbicidas auxínicos, inhibidores de ALS y EPSPS. En. Memoria del XLVI Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. 8 al 10 de octubre de 2025. On line. <https://somecima.com/memorias/>
- United Soybean Board (USB). 2025. Resistance Management. <https://unitedsoybean.org/issue-briefs/resistance-management/#:~:text=Why%20is%20it%20important?,as%20a%20result%20of%20resistance.weeds>. 18 de septiembre de 2025.

Resumen: La resistencia de malezas a herbicidas es un fenómeno global que amenaza la viabilidad de los sistemas de producción de cultivos y que tiene implicaciones económicas, sociales y ambientales. Primero, los agricultores pierden opciones de manejo y ven reducidos el rendimiento de sus cultivos, en tanto que sus costos de producción se incrementan. Por otra parte, la industria de los herbicidas no aporta nuevas opciones que pudieran contrarrestar la pérdida de eficacia de los herbicidas que enfrentan

la resistencia de malezas. En México es muy incipiente el estudio de la evolución de malezas resistentes a herbicidas, por lo que es imperativo el conocimiento del fenómeno para instrumentar estrategias de manejo de malezas que prevengan y retrasen la aparición de biotipos resistentes, mientras que se realizan prácticas de remediación en donde existen problemas de resistencia. El primer paso en la prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas es la detección y confirmación de los casos a nivel de campo, siguiendo protocolos sencillos, pero efectivos para lograr estos objetivos.

Palabras clave: Prospección, colecta de semillas, ensayos de dosis-respuesta.

Summary: WEED RESISTANCE TO HERBICIDES: DETECTION AND CONFIRMATION. Herbicide weed resistance is a global phenomenon that threatens viability of agricultural systems with economic, social and environmental implications. In the first place, crop producers lose weed management options, and their crop yields are reduced while production costs rise. Secondly, the herbicide industry does not develop novel molecules to substitute those that face resistant weeds. These two factors the study of herbicide resistance in Mexico is very incipient. The development of knowledge in this issue is very important to instrument sound weed management strategies to prevent the evolution of herbicide resistant weed biotypes while designing schemes of management of already resistant populations. The first step in the prevention and management of herbicide resistant weeds is detecting and confirming weed resistant populations at field level, following very simple but effective research protocols.

Key words: Prospection, seed collection, dose-response assays.

GRACIAS A NUESTROS PATROCINADORES

