



SOCIEDAD MEXICANA DE LA CIENCIA DE LA MALEZA



**MEMORIA CURSO PRE-CONGRESO
XLI CONGRESO NACIONAL DE LA CIENCIA
DE LA MALEZA**

21 y 28 de noviembre de 2020

Vía Zoom

MESA DIRECTIVA 2020-2022

Hugo Enrique Cruz Hipólito
Presidente

Oscar Liedo Granillo
Vicepresidente

José Alfredo Domínguez Valenzuela
Secretario

Enrique Rosales Robles
Tesorero

Luis Miguel Tamayo Esquer
Vicepresidente Pacífico

Sergio Hernández Rodríguez
Vicepresidente Norte

Juan Carlos Delgado Castillo
Vicepresidente Occidente

Juan Lorenzo Medina Pitalúa
Vicepresidente Sur

Valentín Alberto Esqueda Esquivel
Consejo Técnico

Felipe Montes de Oca
Vocal de Gestión y Relaciones Públicas

Irma López Muraira
Vocal de Capacitación, Difusión y Vínculo Institucional

Tomás Medina Cázares
Publicaciones

Comité Editorial:

Juan Carlos Delgado Castillo

Enrique Rosales Robles

Miguel Ángel Hernández Martínez

Juan Carlos Delgado Tinoco

ÍNDICE

PRINCIPALES FAMILIAS BOTÁNICAS DE MALEZAS EN MÉXICO Juan Carlos Delgado Castillo.....	4
BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE MALEZAS Gloria Zita Padilla y Verónica Gilbón Carrasco.....	15
MANEJO INTEGRADO DE MALEZA Tomás Medina Cazares y Enrique Rosales Robles.....	24
CLASIFICACIÓN DE LOS HERBICIDAS POR SU MODO Y MECANISMO DE ACCIÓN Enrique Rosales Robles y Valentín A. Esqueda Esquivel.....	37
MANEJO INTEGRADO DE MALEZA EN MAÍZ, TRIGO Y SORGO Luis Miguel Tamayo Esquer.....	59
MANEJO DE MALEZAS EN ARROZ, CAÑA DE AZÚCAR Y POTREROS Valentín A. Esqueda Esquivel, Javier Francisco Enríquez Quiroz y Enrique Rosales Robles.....	103
MANEJO DE LA RESISTENCIA A HERBICIDAS José A. Domínguez Valenzuela, Hugo E. Cruz Hipólito y Enrique Rosales Robles.....	130

PRINCIPALES FAMILIAS BOTÁNICAS DE MALEZAS EN MÉXICO

Juan Carlos Delgado Castillo

Novus Consultoría y Servicios Especializados, S.C.
novus.cse1@gmail.com

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

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

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

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

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

plantas, lo que ha impedido el acceso a la información que ya se ha generado o que debería generarse para atender esa importante área.



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

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

Se dice coloquialmente que “hay que conocer al enemigo para saber cuales son sus puntos débiles”, esta frase aplica perfectamente al manejo de la maleza, toda vez que a pesar de saber que las medidas inoportunas de control generarán escapes

de plantas que, a la postre, competirán agresivamente con nuestro cultivo, seguimos retardando la ejecución de planes de manejo, por lo que la recarga del banco de semillas de los suelos seguirá incrementándose.

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

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

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

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

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



Figura 2. Familias representativas de malezas comunes.

Especies de malezas comunes

A pesar de la complejidad que implica la identificación de las plantas, existen actualmente muchas herramientas que nos permiten hacer un reconocimiento

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Malezas comunes de los cultivos



Aldama dentata



Amaranthus palmeri



Anoda cristata



Argemone ochroleuca



Avena fatua



Bidens odorata



Bidens pilosa



Brachiaria plantaginea



Brassica nigra



Capsella bursa-pastoris



Cenchrus echinatus



Chenopodium album



Chenopodium murale



Chloris chloridea



Chloris virgata



Commelina coelestis



Convolvulus arvensis



Crotalaria pumila



Cuscuta spp.



Cynodon dactylon



Cyperus esculentus



Cyperus rotundus



Dactyloctenium aegyptium



Datura stramonium



Echinochloa colona



Echinochloa crus-galli



Eleusine indica

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



Panicum maximum



Parthenium hysterophorus



Phalaris minor



Phalaris paradoxa



Plantago lanceolata



Plantago major



Polygonum aviculare



Polygonum convolvulus



Portulaca oleracea



Rottboellia cochinchinensis



Rumex crispus



Setaria adhaerens



Sicyos deppei



Sida rhombifolia



Simsia amplexicaulis



Solanum americanum



Solanum elaeagnifolium



Solanum rostratum



Sonchus oleraceus



Sorghum halepense



Taraxacum officinale



Tithonia tubiformis



Tridax procumbens



Xanthium strumarium

BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE MALEZAS

Gloria Zita Padilla y Verónica Gilbón Carrasco
F.E.S. Cuautitlán UNAM. PAPIME214619.
zitagloria@cuautitlán.unam.mx; verogilbon@gmail.com

Introducción.

Las plantas que de alguna manera interfieren con las actividades humanas han sido objeto de diferentes catalogaciones, estudios, análisis y publicaciones de todo tipo. Sin embargo, el conocimiento que de ellas tenemos es aún incompleto.

El interés en el estudio de este grupo de plantas ha sido principalmente por una visión antropocéntrica que las ubica como enemigas a las que hay que combatir a toda costa. Es innegable que su presencia no es deseable para la consecución suficiente de los productos y servicios que la sociedad demanda. Como también es innegable que estas plantas ya estaban presentes antes del origen mismo de la agricultura y demás actividades económicas.

La ciencia de la maleza o Malherbología es la ciencia que estudia la biología, ecología y manejo de malas hierbas o maleza. De acuerdo con la mayor parte de la literatura, se puede definir a la maleza como “una planta que crece en un momento y en un lugar no deseado” (por el hombre). Cabe subrayar que estas plantas siempre están asociadas a actividades humanas, es decir, son plantas sinantrópicas.

Según Nakhutsrishvili (2013) la vegetación sinantrópica incluye tres grandes grupos. (1) las plantas arvenses de los hábitats cultivados; (2) la vegetación ruderal, es decir aquella que crece en caminos, terrenos perturbados, etc.; y (3) las malezas de pastizales.

Este escrito pretende establecer de manera muy sintética un punto de partida para la discusión sobre si debemos proseguir con la “carrera armamentista” contra la maleza o adoptar un enfoque agroecosistémico y evolutivo que coadyuve a un manejo más inteligente de las poblaciones de maleza. En cualquier caso, el conocimiento de la biología y ecología es una herramienta imprescindible.

Se invita al lector interesado en el tema a consultar la bibliografía recomendada al final, así como a incorporarse al curso en línea <https://classroom.google.com/u/1/c/MjlxMTAyNzM1MDkw> . A los especialistas se les invita a colaborar con sus aportaciones en esta plataforma.

Importancia económica de la maleza.

Las malezas ocasionan pérdidas directas a la producción agrícola con variaciones regionales muy grandes que, en México, son difíciles de estimar, debido a la falta de estadísticas, sin embargo, se acepta que es uno de los principales factores que reducen el rendimiento agrícola.

Los daños que causan las malezas son muy variados y pueden ser directos o indirectos. En la Cuadro 1 se ofrece un resumen de estos tipos de daños (Zita 2012, Liebman *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Daños que causan las malas hierbas. Modificado a partir de Liebman *et al.* (2001).

Justificación	Mecanismos	Ejemplos
Reducen el rendimiento de los cultivos	Interferencia con el cultivo (competencia + alelopatía).	<i>Avena fatua</i> y <i>Galium aparine</i> en cereales y <i>Poa annua</i> en pastizales.
Reducen la calidad de las cosechas	Contaminación de semillas para siembra y otros procesos industriales.	<i>Sinapis arvensis</i> en canola, bayas de <i>Solanum nigrum</i> en guisantes. <i>Xanthium strumarium</i> se adhiere al pelaje del ganado.
Retrasan la cosecha	La conservación de la humedad puede retrasar la maduración e incrementar los niveles de humedad del cultivo cuando éste es cosechado.	<i>Sorghum halepense</i> en trigo.
Dificultan la cosecha	Las plantas trepadoras, pueden dificultar las operaciones de cosecha. Las malezas tardías de crecimiento vigoroso pueden interferir con la cosecha de papas y camote.	<i>Sycios deppei</i> en maíz. <i>Chenopodium album</i>
Interfieren con la alimentación animal	Las plantas espinosas inhiben la alimentación animal.	<i>Cirsium arvense</i>
Causan envenenamiento	Presencia de alcaloides tóxicos, Contiene digitalina	<i>Senecio jacobaea</i> <i>Rhododendron ponticum</i> <i>Digitalis purpurea</i>
Contaminan los productos animales	Les confiere sabores desagradables. Se adhieren a la lana o piel de los animales.	<i>Allium ursinum</i> y <i>Ranunculus</i> spp. <i>Xanthium strumarium</i>
Pueden comportarse como parásitas	Sustraen nutrientes de la planta hospedante.	<i>Cuscuta</i> spp.
Reducen la sanidad de los cultivos	Funcionan como hospedantes alternos o reservorios de plagas y enfermedades de cultivo.	<i>Oxalis</i> spp. es hospedante alterno de <i>Puccinia sorghi</i> , que provoca la roya del maíz.

	Al aumentar la humedad relativa del microambiente pueden elevar la incidencia y severidad de algunas enfermedades.	El chayotillo es hospedante del VMP (virus del mosaico del pepino).
Reducen la salud de animales y humanos	Actúan como hospedantes intermediarios o vehículos para la ingestión de parásitos. Provocan fotosensibilidad o efectos teratogénicos.	Pastos <i>Hypericum perforatum</i> <i>Pteridium aquilinum</i>
Son una amenaza para la seguridad	Reducen la visibilidad en los caminos. Son un riesgo de incendio debajo de las líneas eléctricas.	Plantas altas. Cualquier planta, pero especialmente los arbustos.
Reducen la calidad de la lana	Semillas ganchudas reducen el valor de la lana y el vellón.	<i>Bidens</i> spp.
Impiden el adecuado flujo de agua	Masas de plantas bloquean canales y drenes.	<i>Elodea canadensis</i>
Afectan infraestructura	Pueden ocultar señales de tránsito, cubrir vías férreas y torres de energía eléctrica, e impedir el libre tránsito.	<i>Cenchrus myosuroides</i> , crece a orillas de caminos y <i>Chloris inflata</i> en general en lugares perturbados.
Impacto sobre el establecimiento del cultivo	La vegetación impide el establecimiento de árboles jóvenes.	

Tomado de: Zita (2012)

Al observar la amplia gama de daños que pueden causar las malas hierbas, es de sorprender que menos de 250 especies vegetales sean suficientemente problemáticas para considerarlas como malezas. Esto representa aproximadamente 0.1% de la flora mundial. (Cobb, 1992)

Origen y evolución de la maleza.

Las malezas al igual que todas las especies biológicas actuales han existido en el planeta por miles de años. También han estado sujetas a cambios ambientales algunos de origen natural y otros de origen antropocéntrico. La invención de la agricultura hace aproximadamente 10 mil años llevo a la creación de lo que académicamente llamamos agroecosistema.

El término “ecosistema” fue acuñado por Tansley en 1935 como el “complejo de organismos junto con los factores físicos de su medio ambiente” (Armenteras, *et. al.* 2016). Desde entonces el concepto ha tenido variaciones, en este documento adoptaremos el concepto consignado en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, entendido como “La unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados”, (SEMARNAT, 2018)

La delimitación de los ecosistemas es meramente arbitraria, pero son características generales a todos ellos el contar con ciclos biogeoquímicos, cadenas tróficas y flujo de energía. Los ciclos biogeoquímicos incluyen los procesos fisicoquímicos de transformación y circulación de nutrientes (P, C, N, H₂O etc), las cadenas, pirámides o redes tróficas consisten en el paso de nutrientes y energía a través de las diferentes especies que conforman el ecosistema mediante la provisión de alimentos de unos a otros. Por último, el flujo de energía corresponde a la incorporación de la energía solar al sistema y su transformación sucesiva en otros tipos de energía.

De manera sumamente simplista podríamos decir que los ecosistemas -incluidos los agroecosistemas- en general funcionan como biofábricas fotosintéticas cuya materia prima es la energía solar, agua y CO₂ y sus principales productos son los carbohidratos y el oxígeno molecular. Fig. 1.



Figura. 1. Esquema simplificado del flujo de energía en un ecosistema.

Los agroecosistemas al ser de origen antropogénico para ser sostenidos requieren del aporte de fuentes de energía suplementaria (deshierbe mecánico, fertilizantes, plaguicidas). La alta producción lograda mediante paquetes tecnológicos altamente especializados y tecnificados requieren además del aporte de energía adicional una serie de condiciones *sine qua non* es imposible obtener buenos rendimientos. Los agroecosistemas tienen menor diversidad, las densidades poblacionales son determinadas (o se pretende que lo sean) por el hombre, la distribución de los individuos en la parcela obedece a arreglos previamente ensayados, la acumulación de fotosintatos en los cultivos viene dada por largos procesos de domesticación.

Todo esto ha conllevado a un proceso coevolutivo entre las prácticas agrícolas, la domesticación de especies y en el caso que nos ocupa, a la evolución de la vegetación arvense. Es así, que ha sido el hombre mediante los diferentes sistemas de producción quien ha ejercido presión de selección sobre los genotipos-fenotipos de arvenses dando lugar a poblaciones de plantas capaces de “escapar” a las medidas de control impuestas. En el transcurso de 10 mil años, las malezas han evolucionado hasta el modo en que las conocemos actualmente. Este proceso coevolutivo ha sido documentado por varios autores (MacLaren, *et al.* 2020).

En las primeras comunidades agrícolas, el antiguo agricultor seguramente utilizaba sus manos para quitar aquellas plantas que no quería que crecieran en su incipiente parcela, por motivos obvios evitaba aquellas que presentaban, púas, espinas etcétera, y estas sobrevivían, entonces inventó algunas herramientas, para poderlas cortar y arrancar, pero entonces sobrevivían aquellas que tenían rizomas, bulbos, estolones o raíces muy profundas. Actualmente, aplicamos herbicidas y controlamos aquellas que son susceptibles al compuesto aplicado, pero una pequeña parte sobrevive, dejando progenie fértil que a la postre serán resistentes a una o varias moléculas herbicidas.

La evolución biológica es un proceso dialéctico.

La **evolución biológica** se puede definir como el cambio en las características de las poblaciones de organismos a través del curso de sucesivas generaciones (Soler, 2002), en algunos casos estos cambios facultan a las poblaciones a tener una mejor **adaptación** al ambiente que las rodea. A su vez, la adaptación se entiende como un proceso mediante el cual las características individuales de una población cambian por acción de la selección natural dando como resultado un mejor **desempeño** (fitness, aptitud) en un ambiente dado y finalmente el **fitness** se refiere a un cambio en la aptitud reproductiva de un individuo o grupo de individuos. (Latta, R. 2010). En la naturaleza, existen grupos de organismos capaces de sobrevivir en una amplia variedad de situaciones ambientales, este atributo recibe el nombre de **plasticidad fenotípica** (v. g. *Sagittaria saggitifolia*). Así mismo, una determinada población puede sobrevivir a algún cambio ambiental sin que esto conlleve a modificaciones genotípicas heredables, es lo que conocemos como **aclimatación** (Latta, R. 2010).

La evolución es dialéctica, conlleva el aumento en la variabilidad genética de las poblaciones mediante la mutación y la recombinación genética y la disminución de esa variabilidad mediante la selección natural, que actúa “escogiendo” a los individuos que mejor desempeño (aptitud) tienen para sobrevivir, desarrollarse y dejar progenie. (Fig 2)

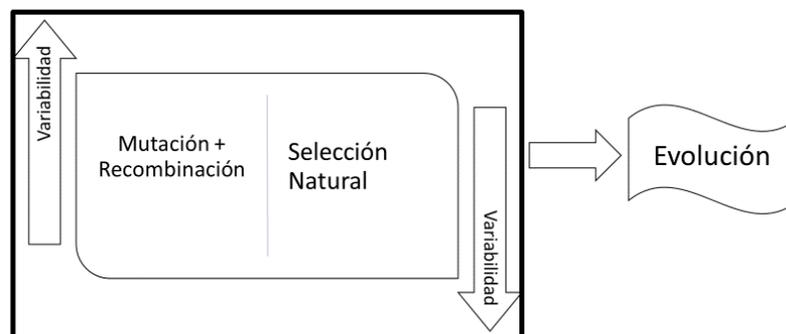


Figura 2. Esquema que muestra la manera en que dos fuerzas opuestas actúan sobre la variabilidad genética para dar lugar a la evolución biológica.

Cabe remarcar que la unidad básica de la evolución es la población y dado que la evolución involucra modificaciones heredables, estos cambios implican modificaciones en las frecuencias génicas de la población.

El ser humano ¿es creador de especies?

Como se mencionó líneas arriba, a lo largo de la historia el hombre ha seleccionado aquellas especies que le proveen un beneficio. Acentuando características que le parecieron en su momento las más deseables, así, ha creado razas y variedades. Si comparamos nuestros **cultígenos** actuales (Spencer y Cross, 2007) con sus ancestros observaremos lo poco que se parecen *v. g.* Maíz y teocintle, ASERCA, 2020). En otros casos, a partir de un taxón se han desarrollado una variedad de cultígenos, *v.g.* *Brassica rapa* y *B. oleracea* (Cheng, *et al.* 2016). Este conjunto de cambios morfofisiológicos y genéticos algunos autores lo llaman “**síndrome de domesticación**” (Díaz-Guillen, F. 2010).

Si hacemos una comparación entre el síndrome de domesticación y las características de los que llama Baker (1974) una maleza ideal observaremos que nuestros cultígenos han perdido mucha de su capacidad competitiva. Ver Cuadro 2.

Cuadro 2. Comparación entre el síndrome de domesticación y las características de la maleza ideal

Síndrome de domesticación (Díaz-Guillen 2010)	Maleza ideal (Baker, 1974)
Pérdida de mecanismos de dispersión, relacionado con la falta de una zona de abscisión	Tiene adaptaciones para la dispersión a cortas y largas distancias
Incremento del tamaño de la planta, marcado especialmente en la parte cosechada por el humano	Producción de semilla en un amplio rango de condiciones ambientales, tolerante y plástica
Cambios en el tipo de germinación	Requerimientos de germinación satisfechos en muchos ambientes. Germinación discontinua (controlada internamente) y una gran longevidad de la semilla
Cambios en la arquitectura de la planta. Aumento del índice de cosecha. *	Rápido crecimiento desde la fase vegetativa hasta la floración Si es perenne, tiene una reproducción vegetativa vigorosa o regeneración a partir de fragmentos. Si es perenne, es frágil, por lo que no es fácilmente arrancada del suelo.
Sincronización de la maduración de frutos y semillas, permitiendo cosecharlos en un periodo determinado	Producción continua de semilla en tanto que las condiciones de crecimiento lo permitan.

	Producción de semilla en un amplio rango de condiciones ambientales, tolerante y plástica
Pérdida de latencia de las semillas ya que la germinación rápida y uniforme es necesaria	Producción continua de semilla en tanto que las condiciones de crecimiento lo permitan. Producción alta de semilla bajo condiciones ambientales favorables. Producción de semilla en un amplio rango de condiciones ambientales, tolerante y plástica
Pérdida o reducción de mecanismos de defensas contra enemigos naturales	Tiene habilidad para competir interespecíficamente por medios especiales (crecimiento arrosetado, sofocante o presenta aleloquímicos)
	Auto compatible, pero no completamente autógena o apodíctica.
	Cuando son de polinización cruzada, no requiere de polinizadores especializados o bien son anemófilas.

*Según Rodríguez Larramendi *et al.* (2016)

El largo periodo de coexistencia del hombre y plantas ha resultado en un conocimiento biológico y ecológico de estas últimas. Si bien la inicio no se conocían los principios de la herencia, actualmente se cuenta con la biotecnología y la biología molecular (Soler, 2002)

A manera de conclusión.

Si bien son muchas las razones por la cuales llamamos malezas a estas plantas, también es cierto que muchas de ellas nos brindan servicios tan importantes como la formación de suelo, secuestro de carbono, regulación de la humedad y temperatura del suelo, son fuente de alimento humano y animal, otras mas son de uso medicinal, ornamental, etc.

Ya desde hace algunos años se ha vuelto la mirada al estudio de los parientes silvestres y de los ancestros de nuestros cultígenos pues son recursos fitogenéticos invaluable, dada su alta diversidad genética. A manera de ejemplo, actualmente se ha aislado un gen proveniente de *Solanum bulbocastum* para conferir resistencia a la papa al tizón. (UNEP. 2006)

Como se mencionó en la introducción, esta disertación no pretende dar un listado de conclusiones irrefutables, sino mas bien sentar las bases de una discusión que pudiera reorientar la manera en que coexistimos con este grupo de plantas.

Bibliografía.

- Armenteras, D., González, T. M., Vergara, L. K., Luque, F. J., Rodríguez, N. y Bonilla, M. A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación. *Ecosistemas*, 25(1), 83-89. DOI: [10.7818/ECOS.2016.25-1.12](https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-1.12)
- ASERCA (2020). ¿Conoces el origen del maíz?
<https://www.gob.mx/aserca/articulos/conoces-el-origen-del-maiz?idiom=es>
- Baker, H. 1974. The evolution of weeds. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 5:1-24.
- Blanco, V. Y. (2016). El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 34-56. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10964.19844>
- Cheng, F., Wu, J., Cai, C. *et al.* Genome resequencing and comparative variome analysis in a Brassica rapa and Brassica oleracea collection. *Sci Data* 3, 160119 (2016). <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.119>
- Cobb, A. 1992. *Herbicides and plant physiology*. Chapman & Hall. London, UK. 176 p
- Díaz-Guillen, F. (2010). El proceso de domesticación en las plantas. *Casa del Tiempo*. Vol III. No. 28:66-70.
http://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/28_iv_feb_2010/casa_del_tiempo_eIV_num28_66_70.pdf
- Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Mendez, V. E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C. y Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, 16 (1), 13-23.
- Latta, R. G. (2010). Natural selection, variation, adaptation, and evolution: a primer of interrelated concepts. *Int. J. Plant Sci.*, 171(9), 930–944. <https://doi.org/10.1086/656220>
- Lemessa, F. y Wakjira, M. (2015). Cover crops as a means of ecological weed management in agroecosystems. *J. Crop Sci. Biotech*, 18 (2), 133-145. <https://doi.org/10.1007/s12892-014-0085-2>
- Liebman, M., Molher, C. & Staver, C. 2001. *Ecological management of agricultural weeds*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 544 p.
- MacLaren, C., Storkey, J., Menegat, A., Metcalfe, H. y Dehnen-Schmutz, K. (2020). An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 1-29. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00631->
- Moreno, K. J. (2002). Historia de las teorías evolutivas en M. Soler (Ed.), *Evolución: la base de la biología* (27-44). Proyecto Sur.

- Nakhutsrishvili G. (2013) Synanthropic Vegetation. In: The Vegetation of Georgia (South Caucasus). Geobotany Studies (Basics, Methods and Case Studies). Springer, Berlin, Heidelberg
- Rodríguez Larramendi, L., Guevara Hernández, F. Ovando Cruz, J., Marto González, J. R. Ortiz Pérez, R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la región frailesca de Chiapas, México. Cultivos Tropicales. Vol. 37 No. 3:137-145
- SEMARNAT. (2018). Ley General Del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5520365&fecha=23/04/2018
- Soler, M. (2002). Evolución: la base de la biología. Proyecto Sur.
- Spencer, R. y Cross, R. (2007). The International Code of Botanical Nomenclature (ICBN), the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP), and the cultigen. TAXON 56 (3): 938–940
- Taab, A. (2013). Weeds and their ecological functions. Nova Science Publishers, Inc.
- UNEP (2006). Parientes silvestres de cultivos. Bioersity International. 28 p.
- Zita Padilla, G. A. (2012). Resistencia de malas hierbas a herbicidas inhibidores de la enzima ACCasa. Universidad de Córdoba, España. Tesis Docto

MANEJO INTEGRADO DE MALEZA

Tomás Medina Cazares¹, Enrique Rosales Robles²

¹Investigador en Ciencia de la Maleza, INIFAP - Campo Experimental Bajío,
Guanajuato

²Asesor en Manejo de Malezas

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).

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.*

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 MALAS HIERBAS

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 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 correhuela 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 a su clasificación morfológica.

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

HOJAS ANCHAS				
Nombre común	Nombre científico	Familia	Hábito	Ciclo
Achual	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	Asteraceae	E	A
Aceitilla	<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	E	A
Amargosa, estafiate	<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	Asteraceae	E	A
Correhuela, trompillo, bejuco	<i>Ipomoea</i> spp.	Convolvulaceae	R-T	A
Chayotillo, cadillo de hoja ancha	<i>Xanthium strumarium</i> L.	Asteraceae	E	A
Chual blanco	<i>Chenopodium album</i> L.	Chenopodiaceae	E	A
Chual morado	<i>Chenopodium murale</i> L.	Chenopodiaceae	E	A
Gigantón, 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, cañagria	<i>Rumex crispus</i> L.	Polygonaceae	E	P
Malva	<i>Anoda cristata</i> (L.) Schltl.	Malvaceae	R	A
Malva, malva quesillo	<i>Malva parviflora</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, bledo	<i>Amaranthus palmeri</i> S. Wats	Amaranthaceae	E	A

Toloache	<i>Datura stramonium</i> L.	Solanaceae	E	A
Tomatillo	<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	E	A
Trompillo, abrojo de caballo	<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	Solanaceae	E	P
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae	R	A
ZACATES				
Nombre común	Nombre científico	Familia	Hábito	Ciclo
Gramilla, grama	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Poaceae	R	P
Zacate cangrejo, pata de gallo, frente de toro	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Poaceae	E	A
Zacate de agua, zacapataiste	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	Poaceae	E	A
Zacate espiga, carricillo, kanchín	<i>Panicum fasciculatum</i> Swartz.	Poaceae	E	A
Zacate guiador, gangrena	<i>Panicum reptans</i> L.	Poaceae	E	A
Zacate Johnson	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers	Poaceae	E	P
Zacate lancita, apestoso	<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, z. liendrilla	<i>Leptochloa filiformis</i> (Lam) Beauv.	Poaceae	E	A
CIPERÁCEAS				
Nombre común	Nombre científico	Familia	Hábito	Ciclo
Coquillo amarillo	<i>Cyperus esculentus</i> L.	Cyperaceae	E	P
Coquillo morado, ajillo, coyolillo	<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 este lapso como el período crítico de competencia (PCC): el tiempo máximo que el cultivo tolera la competencia de maleza sin reducciones significativas de su rendimiento y el tiempo mínimo de ausencia de maleza que requiere el cultivo para expresar su máximo rendimiento (Anderson, 1996). 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 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 medidas fitosanitarias oficiales pueden ser 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. la 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 con la maleza 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). Dentro del control cultural de maleza también se puede 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 del 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.

EPOCA DE APLICACION DE HERBICIDAS

Los herbicidas también pueden agruparse de acuerdo a 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 presembrado 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 presiembra 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 pre-emergentes

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. Es común el uso de mezclas de herbicidas pre-emergentes para ampliar su espectro de control.

Herbicidas post-emergentes

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.

BIBLIOGRAFIA

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Radosevich, S., J. Holt, and C. Ghera. 1997. *Weed Ecology: Implications and Management*. Second Ed. John Wiley and Sons. New York.
- 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.
- 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.
- Shipley, 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.
- 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.
- Zimdahl, R.L. 1993. Weed biology: reproduction and dispersal. pp: 59-89. *In: R.L. Zimdahl, Fundamentals of Weed Science. Academic Press.*

CLASIFICACIÓN DE LOS HERBICIDAS POR SU MODO Y MECANISMO DE ACCIÓN

Enrique Rosales Robles¹; Valentín A. Esqueda Esquivel²

¹Asesor en Manejo de Malezas. 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

La presencia de malezas en los cultivos ocasiona mermas en el rendimiento y calidad de los cultivos e incrementa sus costos de producción. El manejo de malezas debe integrar prácticas para el control de las malezas existentes y 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 infestaciones fuertes (Dieleman y Mortensen, 1997).

Las malezas se pueden controlar en forma mecánica, cultural, biológica o química. El control químico de malezas se realiza por medio de la aplicación de herbicidas y es una de las principales herramientas en la agricultura moderna. Sin embargo, se requieren conocimientos técnicos para la elección correcta y aplicación eficiente y oportuna de estos productos (Anderson, 1996).

Un herbicida es un producto químico que inhibe o interrumpe el crecimiento y desarrollo de una planta, lo que generalmente resulta en su muerte. Los herbicidas se usan extensivamente en la agricultura, industria y en zonas urbanas, debido a que proporcionan un control eficiente de malezas a un costo bajo (Peterson *et al.*, 2013). Sin embargo, si no se aplican de manera adecuada pueden causar daños a las plantas cultivadas, al medio ambiente e incluso a las personas que los aplican. En la agricultura, los herbicidas han sido una herramienta importante para el manejo de maleza por muchos años. Desde su introducción a inicios de la década de los 1940's, los herbicidas han sido cada vez más sofisticados en el espectro de control de maleza, duración del período de control y selectividad a los cultivos. Aunque los herbicidas se aplican extensivamente, son probablemente el componente menos entendido de un sistema de manejo integrado de malezas (Baumann *et al.*, 1998), principalmente en relación a su modo y mecanismo de acción. Por lo anterior, el objetivo de este escrito es proporcionar información sobre cómo actúan los herbicidas en las plantas y los síntomas que causan, para promover su uso eficiente.

NOMENCLATURA DE LOS HERBICIDAS

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

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

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

CLASIFICACIÓN DE LOS HERBICIDAS

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

Época de aplicación

De acuerdo a su época de aplicación, los herbicidas se pueden clasificar en forma general como preemergentes (PRE) y postemergentes (POST). Generalmente, los herbicidas PRE se aplican después de la siembra, pero antes de la emergencia de las malezas y el cultivo, y requieren de un riego o precipitación para situarse en los primeros 3 a 5 cm de profundidad del suelo, donde germina la mayoría de las semillas de malezas. Este tipo de herbicidas elimina a las malezas después de su germinación o bien recién emergidas, lo que evita la competencia temprana con el cultivo. Generalmente, la semilla de los cultivos se coloca por debajo de la zona de suelo con alta concentración de herbicida, y la selectividad al cultivo puede ser tanto

posicional como fisiológica. Los herbicidas PRE presentan una gran interacción con algunas características del suelo como son: textura, pH y materia orgánica, las cuales pueden afectar la cantidad de herbicida disponible en el suelo para controlar las malezas. Normalmente la dosis de este tipo de herbicidas se ajusta de acuerdo a la textura del suelo y a la concentración de materia orgánica, requiriéndose una mayor dosis en suelos arcillosos y con alto contenido de materia orgánica (Anderson, 1996).

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

Selectividad

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

Tipo de acción

Los herbicidas pueden ser: 1. De contacto, los cuales afectan sólo a las partes de la planta cubiertas con la solución asperjada; tienen un transporte limitado dentro de la planta, por lo que se recomiendan para el control de maleza anual. 2. Sistémicos, que se aplican al suelo o al follaje y son absorbidos y transportados a toda la planta, incluyendo sus raíces y otros órganos subterráneos. Debido a lo anterior, este tipo de herbicidas se utilizan principalmente para el control de maleza perenne (Ross y Lembi, 1985).

Familia química

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

cloroacetamidas, ciclohexanodionas, sulfonilureas y piridinius (Hance y Holly, 1990). En Estados Unidos de América en la actualidad existen 223 ingredientes activos que se utilizan en la fabricación de aproximadamente 800 herbicidas comerciales (Shaner 2014). En México, existen 86 ingredientes activos en alrededor de 540 herbicidas comerciales.

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 el mismo comportamiento de absorción y transporte, y producen síntomas similares en las plantas tratadas (Gunsolus y Curran, 1996). Además, la clasificación de los herbicidas según su modo y mecanismo de acción, permite predecir, en forma general, 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 en el suelo, el cambio de especies de maleza y el desarrollo de biotipos de maleza resistentes a herbicidas (Regehr y Morishita, 1989; Heap, 2020).

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

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

Esta clasificación facilita el reconocimiento por sus síntomas y 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 se considera por la organización Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) y la WSSA como una herramienta básica para el manejo de la resistencia a herbicidas (Shaner, 2014; HRAC, 2020). A partir de 2020, tanto el HRAC como la WSSA usan la clasificación de herbicidas en 25 grupos, a los que asigna un número según su mecanismo de acción. Estos grupos pueden incluir varias familias químicas de herbicidas con el mismo mecanismo de acción.

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

I REGULADORES DEL CRECIMIENTO

Imitadores de Auxinas GRUPO 4 WSSA - HRAC

Los reguladores del crecimiento, conocidos también como imitadores de auxinas, incluyen a las familias químicas: fenoxicarboxilatos, benzoatos, piridincarboxilatos, piridiloxicarboxilatos y pirimidin-carboxilatos (HRAC, 2020). Estos herbicidas actúan como auxinas sintéticas; aunque su mecanismo de acción no está bien definido, se sabe que afectan la plasticidad de la membrana celular y el metabolismo de ácidos nucleicos (Shaner, 2014) y alteran el balance hormonal de las plantas, que regula procesos como la división y elongación celular, la síntesis de proteínas y la respiración. Por lo anterior, también se conocen como “herbicidas hormonales” (Baumann *et al.*, 1998). El modo de acción de los reguladores del crecimiento incluye la epinastia o retorcimiento de pecíolos y tallos, la formación de callosidades y tumores, la malformación de hojas y finalmente la necrosis y muerte de la planta. La acción de estos herbicidas es lenta, pues requiere de una a dos semanas para matar a las malezas. Esta clase de herbicidas se usan principalmente para el control de especies dicotiledóneas u “hojas anchas” anuales y perennes en cultivos de gramíneas. Una excepción es el 2,4-DB, que se utiliza para el control de hojas anchas en leguminosas. Los reguladores del crecimiento se absorben por hojas y raíces y se transportan por el floema y xilema. Su forma de aplicación principal es en POST al cultivo y las malezas (Sterling *et al.*, 2005).

La selectividad de esta clase de herbicidas se basa tanto en la absorción y transporte por las plantas tratadas, como en su estado de desarrollo, ya que las plantas son más susceptibles a los reguladores de crecimiento en épocas de intensa división celular (Peterson *et al.*, 2013), por lo que sólo son selectivos en cultivos de gramíneas como sorgo, maíz y trigo, en ciertas etapas vegetativas. Los síntomas de daño a gramíneas cultivadas incluyen el enrollamiento o “acebollamiento” de hojas, la “cristalización” de tallos (que se quiebran fácilmente), la curvatura de tallos, la fusión de raíces, la distorsión de espigas y la esterilidad de flores. Los daños de los reguladores de crecimiento se acentúan en períodos de alta humedad en el suelo y alta temperatura (Sterling *et al.*, 2005). Estos herbicidas son fácilmente acarreados por el viento a cultivos sensibles, por lo que se deben utilizar con extrema precaución. Los herbicidas de la familia de los fenoxicarboxilatos se formulan como ésteres o sales aminas. Los ésteres se absorben más fácilmente por las plantas y muestran mayor acción herbicida que las sales, pero son más volátiles, y pueden causar daños a cultivos sensibles por el acarreo de vapores, mientras que

las sales amina tienen baja volatilidad. Además, después de aplicarlos, el equipo de aspersión se debe lavar cuidadosamente para evitar daños a otros cultivos sensibles, como chile, tomate, papaya, y particularmente algodón, que sufre daños significativos con sólo 1/2000 de la dosis comercial de 2,4-D y dicamba (Everitt y Keeling, 2009). En general, los imitadores de auxinas no dejan residuos en el suelo por un tiempo prolongado, que pudieran afectar la rotación de cultivos. Sin embargo, el picloram es soluble en agua y es persistente en el suelo, por lo que se debe evitar su uso en suelos arenosos con mantos freáticos poco profundos (Cavanaugh *et al.*, 1998).

GRUPO 4 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Fenoxicarboxilatos	2,4-D	Amina-6, Agramina, Hierbamina y otros	Arroz, caña de azúcar, maíz, sorgo, cereales
Benzoatos	Dicamba	Banvel, Fortune, Herbamba y otros	Maíz, sorgo, cereales
	Dicamba + 2,4-D	Banvel 12-24, Cirrus y otros	Maíz, sorgo, cereales, pastizales
Piridincarboxilatos	Picloram + 2,4-D	Artist, Tordón 101, Crosser, Defensa, Quro, Hacha y otros	Maíz, sorgo, pastizales
	Picloram + metsulfurón-metil	Prado	Pastizales
	Aminopirialid + 2,4-D	Pastar D, Tronador D, Trunker D	Pastizales
	Clopiralid	Sure Start (+acetoclor + flumetsulam)	Maíz
Piridiloxicarboxilatos	Triclopir	Garlon	Arroz, pastizales,
	Fluroxipir-meptil	Starane, Tomahawk	Pastizales
Piridincarboxilatos + Piridiloxicarboxilatos	Halauxifen metil + fluroxipir-meptil	Pixxaro	Trigo, cebada
	2,4-D + aminopirialid + fluroxipir meptil	Sendero, Pastar Ultra	Pastizales
	Aminopirialid + triclopir	Korte, Togar Max	Pastizales
Pyrimidincarboxilatos	Aminociclopiraclor	Method	Prados

Quinolincarboxilatos	Quinclorac	Facet	Arroz
----------------------	------------	-------	-------

II INHIBIDORES DE LA SÍNTESIS DE AMINOÁCIDOS

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

INHIBIDORES DE LA ACETOLACTATO SINTASA (ALS)

GRUPO 2 WSSA - HRAC

Los aminoácidos son esenciales para la formación de proteínas que se requieren para el desarrollo y crecimiento de las plantas. El mecanismo de acción de este grupo de herbicidas es la inhibición de la enzima acetolactato sintasa (ALS), también conocida como acetohidroxiácido sintasa (AHAS), que cataliza la síntesis de los aminoácidos ramificados esenciales valina, leucina e isoleucina; por lo anterior, las plantas susceptibles que se aplican con estos herbicidas no producen proteínas y mueren, sin que se sepan exactamente las causas. A este grupo pertenecen las familias químicas: sulfonilureas, imidazolinonas, triazolinonas, triazolopirimidinas y pirimidinilbenzoatos (HRAC, 2020). Los inhibidores de la ALS actúan sobre gramíneas y hojas anchas, que los absorben por raíces y hojas y mueren entre dos y cuatro semanas después de la aplicación. Los síntomas de daño de estos herbicidas incluyen: clorosis y necrosis de los meristemos o puntos de crecimiento, pérdida de la dominancia apical, inhibición de raíces secundarias y achaparramiento. En gramíneas, las hojas emergen del cogollo con arrugamiento y presentan clorosis o un aspecto traslúcido y desarrollan una coloración rojiza. En plantas de hoja ancha, se detiene el crecimiento, se presentan nervaduras rojas en el envés y puntos de crecimiento muertos, aunque las hojas basales permanecen verdes. Esta clase de herbicidas se utilizan para el control de malezas de hoja ancha y gramíneas en una gran variedad de cultivos. Su selectividad es fisiológica y radica en la velocidad en que las plantas tratadas lo metabolizan. Se pueden aplicar en 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 (Baumann *et al.*, 1998).

GRUPO 2 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Sulfonilureas	Flazasulfurón	Katana	Caña de azúcar
	Furamsulfurón + iodosulfurón metil sodio	Maister	Maíz
	Halosulfurón metil	Sempre, Sandea	Maíz, sorgo, caña de azúcar
	Mesosulfurón metil + iodosulfurón metil sodio	Sigma Forte	Trigo
	Metsulfurón metil	Accurate, Aleado, Rometsol	Pastizales
	Metsulfurón metil + thifensulfurón metil	Accurate Max, Benox	Trigo
	Nicosulfurón	Accent, Sansón, ZeaMax y más	Maíz
	Nicosulfurón	Elumis (+ mesotrione)	Maíz
	Prosulfurón	Peak	Maíz, sorgo, trigo, cebada
	Rimsulfurón	Titus	Maíz
	Thifensulfurón metil	Harmony, Harass	Trigo, cebada
	Triasulfurón	Amber	Trigo, cebada
	Trifloxysulfurón sodio	Krismat (+ ametrina)	Caña de azúcar
	Tritosulfurón	Condraz (+ dicamba)	Maíz, trigo, cebada
Imidazolinonas	Imazamox	Sweeper Pro	Frijol
	Imazapic	Plateau	Cacahuete, caña de azúcar, agave
	Imazapir	Arsenal 240-A	Áreas sin cultivo
	Imazetapir	Pivot, Chamura y otros	Soya, cacahuete, alfalfa, frijol
Triazolopirimidinas	Pyroxsulam	Across	Trigo

	Flumetsulam	Sure Start (+acetoclor + aloxynol)	Maíz
Pirimidiniltiobenzoatos	Piritiobac sodio	Staple	Algodón
	Bispiribac sodio	Regiment	Arroz
Triazolininas	Flucarbazone sodio	Everest	Trigo
	Thiencarbazone metil	Adengo (+ isoxaflutole)	Maíz

INHIBIDORES DE AMINOÁCIDOS AROMÁTICOS POR LA ENZIMA EPSPS

GRUPO 9 WSSA - HRAC

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

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

INHIBIDORES DE LA ENZIMA GLUTAMINA SINTETASA

GRUPO 10 WSSA - HRAC

Este grupo se constituye sólo por el glufosinato de amonio (también conocido como fosfinitrocina), herbicida no selectivo con acción POST sobre maleza de hoja ancha y gramíneas, y sin actividad en el suelo. Las plantas que se tratan con este herbicida presentan clorosis entre tres y cinco días, después de la aplicación, la cual se transforma en necrosis en una a dos semanas. Su acción es básicamente de contacto ya que tiene un transporte limitado dentro de la planta. Su mecanismo de acción es la inhibición de la enzima glutamina sintetasa en el metabolismo del nitrógeno, la cual convierte el glutamato y amoniaco a glutamina. Al bloquear esta enzima se acumula amoniaco en las plantas, lo que causa daños a la estructura de los cloroplastos, disminución de la fotosíntesis, y finalmente necrosis de los tejidos (Shaner, 2014). En México, su patente se venció hace algunos años y actualmente se comercializa con los nombres de: Finale Ultra, Galardón, Glufin, Invictus y otros.

III INHIBIDORES DE LA SÍNTESIS DE LÍPIDOS

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

GRUPO 1 WSSA - HRAC

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

antes del estado de “embuche o bota”. Su persistencia en el suelo es limitada y no afectan a cultivos sembrados en rotación. La selectividad de estos herbicidas es fisiológica, ya que la ACCasa de las dicotiledóneas es insensible a su acción. En el caso de herbicidas de este grupo que se aplican en cereales, la selectividad se obtiene por el metabolismo del herbicida a compuestos no tóxicos.

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

IV INHIBIDORES DEL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS

Los inhibidores del crecimiento de plántulas se dividen en dos grupos: inhibidores de crecimiento en radículas e inhibidores de crecimiento de brotes (Murphy, 1999). Estos herbicidas se aplican al suelo y actúan en las plántulas poco después de su germinación y antes de su emergencia, por lo que es común que sus efectos no sean visibles, ya que las plántulas dañadas no llegan a emerger. Los inhibidores del crecimiento de plántulas tienen muy poca actividad foliar y se aplican en presiembra o en PRE. En este grupo se incluyen varios grupos por mecanismo de acción: los inhibidores del ensamble de microtúbulos, los inhibidores de ácidos grasos de cadena muy larga y los inhibidores de la síntesis de celulosa. Además, en este grupo se incluye al herbicida bensulide (Prefar 480-E) con mecanismo de acción desconocido (Grupo 0), que también impide la emergencia de malezas y se usa en hortalizas como brócoli, chile, jitomate y otras. El herbicida indaziflam (Alion) se incluye en este grupo, cuyo mecanismo de acción es la inhibición de síntesis de celulosa (Grupo 29). El indaziflam, de la familia química de las alquilazinas, es un

herbicida PRE con acción en gramíneas y hojas anchas; tiene gran residualidad y un periodo de control de hasta 80 días. Se utiliza principalmente en caña de azúcar, plátano, manzano, vid, nogal y cítricos.

INHIBIDORES DEL ESAMBLADO DE MICROTÚBULOS

GRUPO 3 WSSA - HRAC

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

GRUPO 3 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Dinitroanilinas	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

INHIBIDORES DE ÁCIDOS GRASOS DE CADENA MUY LARGA

GRUPO 15 WSSA - HRAC

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

GRUPO 15 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
α -cloroacetamidas	Acetoclor	Acetogram, Harness, Surpass, Retina Pro	Maíz, algodón
	Acetoclor + atrazina	Harness Xtra, Keystone	Maíz
	Alaclor	Alanex	Algodón, cacahuete, maíz
	Dimetenamida	Frontier 2X	Maíz

	Dimetenamida + atrazina	Guardsman 2X	Maíz
	Metolaclor + atrazina	Primagram Gold	Agave, maíz, sorgo
	Petoxamida	Asgard	Maíz, agave
	Propisoclor	Proponit	Maíz, sorgo
	Dimetenamida	Frontier 2X	Maíz
	Dimetenamida + atrazina	Guardsman 2X	Maíz
Oxiacetamida	Flufenacet	Aspect	Sorgo
Isoxazolinás	Pyroxasulfone	Anthem Maxx (+ fluthiactet metil)	Maíz

V INHIBIDORES DE LA FOTOSÍNTESIS

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

INHIBIDORES DE LA FOTOSÍNTESIS EN EL FOTOSISTEMA II

GRUPOS 5 y 6 WSSA- HRAC

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

necrosis de las plantas tratadas, empezando en los márgenes de las hojas. En los herbicidas inhibidores de la fotosíntesis POST de contacto, se presenta clorosis, que se transforma rápidamente en necrosis del tejido vegetal aplicado (Markwell *et al.*, 2005).

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

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

Los herbicidas no-móviles de esta clase se aplican en POST y tienen un transporte limitado dentro de la planta, por lo que requieren un cubrimiento total de la misma.

Por esta razón, para lograr un buen control se deben aplicar en malezas pequeñas (Baumann *et al.*, 1998). Estos herbicidas tienen una residualidad limitada en el suelo. La selectividad de los inhibidores de la fotosíntesis POST de contacto se basa en la capacidad de las plantas tolerantes de metabolizar estos herbicidas en compuestos no tóxicos. En algunas ocasiones causan quemaduras ligeras en las hojas de los cultivos tratados, sin afectar las hojas nuevas.

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

VI DESTRUCTORES DE MEMBRANAS CELULARES

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

DESVIADORES DE ELECTRONES EN EL FOTOSISTEMA I

GRUPO 22 WSSA - HRAC

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

momento de su emergencia, pues este cultivo tiene una cutícula gruesa que evita la penetración de este herbicida (Gunsolus y Curran, 1996).

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

INHIBIDORES DE LA ENZIMA PPO

GRUPO 14 WSSA - HRAC

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

GRUPO 14 WSSA - HRAC			
FAMILIA QUÍMICA	NOMBRE COMÚN	NOMBRES COMERCIALES MÁS COMUNES	CULTIVOS
Difeniléteres	Oxifluorfen	Galigan, Goal, Prensil, Sifarfen, Trotzen	Cebolla, ajo, col, algodón, vid y otros
	Fomesafen	Flex BIW, Freeland, Dragoflex, Flekers	Frijol, Soya

N-fenil-triazolinonas	Sulfentrazone	Boral	Caña de azúcar, agave, tabaco
	Carfentrazone	Affinity, Veloz	Caña de azúcar, maíz, algodón
	Carfentrazone + 2,4-D	Focus	Maíz, sorgo, trigo
	Carfentrazone + glifosato	Candela Super	En pre-siembra de maíz, sorgo y hortalizas. Cítricos
N-fenil-oxadiazolones	Oxadiazon	Ronstar	Arroz, algodón, soya
N-fenil-imidas	Fluthiacet-metil +pyroxasulfone	Anthem Maxx	Maíz
	Saflufenacil	Heat, Detail	Maíz, trigo, cebada
	Saflufenacil + dimetenamida	Integrity	Maíz
	Flumioxazin	Sumimax, Gesapax Premax	Cebolla, ajo, vid, caña de azúcar, papa, manzano

ARSENICALES ORGÁNICOS

GRUPO 0 WSSA - HRAC

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

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

VII INHIBIDORES DE LA SÍNTESIS DE PIGMENTOS

INHIBIDORES DE LA FITOENO DESATURASA (FD) GRUPO 12 WSSA – HRAC

INHIBIDORES DE LA DESOXI-D-XILULOSA FOSFATO SINTASA (DXP) GRUPO 13 WSSA – HRAC

INHIBIDORES DE LA 4-HIDROXIFENIL-PIRUVATO-DIOXIGENASA (HPPD) GRUPO 27 WSSA – HRAC

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

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

El modo de acción de estos herbicidas ocasiona el albinismo en las plantas susceptibles (que en algunas especies de maleza se presenta como una coloración rosa o violeta) y la necrosis de las hojas y tallos. Sin embargo, sólo actúan en los tejidos nuevos, sin afectar a las hojas y tallos ya formados. (Sandmann *et al.*, 1991; Baumann *et al.*, 1998). Los inhibidores de pigmentos se absorben por las raíces, y se transportan por el xilema hacia la parte aérea. Esta clase de herbicidas se usan para el control PRE y POST de hojas anchas y gramíneas anuales. La selectividad a este grupo es por metabolismo de los herbicidas a compuestos no tóxicos. La aplicación de un insecticida organofosforado junto a la semilla de algodón en el suelo, protege a este cultivo de la acción del herbicida clomazone. Los inhibidores

de la síntesis de pigmentos pueden tener alta residualidad en el suelo y causar daños a cultivos que se siembran en rotación (Baumann *et al.*, 1998).

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

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, W. P. 1996. *Weed Science: Principles*. 3rd ed. West Publishing Co. St. Paul, MN, USA. 338 p.
- Ashton, F. M. and A. S. Crafts. 1981. *Mode of Action of Herbicides*. Wiley-Interscience. New York, NY, USA. 525 p.
- Baumann, P. A., P. A. Dotray and E. P. Prostko. 1998. *Herbicide mode of action and injury symptomology*. SCS-1998-07. Texas Agriculture Extension Service. The Texas A&M University System. College Station, TX, USA. 10 p.
- Buhler, D. D. 1998. *Tillage systems and weed population dynamics and management*. p. 223-246. *In*: Hatfield, J. L., D. D. Buhler and B. A. Stewart (eds.). *Integrated weed and soil management*. Ann Arbor Press Inc. Chelsea, MI, USA.
- Caseley, J. C. 1996. *Herbicides*. *In*: Labrada, R., J. C. Caseley y C. Parker (eds.). *Manejo de malezas para países en desarrollo*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 120. Organización de las Naciones Unidas para la

- Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
[http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s0e.htm#capítulo 10](http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s0e.htm#capítulo%2010). Herbicidas.
- Cavanaugh, K. J., B. R. Durgan, R. K. Zollinger and W. A. Selberg. 1998. Herbicide and nonherbicide injury symptoms on spring wheat and barley. WW-06967. North Dakota State University Extension Service. Fargo, ND, USA. 30 p.
- Culpepper, A. S. and A. C. York. 1998. Weed management in glyphosate-tolerant cotton. *J. Cotton Sci.* 2:174-185.
- Devine, M. D., S. O. Duke and C. Fedtke. 1993. *Physiology of Herbicide Action*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ, USA. 441 p.
- Dieleman, J. A. and D. A. Mortensen. 1997. Influence of weed biology and ecology on development of reduced dose strategies for integrated weed management systems. p. 333-362. *In: Hatfield, J. L., D. D. Buhler and B. A. Stewart (eds.)*. *Integrated Weed and Soil Management*. Ann Arbor Press Inc. Chelsea, MI, USA.
- Duke, S. O. and F. E. Dayan. 2001. Classification and mode of action of the herbicides. p. 31-44. *In: De Prado, R. y J. V. Jorrín (eds.)*. *Uso de Herbicidas en la Agricultura del Siglo XXI*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- Everitt, J. D. and J. W. Keeling. 2009. Cotton growth and yield response to simulated 2,4-D and dicamba drift. *Weed Tech.* 23:503-506.
- Gunsolus, J. L. and W. S. Curran. 1996. Herbicide mode of action and injury symptoms. North Central Extension Publication 377. University of Minnesota. Minneapolis, MN, USA. 14 p.
- Hance R. J. and K. Holly 1990. *Weed Control Handbook: Principles*. Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK. 582 p.
- Heap, I. 2020. International survey of herbicide-resistant weeds. Classification of herbicides by mode of action. <http://www.weedscience.com> (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- HRAC (Herbicide Resistance Action Committee). 2020. HRAC Mechanism of action update 2020. Global HRAC MOA Classification Working Group Report. https://hracglobal.com/files/GHRAC_MOA_UPDATE_2020.pdf (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- Global Information, Inc. 2020. Global New Crop Protection Generics Market - 2019-2026. <https://www.giiresearch.com/report/dmin754825-global-new-crop-protection-generics-market.html>
- Kapler, B. and D. Namuth. 2004. Clasificación de los herbicidas. *Plant and Soil Sciences eLibrary*. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/c6f27ffb3c0a> (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- Kunert, K., G. Sandmann and P. Boger. 1987. Modes of action of diphenyl ethers. *Rev. Weed Sci.* 3:35-56.
- Markwell, J., D. Namuth e I. Hernández-Ríos. 2005. Herbicidas que actúan a través de la fotosíntesis. *Plant and Soil Sciences eLibrary*. University of Nebraska, Lincoln. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/89c19f73669f> consultado el 18 de septiembre de 2020).
- Murphy, T. R. 1999. Turfgrass herbicide mode of action and environmental fate. The University of Georgia. College of Agriculture and Environmental Sciences. Tifton, GA, USA. 21 p.

- Nissen, S., D. Namuth, e I. Hernández-Ríos. 2005. Introducción a los inhibidores de la síntesis de aminoácidos aromáticos. Plant and Soil Sciences eLibrary. University of Nebraska, Lincoln. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/9a49f4ad2e86> (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- 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.
- Rao, V. S. 2000. Principles of Weed Science. 2nd ed. Science Publishers, Inc. Enfield, NH, USA. 555 p.
- Regehr, D. L. and D. W. Morishita. 1989. Questions and answers on managing herbicide resistant weeds. Extension Publication MF-926. Kansas State University. Manhattan, KS, USA. 10 p.
- Retzinger, E. J. and C. Mallory-Smith. 1997. Classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. *Weed Tech.* 11:384-393.
- Ross, M. A. and C. A. Lembi. 1985. Applied Weed Science. Burgess Publishing Co. Minneapolis, MN, USA. 340 p.
- Sandmann, G., A. Schmidt, H. Linden and P. Boger. 1991. Phytoene desaturase, the essential target for bleaching herbicides. *Weed Sci.* 39:474-479.
- Schmidt, R. R. 1997. HRAC classification of herbicides according to mode of action. p. 1133-1140 *In: 1997 Brighton Crop Protection Conference: Weeds.* Brighton, UK.
- Shaner, D. L. (ed.). 2014. Herbicide Handbook. 10th ed. Weed Science Society of America. Lawrence, KS, USA. 512 p.
- Sterling, T. M., D. Namuth e I. Hernández-Ríos. 2005. Mecanismo de acción de los herbicidas auxínicos - Parte 2. Plant and Soil Sciences eLibrary. University of Nebraska, Lincoln. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/d56bd9285ea8>. (consultado el 18 de septiembre de 2020).
- Walker, K. A., S. M. Ridley, T. Lewis and J. L. Hardwood. 1989. Action of aryloxyphenoxy carboxylic acids on lipid metabolism. *Rev. Weed Sci.* 4:71-84.

MANEJO INTEGRADO DE MALEZA EN MAÍZ, TRIGO Y SORGO

Luis Miguel Tamayo Esquer

INIFAP-CIRNO – Campo Experimental Norman E. Borlaug, Cd. Obregón, Sonora
tamayo.luismiguel@inifap.gob.mx

INTRODUCCIÓN

La maleza, constituye una de las plagas más importantes en la actividad agrícola, por los daños que ocasionan desde los primeros estadíos del cultivo; afectando las plantas desde su establecimiento hasta la cosecha, reflejándose en reducciones en el rendimiento y la calidad de los cultivos, entre otros. Lo anterior, debido a la rapidez de establecimiento y desarrollo, así como a la mayor capacidad de adaptación que poseen a diferentes medios ecológicos (Alvarado, 1998).

Se estima que de las 250,000 especies vegetales existentes en el mundo, aproximadamente 250 se consideran como las principales malas hierbas en la agricultura y de éstas, 76 se han clasificado como las “peores malas hierbas del mundo” (Holm y otros, 1977). Es importante señalar que el 70% de las principales malas hierbas están comprendidas en sólo 12 familias botánicas, entre las que destacan las gramíneas (Poáceas) y las compuestas.

Muchas de éstas, en todos los pueblos del mundo son consideradas como plantas medicinales para atender sus problemas de salud y una gran mayoría, desarrollados y en desarrollo, siguen haciendo uso de ellas actualmente. En los últimos quince años se ha producido un enorme cambio en las estrategias y políticas, en los organismos encargados de atender la salud. Los médicos tradicionales y sus plantas medicinales han dejado de ser calificados negativamente y comienzan a establecerse programas y proyectos, para la investigación, aplicación e industrialización de los productos.

El manejo de las poblaciones de maleza es una de las prácticas más antiguas en la agricultura. Sin embargo, en muchas ocasiones no se le otorga la importancia debida. Se estima que la interferencia de maleza causa una disminución del 10% de la producción agrícola mundial y puede llegar a un 25% en países en desarrollo (Zimdahl, 1993).

Los cultivos de maíz, trigo y sorgo no están exentos de esta situación, pudiendo ser afectados seriamente en su rendimiento, por la competencia ejercida por malas hierbas en diferentes fases de su desarrollo; asimismo, la maleza puede ocasionar daños en forma indirecta al propiciar el incremento de plagas insectiles, enfermedades o roedores, así como dificultar la cosecha, afectar la calidad de la misma, e influir en la incidencia de maleza en los terrenos debido a la producción de semilla, por lo que se requiere su control en las distintas etapas de desarrollo de los cultivos de interés.

El manejo de maleza debe considerar la biología y la ecología de las plantas, ya que la maleza y los cultivos interactúan en los agro ecosistemas (Bridges, 1995). Desde un punto de vista ecológico, las malas hierbas son plantas que están adaptadas al disturbio causado en la producción de cultivos y en muchos casos su supervivencia y diseminación dependen del hombre. Adicionalmente, las malas hierbas presentan características que le permiten reprimir o desplazar a los cultivos.

Se considera que la alta capacidad reproductiva, la longevidad y latencia de semillas en el suelo y la reproducción vegetativa, son las características más comunes de las principales malas hierbas. Es importante considerar que el control de maleza en cultivos agrícolas debe entenderse como un sistema de manejo de las poblaciones actuales y futuras de estas especies.

Se ha determinado que solamente de 2 a 10 por ciento de la población total de semillas en el suelo germina y emerge en un año y el resto del banco de semillas permanece en latencia (Zimdahl, 1993). Al respecto, se estima que en suelos agrícolas el banco de semillas en la capa arable del suelo varía de 200 a 137,000 semillas por metro cuadrado (Forcella y otros, 1993). Por lo tanto, cualquier medida de control ejercida sobre la maleza, emergida o por emerger, afectará solamente a esta pequeña proporción de la población potencial y el resto se establecerá en el futuro. Con base en lo anterior, es necesario conocer cuáles son las malas hierbas que infestan a los cultivos maíz, trigo y sorgo, el porcentaje de frecuencia en que lo hacen, su distribución regional y sus épocas de emergencia, para poder jerarquizar su importancia y establecer métodos de control adecuados que permitan reducir los costos de producción.

PRINCIPALES ESPECIES DE MALEZA EN LOS CULTIVOS DE MAÍZ, TRIGO Y SORGO EN MÉXICO

En México se reportan más de 400 especies de malas hierbas asociadas a los cultivos de maíz, trigo y sorgo, pertenecientes a más de 50 familias botánicas (Quezada y Agundis, 1982; Tamayo, 2000 y Rosales y otros, 2002). Las principales especies de maleza se enlistan en el Cuadro 1 de acuerdo a su clasificación morfológica.

Cuadro 1. Principales malas hierbas en maíz, trigo y sorgo en México. (Quezada y Agundis, 1982; Tamayo, 2000 y Rosales y otros, 2002).

NOMBRE DE MALEZA		HÁBITO DE	CICLO DE
CIENTÍFICO	COMÚN	CRECIMIENTO	VIDA

HOJA ANCHA

Parthenium hysterophorus L ... Amargosa, estafiate E A

<i>Sonchus oleraceus</i> L.....	Borraja, morraja.....	E.....	A
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Correhuela perenne.....	R-T.....	P
<i>Ipomoea</i> spp.....	Correhuela, trompillo	R-T.....	A
<i>Xanthium strumarium</i> L.	Chayotillo, cadillo de hoja ancha .	E.....	A
<i>Polygonum aviculare</i> L.	Chilillo, huichuri, alambrillo	R	A
<i>P. argyrocoleon</i> Kunze	Chilillo, huichuri, alambrillo	R	A
<i>Thitonia tubaeformis</i> (Jacq.) Cass	Chotol	E.....	A
<i>Chenopodium album</i> L.	Chual blanco.....	E.....	A
<i>Chenopodium murale</i> L.	Chual morado	E.....	A
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Lechosa	E.....	A
<i>Euphorbia albomarginata</i> Torr y A Gray	Golondrina rastrera.....	E.....	A
<i>Rumex crispus</i> L.....	Lengua de vaca, cañagria	E.....	P
<i>Malva parviflora</i> L.	Malva, malva quesillo	E.....	A
<i>Cucumis melo</i> L. Var. <i>Agregatis Naudin</i>	Meloncillo, meloncillo de coyote	R-T.....	A
<i>Brassica campestris</i> L.	Mostaza	E.....	A
<i>Helianthus annuus</i> L.....	Polocote, girasol silvestre	E.....	A
<i>Amaranthus</i> spp.	Quelite, bledo.....	E.....	A
<i>Datura stramonium</i> L.....	Toloache	E.....	A
<i>Physalis</i> spp.	Tomatillo	E.....	A
<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav ...	Trompillo, abrojo de caballo.....	E.....	P
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga	R	A
<i>Trianthema portulacastrum</i> L....	Verdolaga de cochi	R	A
<i>Sesbania exaltata</i> (Raf.) Cory ..	Baiquillo, fibra	E.....	A
<i>Salsola kali</i> L.	Chamizo, rodadora	E.....	A

ZACATES

<i>Phalaris paradoxa</i> L.	Alpistillo	E.....	A
<i>Phalaris minor</i> Retz.L.	Alpistillo común.....	E.....	A

<i>Phalaris angusta</i> Trin.	Alpistillo común.....	E.....	A
<i>Avena fatua</i> L.	Avena silvestre	E.....	A
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Gramilla, grama	R	P
<i>Cenchrus echinatus</i> L.....	Zacate cadillo, huachapone.....	E.....	A
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop..	Zacate cangrejo, pata de gallo.....	E.....	A
<i>Setaria verticillata</i> (L.) Beauv....	Zacate cola de zorra	E.....	A
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) B.....	Zacate choneano, zacate de aguaE	E.....	A
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Beauv.	Zacate pinto	E.....	A
<i>Panicum fasciculatum</i> Swartz...	Zacate espiga, carricillo	E.....	A
<i>Panicum reptans</i> L.	Zacate guiador, gangrena.....	E.....	A
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers...	Zacate Johnson	E.....	P
<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) Lutati	Zacate lancita, apestoso	E.....	A
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.....	Zacate pata de gallo, burro	E.....	A
<i>Leptochloa filiformis</i> (Lam) Beau	Zacate salado, liendrilla	E.....	A
<i>Panicum texanum</i> Buckl.	Zacate toboso	E.....	A
<i>Panicum reptans</i> L.	Zacate carricillo.....	E.....	A
<i>Penisetum ciliaris</i> (L) Link	Zacate cola de zorra	E.....	P

CIPERÁCEAS

<i>Cyperus esculentus</i> L.....	Coquillo amarillo	E.....	P
<i>Cyperus rotundus</i> L.....	Coquillo morado.....	E.....	P
<i>Cyperus ochraceus</i> Vahl.	Coquillo	E.....	P

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

ESTIMACIÓN DE DAÑOS

Las malas hierbas constituyen una de las plagas de mayor importancia que limitan la producción de los cultivos agrícolas, pecuarios y forestales. Son afectados en su germinación, establecimiento y desarrollo por la competencia que establecen por

los factores de crecimiento (luz, agua, nutrientes, etc); por especies que exudan sustancias fitotóxicas (alelopatía) y por aquéllas que los parasitan en forma parcial y total, daño que se refleja en menor rendimiento y calidad de los productos obtenidos.

Por otra parte, la maleza afecta en forma indirecta a las plantas cultivadas al hospedar una amplia gama de plagas agrícolas como insectos, roedores, etcétera; asimismo, ocasiona una mayor dificultad y costo de cosecha y reducen la calidad de los productos agropecuarios y forestales.

DAÑOS DIRECTOS EN TRIGO

La competencia que la maleza establece con el cultivo de trigo en el noroeste de México, le ocasiona pérdidas en promedio de 15 por ciento en su rendimiento, cuando dicha competencia se ejerce durante los primeros 50 días del desarrollo; y de 65 por ciento en promedio, cuando ésta se prolonga durante todo el ciclo (Figura 1) (Tamayo, 1990).

En trigo sembrado bajo el sistema de surcos con dos hileras sobre el lomo del surco en el Valle del Yaqui, la competencia del complejo de maleza ocasiona pérdidas de 21 por ciento si la competencia se establece durante los primeros 50 días de emergido el cultivo y se incrementa a 82 por ciento si la competencia se permite por 60 días; pudiendo llegar hasta un 95.8 por ciento de reducción en el rendimiento, si se permite la libre competencia por todo el ciclo (Figura 2) (Contreras y Tamayo, 1997).

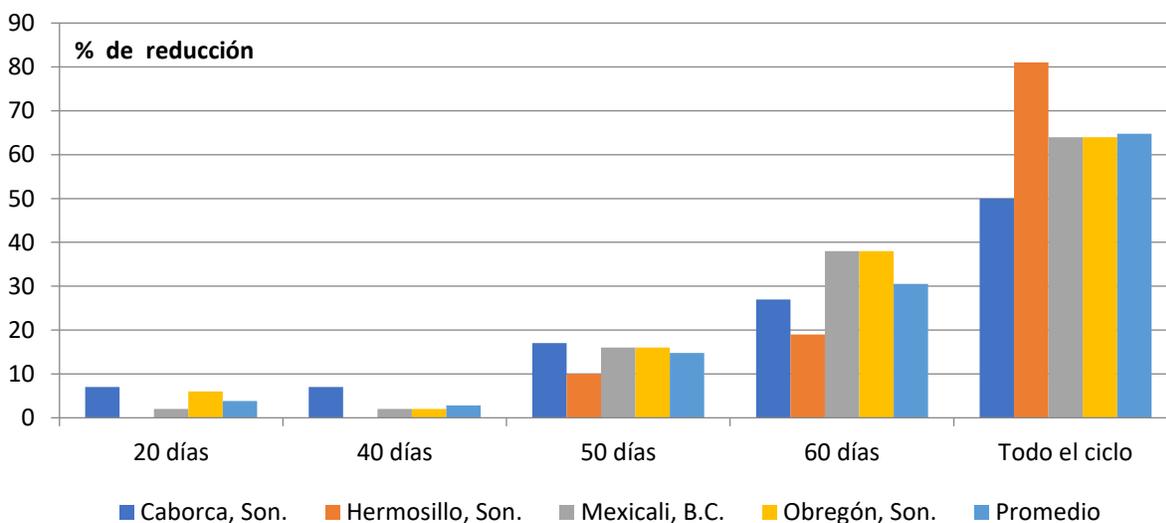


Figura 1. Efecto de períodos críticos de competencia de malas hierbas sobre el rendimiento de trigo en el noroeste de México. INIFAP.

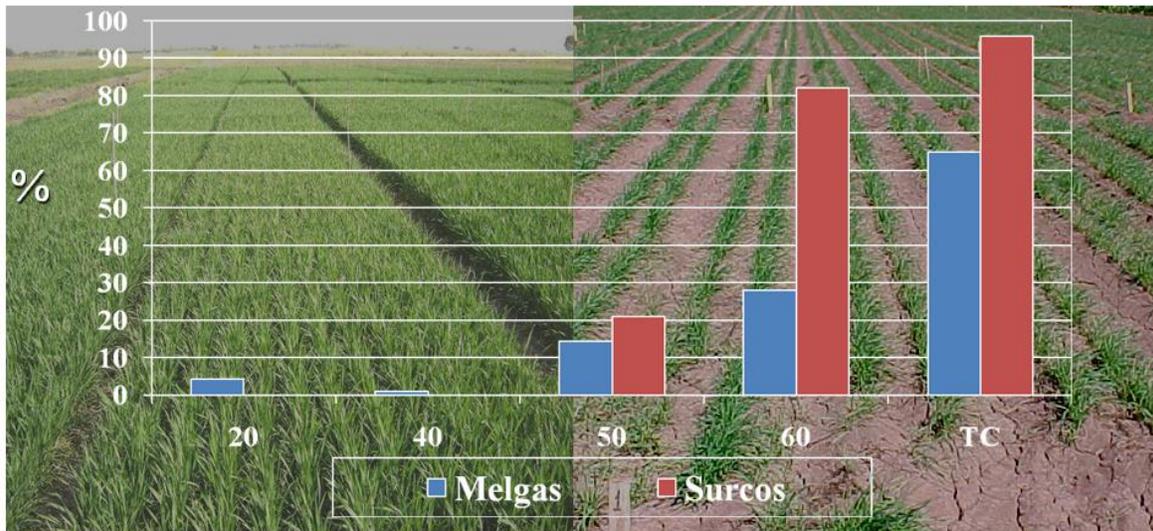


Figura 2. Efecto de los períodos de competencia de malas hierbas sobre el rendimiento de trigo en dos sistemas de siembra en el sur de Sonora. INIFAP.

DAÑOS DIRECTOS EN MAÍZ

En general, la competencia es más crítica durante la primera parte del desarrollo vegetativo del cultivo de maíz. La definición de este lapso definido como período crítico de competencia, se refiere al tiempo máximo que el cultivo tolera la competencia de maleza sin reducciones significativas de su rendimiento y el tiempo mínimo de ausencia de maleza que requiere el cultivo para expresar su máximo rendimiento (Anderson, 1996). 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 cinco por ciento de reducción de rendimiento como el umbral económico en maíz (Ghosheh y otros, 1996).

Los resultados de investigaciones en la regiones productoras de maíz *Zea mays* L., indican que, en la mayoría de éstas, la libre competencia entre la maleza y el cultivo durante los primeros 30 días de su desarrollo, ocasionan plantas cloróticas, de poco vigor y altura, lo que a su vez, genera reducciones en los rendimientos, los cuales alcanzan, en promedio, un 24 por ciento (Figura 3). Sin embargo, las pérdidas se incrementan severamente, cuando los períodos de competencia se extienden. Asimismo, cuando la maleza emerge antes que el maíz; o bien cuando se presentan grandes poblaciones de especies de alta capacidad competitiva. Por el contrario, las pérdidas son generalmente menores cuando las malas hierbas se presentan en estados avanzados del cultivo, como es el caso de las siembras en terrenos de humedad o riego (Agundis, 1984).

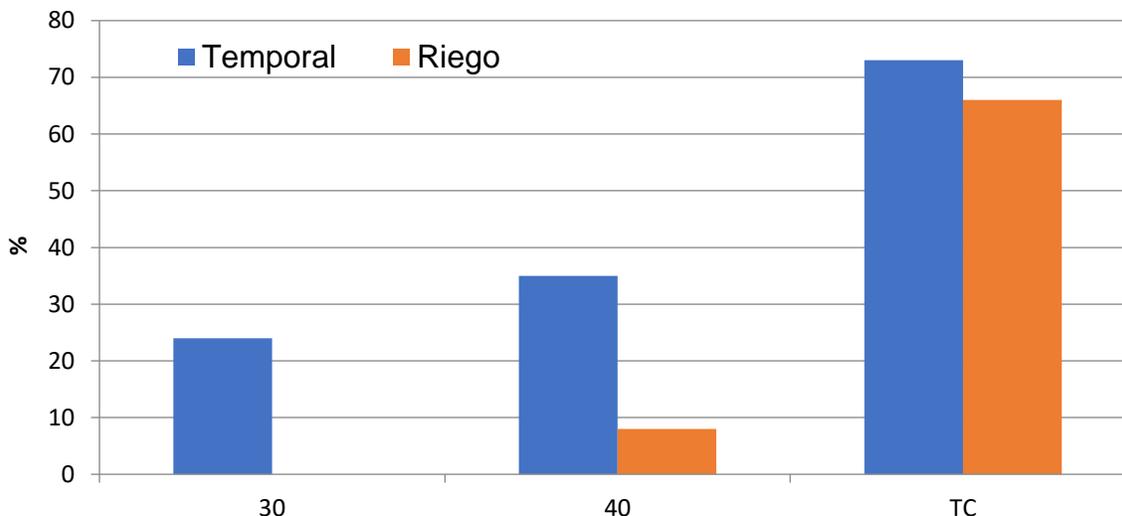


Figura 3. Efecto de los períodos de competencia de maleza sobre el rendimiento de maíz. INIFAP.

En resultados más recientes sobre daños de maleza en maíz, muestran que la competencia durante los primeros 30 días de su desarrollo, se refleja en reducciones en su rendimiento de alrededor de un 25 por ciento (Figura 4); pérdidas más severas se pueden esperar si la maleza emerge o está presente antes que el cultivo o cuando se presentan altas poblaciones de maleza perenne trepadora provenientes de rizomas.

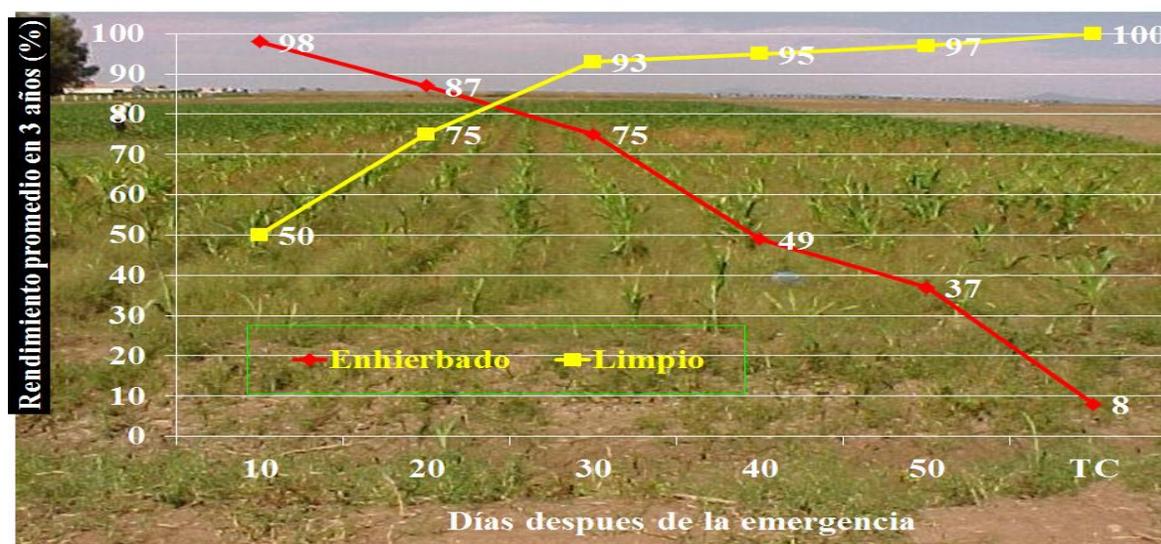


Figura 4. Efecto de la competencia de maleza en el rendimiento del maíz.

DAÑOS DIRECTOS EN SORGO

En sorgo, el período crítico de competencia se ha señalado como el 20% inicial de su ciclo de desarrollo (VanHeemst, 1985). Este período equivale a los primeros 20 a 30 días de desarrollo de la mayoría de los híbridos de sorgo para grano. Los daños que las malezas ocasionan al sorgo dependen principalmente de las especies presentes, época de aparición y condición de humedad. Una de las especies más competitivas es la correhuela perenne, la cual reduce significativamente el rendimiento de sorgo.

En estudios realizados en Río Bravo, Tamaulipas se observó que cuando la correhuela perenne compite con el sorgo en las primeras 1, 2 y 4 semanas después del inicio de desarrollo del cultivo, el rendimiento de grano se redujo en 29, 42 y 55%, respectivamente, con un máximo de 75% de reducción al permitir la competencia por 16 semanas (Figura 5). En tanto que, al aumentar el periodo de tiempo sin la competencia con correhuela, el rendimiento de sorgo se incrementó significativamente (Rosales *et al.*, 2006). De acuerdo con los resultados de esta investigación, se requiere un periodo de cuatro semanas después de la emergencia del sorgo sin la competencia de correhuela, para obtener un rendimiento de al menos 90% al obtenido en el tratamiento sin competencia.

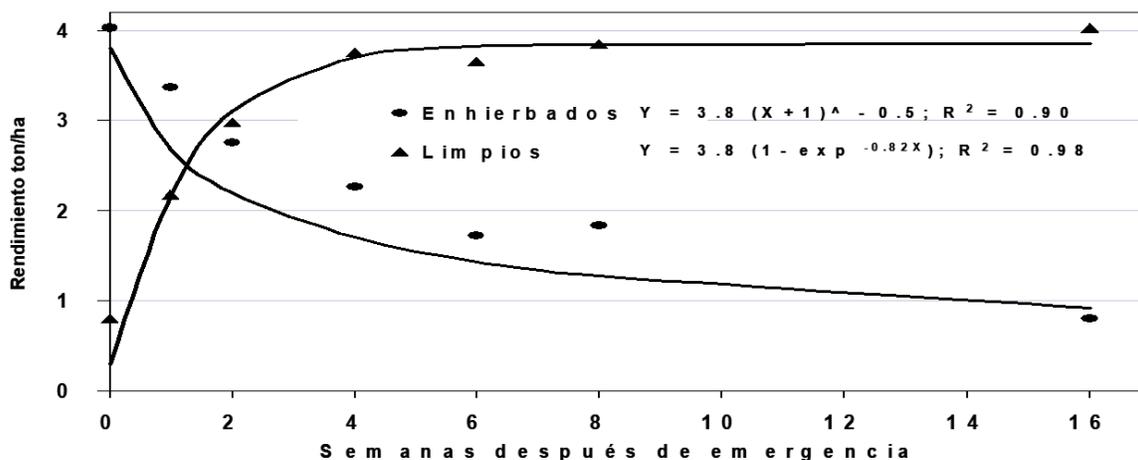


Figura 5. Rendimiento de sorgo en diferentes periodos de competencia con correhuela *Convolvulus arvensis* L. INIFAP.

En un estudio similar, en la misma localidad del estado de Tamaulipas, se observó una reducción del rendimiento de 20, 39 y 57 por ciento cuando se permitió la competencia del polocote o girasol silvestre con el sorgo en las primeras 4, 6 y 8 semanas del desarrollo del cultivo, respectivamente, con un máximo de 79 por ciento de reducción del rendimiento al permitir la competencia por 12 semanas (Figura 6). El rendimiento de sorgo se incrementó significativamente al aumentar el periodo sin la competencia con polocote o girasol silvestre y se requirió de un

periodo de 3.5 semanas sin la competencia de esta maleza, para obtener un rendimiento similar al obtenido en el tratamiento sin competencia (Rosales *et al.*, 2005).

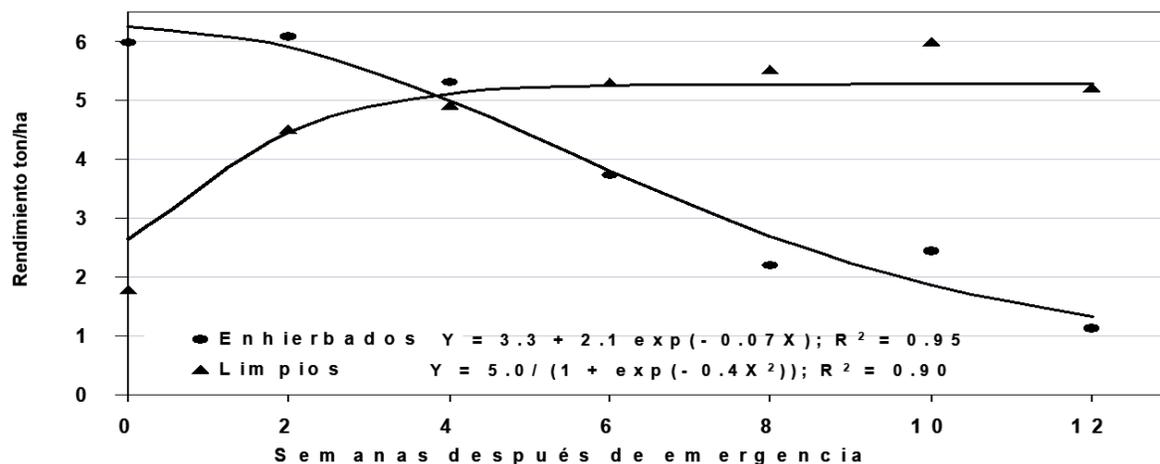


Figura 6. Rendimiento de sorgo en diferentes periodos de competencia con girasol silvestre *Helianthus annuus* L. INIFAP.

En el Noreste de México poblaciones de sólo dos plantas de girasol silvestre por metro cuadrado redujeron el rendimiento de trigo en 27 por ciento (Figura 7) al permitirse su competencia todo el ciclo (Rosales *et al.* 2002).

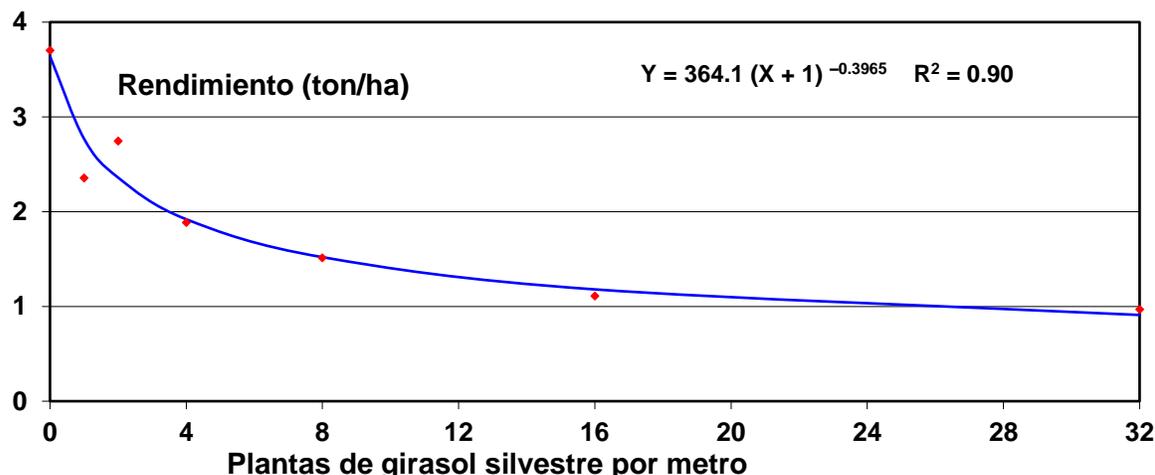


Figura 7. Efecto de la densidad de girasol silvestre *Helianthus annuus* L. Sobre el rendimiento de trigo. INIFAP.

OTRO TIPO DE DAÑOS DIRECTOS

Independientemente del efecto de competencia que ejercen las especies de maleza

sobre las plantas cultivadas, se ha comprobado que un cierto número de éstas ejerce otro tipo de interferencia sobre plantas cultivadas, debido a que poseen sustancias químicas capaces de inhibir la germinación y el desarrollo de otras plantas.

Este efecto, conocido como alelopatía, es un fenómeno de supresión o estimulación del crecimiento de los vegetales provocados por ciertas sustancias químicas (aleloquímicos) elaboradas y liberadas por las plantas, que se acumulan en el medio ambiente a niveles que tienen efectos significativos en el desarrollo sobre otras plantas o la misma que la produce (Putnam y Duke, 1978).

Extractos de rizomas de *Convolvulus arvensis* L. afectan el desarrollo inicial del trigo, manifestando una ligera reducción en la longitud del coleóptilo y de manera importante la longitud de las raicillas de las plántulas de este cultivo (Tamayo y Pérez, 1990); lo cual, puede manifestarse en el vigor del cultivo durante su establecimiento y por lo tanto disminuir su capacidad competitiva, lo que puede traducirse en una reducción en el rendimiento o calidad de la producción (Figura 8).

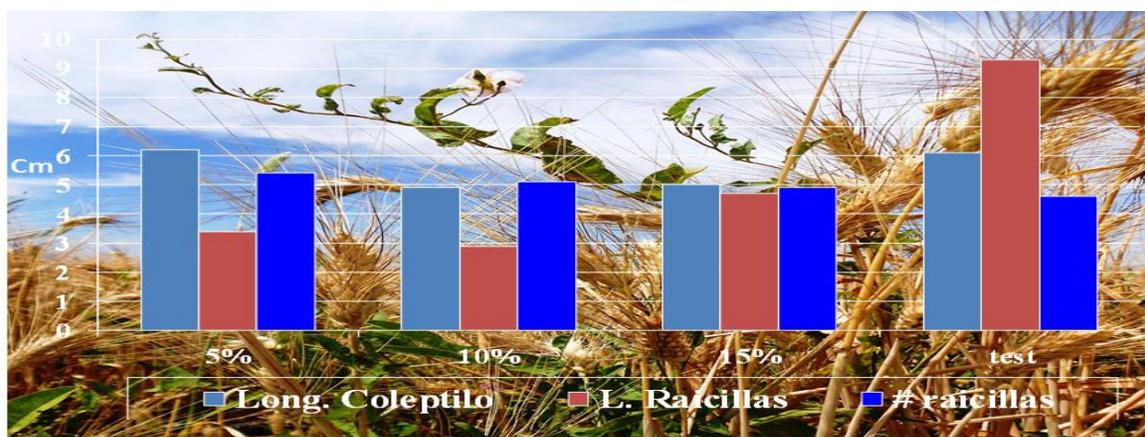


Figura 8. Efectos alelopáticos de extractos de rizomas de correhuela *c. arvensis* L. sobre la germinación y desarrollo inicial del trigo. INIFAP.

DAÑOS INDIRECTOS

En lo que concierne a los daños indirectos, las especies de malas hierbas son reservorios muy eficientes de plagas insectiles, enfermedades, nemátodos y roedores, debido a que su presencia se extiende durante todo el año, sirviendo de puente entre los ciclos de cultivos susceptibles; aunque así como albergan especies de organismos dañinos, son hospederas de un sinnúmero de especies de insectos benéficos y reguladores de plagas y enfermedades, entre otros.

El zacate Johnson *Sorghum halepense* (L) Pers. se considera como una planta hospedera de plagas y enfermedades de importancia económica para los cultivos regionales, como la mosquita de la panoja del sorgo *Contarinia sorghicola* y la gallina ciega *Phyllophaga crinita*. Asimismo, enfermedades como mildiú veloso

Peronosclerospora sorghi, carbón de la panoja *Sphacelotheca reiliana*, antracnosis *Colletotrichum graminicola* y diversos tipos de royas. Además, su dominancia en canales de riego, favorece su proliferación y reduce la eficiencia en el uso y manejo eficiente del agua; lo que a final de cuentas influye sobre la productividad de los cultivos.

MÉTODOS DE CONTROL

El control de malas hierbas en maíz, trigo y sorgo puede realizarse con eficiencia, si se consideran los antecedentes de las infestaciones de maleza en el terreno y se adoptan los diferentes métodos de control, que se clasifican en: culturales, químicos, biológicos e integrados. Dichos métodos, aplicados en su época adecuada y con las condiciones óptimas, controlan las poblaciones de maleza, en niveles que no ocasionan daños significativos en el cultivo.

CONTROL PREVENTIVO

Se refiere a las medidas tomadas para impedir la introducción, establecimiento y desarrollo de maleza en áreas no infestadas; es decir, todas las acciones que permiten evitar no sólo la entrada, sino también la diseminación de semilla de maleza y fragmentos de rizomas y raíces en los terrenos con presencia de maleza (Tamayo Esquer, 2001-a).

Estas medidas incluyen: la supervisión y limpieza de maquinaria usada en áreas infestadas, así como los equipos de transporte y aperos, el uso de semilla certificada y fertilizantes libres de maleza, impedir la producción de semilla de maleza dentro y en los alrededores de los terrenos de cultivo; cuando se usen abonos orgánicos, que éstos sean fermentados, evitar el libre pastoreo entre zonas con infestaciones de maleza y áreas libres de ellas, y el uso de filtros de mallas en las regaderas. El control legal, es considerado como un control preventivo a nivel regional o nacional, apoyado en leyes adecuadas para lograr su objetivo.

CONTROL CULTURAL

Este método de control, no varía mucho cuando es utilizado en diferentes cultivos, ya que se trata de aprovechar las **prácticas comunes** de la preparación del terreno, para que contribuyan al control de malas hierbas; sin embargo, puede considerarse como el de mayor importancia, ya que incluye prácticas de manejo, que promueven un mejor desarrollo de los cultivos del maíz, trigo y sorgo para hacerlos más competitivo hacia la maleza, y su correcta aplicación, evita la proliferación de especies de malas hierbas en los terrenos de cultivo.

Incluye **prácticas correctivas** de manejo tales como la selección y rotación de cultivos, sistema y fecha de siembra entre otras; las cuales, promueven un mejor desarrollo del cultivo para hacerlo más competitivo hacia la maleza. Una medida básica para el control de malas hierbas, lo representa una óptima población del cultivo; ya que las áreas del terreno con bajas poblaciones, son más susceptibles

de infestarse con maleza. La rotación de cultivos, es otra medida básica en el control cultural para evitar las altas infestaciones de maleza; asimismo, el uso de cultivos de amplia cobertura contribuyen al manejo de maleza (Tamayo Esquer, 2001-b).

Dentro del control cultural de maleza también se puede incluir el uso de cultivos de cobertura viva, los cuales crecen asociados a un cultivo que es económicamente más importante. En la actualidad se investigan sistemas de cultivo que incluyen a maíz, soya y frijol como cultivo principal y algunos zacates y leguminosas como cultivos de cobertura viva. Los sistemas tradicionales de las poblaciones autóctonas incluyen la asociación de maíz, frijol y calabaza; donde el maíz sirve de patrón para el frijol y la calabaza cubre totalmente el suelo, impidiendo la proliferación de maleza. 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 con azadón o machete. 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. Los pasos de arado, subsuelo o rastra eliminan a la maleza establecida y en germinación. 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.

Asimismo, éstos métodos de control cultural incluyen todas las prácticas mecánicas que contribuyen a la preparación del terreno para la siembra, desde barbecho o cincel que son muy eficientes para el control de raíces y rizomas en el caso de maleza perenne; ya que al exponerse al sol son eliminados por deshidratación (si se dejan expuestos por lo menos 15-20 días), aunque ésta práctica permite la introducción de semillas que se encuentran en la superficie del suelo, a profundidades que no le permiten por el momento germinar, pero que sirven de reserva ya que el siguiente barbecho las extraerá, germinando las que hayan conservado su viabilidad.

Posteriormente los pasos de rastra contribuyen a la fragmentación de los órganos subterráneos de maleza perenne, pero también consiguen poner al descubierto una buena cantidad de órganos subterráneos, que si antes del siguiente rastreo se les da oportunidad a que se deshidraten, se conseguirá un mayor control (Figura 9); asimismo, éstas prácticas consiguen dispersar los manchones de la maleza, por lo que es necesario considerar la limpieza de los discos cuando hayan pasado por las áreas infestadas, antes de introducirse en las áreas limpias.

Posteriormente, el paso de escardas con cultivadora rotativa o de picos, eliminan a la maleza a la vez que ayudan al "aporque" del cultivo y facilitan 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 del cultivo son una práctica común en muchas áreas productoras de maíz y sorgo en México (Castro, 1985); además en el caso de trigo cuando este se establece en surcos a doble hilera, permitiendo hasta tres escardas mecánicas en la postemergencia del trigo. Es importante señalar que el control de maleza por medio de escardas es eficiente entre los surcos si se lleva a cabo oportunamente. No obstante la maleza que se establece en la hilera de plantas del cultivo sólo puede ser controlada por medio de escardas manuales o con cultivadoras rotativas en sus primeras etapas de desarrollo al cubrirlas con suelo.

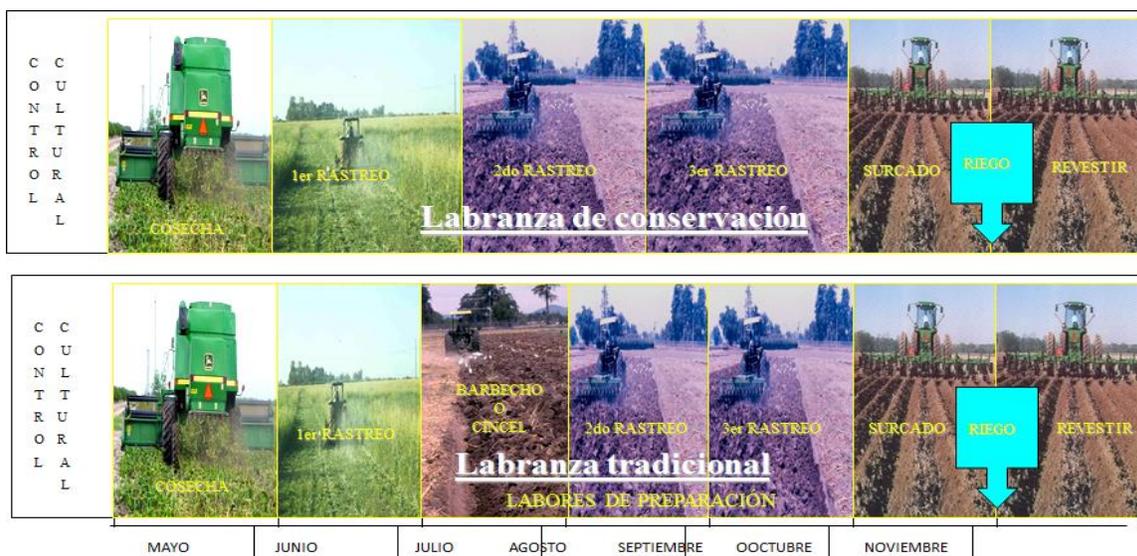


Figura 9. Prácticas que permiten el control cultural de maleza perenne mediante la preparación del terreno durante el período de descanso (verano). INIFAP.

En base a lo anterior, se requiere para las siembras en seco, efectuar una escarda mecánica y un deshierbe manual después de la nacencia del maíz y repetir esta operación después del primer riego de auxilio. Para siembras en húmedo, el problema es menor, ya que con éste método se elimina la primera generación de malas hierbas; sin embargo, es necesario efectuar una escarda y un deshierbe después del primer riego de auxilio, para mantener limpio el cultivo del maíz durante su período crítico de competencia (los primeros 40 días aproximadamente) y que éste no se vea afectado significativamente en su rendimiento (Tamayo Esquer, 2000-a).

Posteriormente, con uno o dos deshierbes manuales se mantiene limpio el cultivo hasta el final del ciclo, evitando la producción de semilla de maleza y, por lo tanto, minimizando los riesgos de mayores infestaciones en el futuro y los descuentos por impurezas. Sin embargo, en infestaciones mayores, este método por sí solo, no es

suficiente, requiriéndose la integración del control químico.

Resultados de investigación en las regiones productoras de maíz en México (Figura 10) indican que la eliminación temprana de la maleza (deshierbes aplicados a los 10 días de emergencia del cultivo), incrementa, en forma considerable, los rendimientos esperados en el cultivo del maíz (Agundis, 1984); sin embargo, los resultados se pueden mejorar al efectuarse deshierbes posteriores a los 20 y 30 días. Estas operaciones efectuadas rigurosamente, pueden mejorar los resultados obtenidos en parcelas conservadas totalmente limpias durante todo el ciclo (Testigo Limpio).

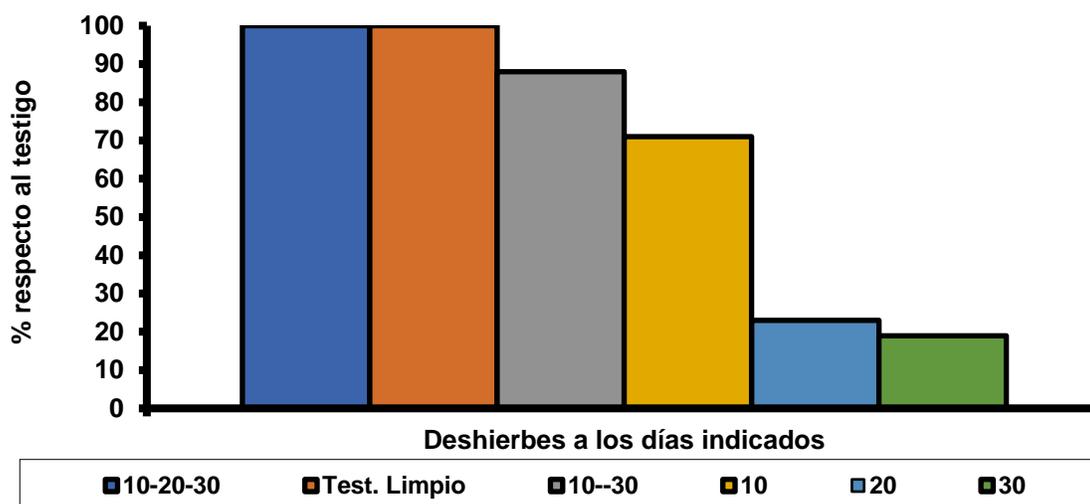


Figura 10. Efecto del número y época de escardas y deshierbes sobre el rendimiento de maíz. INIFAP.

CONTROL QUÍMICO

El control químico de maleza en maíz, trigo y sorgo requiere de conocimientos técnicos para la elección y aplicación eficiente y oportuna de un herbicida. Asimismo, cuenta con ventajas importantes sobre los otros métodos de control, como la oportunidad, pues las elimina antes de su emergencia o en las primeras etapas de desarrollo de la maleza; cuenta con un amplio espectro de control, es decir, varias especies con una sola aplicación. Además, controla maleza perenne con reproducción vegetativa por estolones, bulbos o rizomas y cuenta con acción residual, pudiendo controlar varias generaciones de maleza durante el desarrollo del cultivo (Rosales y otros, 2002).

Cabe señalar, que el uso inapropiado de los herbicidas, representa algunos riesgos para la agricultura; sin embargo, éstos pueden evitarse con una buena selección y aplicación de los productos, así como con el conocimiento de sus características específicas, para evitar daños a los cultivos de interés por excesiva dosificación o a

cultivos vecinos por acarreo por el viento. Daños a cultivos establecidos en rotación pueden manifestarse por residualidad de los herbicidas en el suelo, cambios en el tipo de maleza al usar continuamente un mismo herbicida o la aparición de biotipos de maleza resistentes a los herbicidas (Rosales y otros, 2002).

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 (Rosales y otros, 2002). Por lo tanto, debe señalarse que está plenamente justificado para el control integrado de maleza, cuando el control cultural por sí solo, no es suficiente para reducir las infestaciones regulares (500,000 a 1'500,000 plantas/ha) y altas (más de 1'500,000 plantas/ha) de estas especies anuales, a niveles que no ocasionen daño al cultivo del maíz, trigo y sorgo o bien, cuando se trata de especies de malas hierbas perennes.

Finalmente, es preciso indicar, que la eliminación de maleza mediante herbicidas, es factible desde la etapa de presiembra, en preemergencia y postemergencia, hasta la madurez fisiológica de los cultivos de interés, dependiendo de los problemas específicos de maleza a resolver.

CONTROL QUÍMICO EN PRESIEMBRA

Es posible aplicar cualquier herbicida en la presiembra de maíz, trigo y sorgo puesto que estos cultivos aún no han sido establecidos, no requiriéndose la selectividad de los productos, por lo que se considera una etapa adecuada para el control químico de maleza perenne, ya que actualmente, los productos que mejor actúan sobre éstas especies no son selectivos; sin embargo, es imperativo considerar la persistencia de los productos a utilizar, con el fin de establecer un período de protección adecuado, antes del establecimiento de los cultivos de interés.

El desarrollo fenológico de la especie perenne a controlar en la presiembra, representa otro de los aspectos importantes a considerar, para que se dé una óptima translocación de los herbicidas utilizados y se consiga una mayor eficiencia del mismo; por lo que se sugiere, promover las condiciones para aplicar sobre maleza en pleno crecimiento, antes de la floración de las mismas. En el Cuadro 2, se presentan los herbicidas y las dosis recomendadas para el control de éste tipo de maleza en la presiembra de los cultivos de maíz, trigo y sorgo.

Cuadro 2. Herbicidas y dosis para el control de maleza perenne en la presiembra de maíz, trigo y sorgo en México. INIFAP. 2020.

Producto	Dosis ⁽¹⁾ g. i.a.ha ⁻¹ .	Maleza a controlar
Glifosato	1440 – 2160	<i>Cyperus</i> spp. y <i>Cynodon dactylon</i> L.
Glifosato	1440 – 2880	<i>Convolvulus arvensis</i> L.
2,4-D Amina ⁽²⁾	480 – 720	<i>Convolvulus arvensis</i> L.
Glifosato	540 – 720	<i>Sorghum halepense</i> (L) Pers.

(¹) Dosis más bajas de glifosato pueden ser utilizadas con buena eficiencia al usar productos sinergizantes como ácidos carboxílicos (720 g/ha⁻¹), dependiendo de la misma. (²) Aplicar 30 días antes de la siembra del cultivo.

Para el caso del herbicida glifosato, la aplicación debe ser realizada cuando las poblaciones de zacate Johnson *Sorghum halepense* (L) Pers. o de zacate grama *Cynodon dactylon* L., se encuentren en pleno desarrollo, antes que estas especies inicien la etapa de espigamiento, ya que es en ésta fase cuando las plantas perennes envían los fotosintatos hacia los órganos subterráneos, para recuperar la energía utilizada en el rebrote y establecimiento de las poblaciones, así como para la producción de nuevos órganos subterráneos. Lo anterior, permite aprovechar la recuperación de la energía, para conducir a los herbicidas hacia los rizomas, asegurando así una mayor distribución del producto en los mismos y por lo tanto una mayor eficiencia en el control de éstos.

Cuando el problema a resolver lo represente el zacate Johnson *Sorghum halepense* (L) Pers., es necesario mencionar que la época óptima para la aplicación de herbicidas sistémicos en presiembra, corresponde al ciclo de verano, cuando las temperaturas son ideales para el crecimiento vigoroso de esta especie; ya que entre octubre y febrero, las temperaturas no son favorables para un buen desarrollo de la especie, por lo que esta mala hierba gramínea perenne entra en letargo, y ocasiona una pobre o nula translocación de los herbicidas, actuando como si se tratara de la aplicación de herbicidas de contacto, por lo que en algunos casos, puede ser preferible utilizar productos de este tipo o bien el control cultural. Lo mismo ocurre con correhuella en verano, por lo que su óptima aplicación deberá ser en los meses entre noviembre y abril.

Para conseguir una mayor eficiencia en el control de maleza perenne, se sugiere no remover el suelo por lo menos 10 o 15 días después de la aplicación de los herbicidas sistémicos para que el producto alcance a translocarse hacia los rizomas y conseguir la máxima mortalidad posible de éstos órganos subterráneos. Posteriormente, se puede continuar o iniciar los trabajos de preparación del terreno para la siembra o la siembra misma, ya que el herbicida glifosato no deja residuos en el suelo. Estas prácticas culturales contribuyen a controlar la maleza proveniente de semilla y de rebrotes que emergen después de la aplicación, además de exponer a la superficie algunos rizomas para su deshidratación.

Las aplicaciones al follaje de la maleza perenne después de un desarrollo óptimo obtenido con un riego de presiembra o con la humedad de una lluvia, permiten un control tan eficiente de las poblaciones, que la rebrotación en postemergencia de los cultivos de interés, es muy limitada durante las primeras etapas del establecimiento del cultivo; lo anterior, contribuye a que las especies puedan ser controladas con mayor eficiencia en la postemergencia del cultivo con productos selectivos.

La correhuella o gloria de la mañana *Convolvulus arvensis* L. es una de las especies perennes más importantes en ciertas regiones del noroeste de México, para su

control químico, se sugiere aplicar glifosato al follaje de la maleza en la presiembra de maíz, trigo y sorgo; recomendándose que la especie se encuentre en pleno desarrollo y con muy buenas condiciones de humedad, para asegurar una mayor eficiencia en su control (Cuadro 2) (Tamayo Esquer, 2000-a).

La época óptima de aplicación para ésta especie coincide con la etapa fenológica de inicio de botones florales, ya que en esta etapa de desarrollo las dos terceras partes inferiores de las guías se ocupan de enviar la mayor parte de la savia elaborada para reabastecer las reservas ocupadas por la rebrotación de la especie y para la producción de nuevos rizomas; por lo tanto, se considera que el herbicida aprovecha esta etapa para alcanzar un mayor número de rizomas y por lo tanto mayor eficiencia en el control de los mismos. (Tamayo Esquer, 1986).

CONTROL QUÍMICO EN PREEMERGENCIA

Para el control de malas hierbas anuales en la preemergencia de los cultivos de interés, se requiere de aplicaciones de herbicidas inmediatamente después de la siembra en seco; los cuales se incorporan con el agua del riego para la nacencia, pudiendo usarse productos como atrazina, metolaclor, alaclor, o pendimetalin y mezclas entre éstos. Es importante señalar, que el suelo no debe presentar terrones sobre la cama de siembra, para obtener una mejor distribución del herbicida sobre el lomo del surco y una mayor eficiencia en el control. En el Cuadros 3 y 4, se presentan los productos, dosis y maleza a controlar en la preemergencia de maíz y sorgo.

Cuadro 3. Herbicidas y dosis para el control de maleza anual en preemergencia de maíz en México. INIFAP. 2020.

PRODUCTO	DOSIS g i.a./ha	MALEZA A CONTROLAR
Alaclor	1900 a 3800	Zacates anuales
Alaclor + atrazina	1200 a 2400 + 700 a 1,400	Complejo de anuales
Atrazina	960 – 2200	Hoja ancha anuales
Atrazina + metolaclor	1250 a 2000 + 1250 a 2000	Complejo de anuales
Dimetenamida	900 a 1300	Zacates anuales
Metolaclor	1000 a 2800	Zacates anuales
Pendimetalin	1,600	Zacates anuales

*** No se recomienda aplicar herbicidas preemergentes en suelos de textura ligera.**

Cuadro 4. Herbicidas y dosis para el control de maleza anual en preemergencia de sorgo en México. INIFAP. 2020.

PRODUCTO	DOSIS g i.a./ha	MALEZA A CONTROLAR
Atrazina	960 – 2200	Hoja ancha anuales
Atrazina + metolaclor	1250 a 2000 + 1250 a 2000	Complejo de anuales

** No se recomienda aplicar herbicidas preemergentes en suelos de textura ligera.*

CONTROL QUÍMICO DE MALEZA EN LA POSTEMERGENCIA DE MAÍZ.

Para la postemergencia del cultivo maíz, se ha desarrollado tecnología que permite controlar en forma selectiva y eficiente, el problema de maleza de hoja ancha como de hoja angosta anuales y perennes, con herbicidas como atrazina, 2,4-D amina, dicamba, fluoroxipir, nicosulfurón y prosulfurón. Para que las aplicaciones de éstos productos, controlen con mayor eficiencia las poblaciones de maleza presentes, se requiere de buenas condiciones de humedad en el suelo, un desarrollo adecuado de las especies y de una buena cobertura con la pulverización; lo cual, puede mejorarse cuando se utilizan adherentes o surfactantes. En el Cuadro 5, se presentan las dosis de los productos recomendados para maíz en postemergencia del cultivo, así como el tipo de maleza a controlar.

Cuadro 5. Herbicidas y dosis para el control de maleza en la postemergencia selectiva del maíz en México.

PRODUCTO	DOSIS g i.a./ha	MALEZA
Nicosulfurón*	40	Gramínea anuales y perennes
Dicamba**	140 a 230	Anuales y perennes de hoja ancha
2,4-D Amina**	480-720	Anuales y perennes de hoja ancha
Atrazina + 2,4-D Amina**	500+480	Complejo de anuales
Fluoroxipir	200	Anuales y perennes de hoja ancha
Prosulfurón	29	Anuales y perennes de hoja ancha
2,4-D Amina + dicamba**	240 + 96	Anuales y perennes de hoja ancha
Tritosulfurón + dicamba	50 + 100	Anuales y perennes de hoja ancha
Topramezone***	33.6 a 67.2	Gramínea anuales y perennes

* Se sugiere no aplicar en mezcla con insecticidas organofosforados.

**Es importante señalar que 2,4-D Amina y Dicamba, debido a su volatilidad están restringidos por la Dirección General de Sanidad Vegetal, por lo que requiere de supervisión técnica para su aplicación.

***Se sugiere aplicar en postemergencia temprana.

Los resultados de investigaciones recientes, muestran que se requieren cuando menos 29 g de i.a./ha de prosulfurón (Peak) para alcanzar un control adecuado (89.7%) de las poblaciones de quelite o bledo *Amaranthus* spp. desde los 15 días después de su aplicación (Figura 11); asimismo, se observa que inicialmente el tratamiento con 480 g de i.a./ha de 2,4-D Amina, fue superado por prosulfurón, ya que se requirieron de cuando menos 60 días para que se manifestara un control del 92.2 por ciento de las poblaciones de esta especie (Félix, 2000).

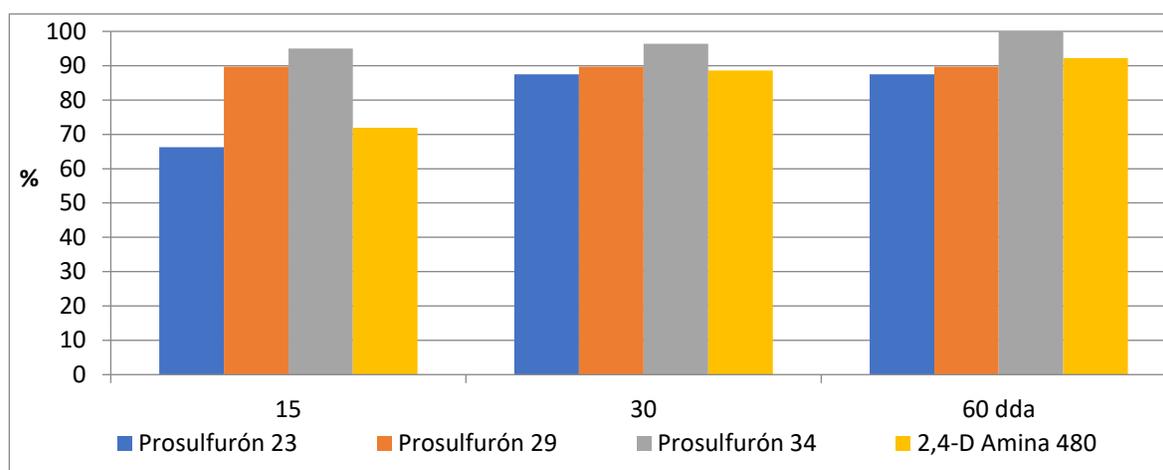


Figura 11. Eficacia del herbicida prosulfurón en el control de *Amaranthus* spp. En la postemergencia del cultivo del maíz. INIFAP.

En el Cuadro 6, se presentan resultados que muestran la eficiencia del herbicida topramezone sobre maleza en maíz, manifestando una acción rápida, ya que desde los 15 dda, la dosis mayor de 150 ccha^{-1} se registró con muy buen control del complejo de maleza; asimismo, se aprecia un control suficiente en la práctica con la dosis menor de 1.0 lha^{-1} y con el testigo regional (2.0 lha^{-1}). Por lo que sólo se requiere de solo 100 ccha^{-1} de topramezone, para un control suficiente en la práctica del complejo de maleza anual 30 y 45 dda en la postemergencia del maíz; aunque no superó al testigo regional.

Ninguna de las dosis de topramezone, ni el testigo regional presentaron síntomas de fitotoxicidad, que representen un riesgo de reflejarse en el rendimiento del maíz. Los más altos rendimientos se manifestaron con la dosis mayor de topramezone (13,012 k/ha⁻¹), seguida de la dosis menor de este mismo herbicida (12,180 k/ha⁻¹); aunque las diferencias no fueron significativas con respecto al testigo regional (12,133 k/ha⁻¹), pero si superaron al testigo sin aplicación (8,113 k/ha⁻¹).

Cuadro 6. Porcentaje de control de maleza y rendimiento como resultado de los tratamientos postemergentes con el herbicida topramezone en maíz. Valle del yaqui, sonora, México. Ciclo agrícola otoño-invierno 2017-18.

N° y descripción de tratar	Porcentaje de control de maleza			Rendimiento kHa ⁻¹
	15	30	45 dda	
1. Topramezone* 100 cc	92.5 b	92.5 b	97.5 a	12,180 a
2. Topramezone* 200 cc	97.5 a	97.5 a	97.5 a	13,012 a
3. Testigo comercial** 1.0 l	92.5 b	97.5 a	97.5 a	12,133 a
4. Testigo enhierbado	0.0 c	0.0 c	0.0 b	8,113 b
CV=	0.7080%	0.6957%	0.6838%	9.0189%
DMS P<0.05	0.7704	0.7704	0.7704	1668.6

El Cuadro 7, muestra resultados donde tritosulfurón + dicamba controla la maleza de manera regular (<80%) y el testigo regional con un control medio (>80%); aunque no fueron suficientes en la práctica (>87.5%), controlaron de manera regular la maleza desde 15 dda. Se requirieron 250 Gha⁻¹ de tritosulfurón + dicamba, para un control suficiente en la práctica de maleza y superar al testigo regional 30 dda; aunque este efecto fue reducido 45 dda a un control medio e igualada por su dosis baja y por el testigo regional. Ninguno de los tratamientos fueron fitotóxicos al cultivo, como para afectar su producción; donde los mayores rendimientos fueron para 250 Gha⁻¹ de tritosulfurón + dicamba (12,410 Kha⁻¹), seguido de 200 Gha⁻¹ (11,652 Kha⁻¹); es decir, 113.3 y 106.4 por ciento con respecto al testigo regional (10,949 Kha⁻¹), superando al testigo sin aplicación que rindió 8,113 Kha⁻¹ (74.1%).

Cuadro 7. Control de maleza como resultado de la mezcla de tritosulfurón + dicamba (Condraz) en maíz en el sur de Sonora. Ciclo Otoño-Invierno 2017-18.

N° de Tratamiento	% control de maleza			Rendimiento kHa ⁻¹
	15	30	45 dda	
1 Tritosulfurón + dicamba (200 Gha ⁻¹)	72.5 c	77.5 c	82.5 a	11,650 a
2 Tritosulfurón + dicamba (250 Gha ⁻¹)	77.5 b	92.5 a	81.8 a	12,410 a
3 Testigo Regional*	83.0 a	82.5 b	82.5 a	10,950 a
4 Testigo sin aplicación	0.0 d	0.0 d	0.0 b	8,113 b
Tukey's P<0.05=	0.250	0.250	1.886	518.2

*Dicamba + 2,4-D Amina (Banvel 1224: 1.0 Lha⁻¹); dda = días después de aplicado.

CONTROL QUÍMICO DE MALEZA EN LA POSTEMERGENCIA EN SORGO.

Para la postemergencia del cultivo de sorgo, se ha desarrollado tecnología que permite controlar selectiva y eficientemente el problema del complejo de maleza anuales y perennes, con herbicidas como 2,4-D amina, dicamba, prosulfurón y mezclas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Herbicidas y dosis para el control de maleza en la postemergencia selectiva del sorgo en México. INIFAP. 2020.

PRODUCTO	DOSIS g i.a./ha	MALEZA
2,4-D Amina*	480-720	Anuales y perennes de hoja ancha
Dicamba*	140 a 190	Anuales y perennes de hoja ancha
Prosulfurón	23 a 34	Anuales y perennes de hoja ancha
2,4-D Amina + Dicamba*	240 + 96	Anuales y perennes de hoja ancha

****Es importante señalar que 2,4-D Amina y Dicamba, debido a su volatilidad están restringidos por la Dirección General de Sanidad Vegetal, por lo que requiere de supervisión técnica para su aplicación.***

Resultados experimentales sobre la eficiencia en el control de maleza de hoja ancha como resultado de los tratamientos aplicados en la postemergencia de sorgo para grano se presentan en el Cuadro 9, donde puede apreciarse un buen control de la maleza (93%) con la mayoría de los tratamientos evaluados; con excepción de las dosis bajas de topramezone + dimethenamida (1.0 l) y de topramezone + dicamba (0.75 l), que corresponde a un efecto sobre la maleza, considerado como suficiente en la práctica (88%) y control medio (83%) respectivamente. Para las evaluaciones efectuadas 30 y 45 días después de la aplicación de los tratamientos, los resultados muestran muy buen control de maleza de hoja ancha anual, con cualquiera de los tratamientos herbicidas evaluados (98%).

Cuadro 9. Porcentaje de control de maleza de hoja ancha como resultado de los tratamientos postemergentes en sorgo para grano. Valle del Yaqui, Sonora. Ciclo verano 2017.

N° de Tratamiento, descripción y dosis por ha	Porcentaje de control de maleza		
	15	30	45dda
1 Topramezone + dimethenamida 1.0 l	88	98	98
2 Topramezone + dimethenamida 1.5 l	93	98	98
3 Topramezone + dicamba 0.75 l	83	98	98
4 Topramezone + dicamba 1.2 l	93	98	98
5 Tritosulfurón + dicamba 175 g	93	98	98
6 Tritosulfurón + dicamba 200 g	93	98	98
7 Dicamba 0.4 l	93	98	98
8 Dicamba 0.5 l	93	98	98
9 Testigo regional*	93	98	98
10 Testigo sin aplicación	0	0	0

* 2,4-D amina 1.5 l

CONTROL QUÍMICO DE MALEZA EN LA POSTEMERGENCIA DE TRIGO.

Para la postemergencia del cultivo de trigo, se ha desarrollado tecnología que permite controlar selectiva y eficientemente el problema de maleza de hoja angosta, con herbicidas como mesosulfurón + iodosulfurón, pyroxsulam, pinoxaden y flucarbazona (Cuadro 10).

Cuadro 10. Herbicidas y dosis para el control de maleza de hoja angosta en la postemergencia selectiva del trigo para México. INIFAP. 2020.

PRODUCTO	DOSIS g i.a./ha	MALEZA
Mesosulfurón + iodosulfurón	10 + 2 a 15 + 3	Anuales de hoja angosta
Pyroxsulam	15	Anuales de hoja angosta
Pinoxaden	50	Anuales de hoja angosta
Flucarbazona	50	Anuales de hoja angosta

Los resultados del Cuadro 11, muestra que los tratamientos con mesosulfurón + iodosulfurón + thiencazolina presentaron un mayor control de avena silvestre que los testigos comerciales, aunque requirieron de 45 dda para obtener un control suficiente en la práctica. Ninguna de las mezclas evaluadas, ni con los testigos comerciales, se registraron efectos aparentes de fitotoxicidad en el cultivo, que pudiera reflejarse en su rendimiento. El más alto rendimiento fue para 333 G de MCha⁻¹ de mesosulfurón + iodosulfurón + thiencazolina + 2 Lha⁻¹ de Dyne-Amic

(9,630 Kha⁻¹), seguido de 333 G de MCh^{a-1} de mesosulfurón + iodosulfurón + thien carbazona + 1 Lha⁻¹ de Polaquimia (9,230 Kha⁻¹); así como de los testigos comerciales 2 y 1 (8,638 y 8,300 Kha⁻¹) sin diferencias significativas; exceptuando al testigo sin aplicación (6,455 Kha⁻¹).

Cuadro 11. Control de avena silvestre *avena fatua* I. Como resultado de mesosulfurón + iodosulfurón + thien carbazona con herbicidas postemergentes en trigo en el sur de Sonora, México. Ciclo Otoño-Invierno 2018-19.

N° y descripción de Tratamientos	% control de avena silvestre			Rendimiento Kha ⁻¹
	15	30	45 dda	
1 Testigo comercial 1: Mesosulfurón + Iodosulfurón* (1.0 Lha ⁻¹)	55.0 b	50.0 b	65.0 b	8,300 ab
2 Mesosulfurón + iodosulfurón + thien carbazona** (333 Gha ⁻¹)	80.0 a	80.0 a	90.0 a	9,630 a
3 Mesosulfurón + iodosulfurón + thien carbazona** (333 Gha ⁻¹)	85.0 a	80.0 a	90.0 a	9,230 a
4 Testigo comercial 2: Pinoxaden *** (1.0 Lha ⁻¹)	50.0 b	45.0 b	65.0 b	8,638 ab
5 Testigo sin aplicación	0.0 c	0,0 c	0.0 c	6,455 b
Tukey's P<0.05=	3.416	3.416	2.582	584.4

*Sigma Forte; **Sigma Star; ***Axial XL.

En el Cuadro 12, se indican los herbicidas y mezclas para el control de maleza de hoja ancha anuales y perennes; los cuales incluyen 2,4-D amina, dicamba, fluoroxypir y mezclas de varios herbicidas; que son considerados como eficientes en el manejo de este tipo de maleza en trigo.

Cuadro 12. Herbicidas y dosis para el control de maleza de hoja ancha en la postemergencia selectiva del trigo para México. INIFAP. 2020.

PRODUCTO	DOSIS g i.a./ha	MALEZA
2,4-D Amina*	480-720	Anuales y perennes
Dicamba*	190	Anuales y perennes
Dicamba + 2,4-D Amina*	96 + 240 a 360	Anuales y perennes
Fluoroxypir	167	Anuales y perennes
Halauxifen + fluoroxypir	6 + 125	Anuales y perennes

Thifensulfurón + metsulfurón	10 + 2	Anuales y perennes
Dicamba* + Prosulfurón	150 + 15 a 250 + 25	Anuales y perennes
Tritosulfurón + dicamba*	50 + 100	Anuales y perennes

****Es importante señalar que 2,4-D Amina y Dicamba, debido a su volatilidad están restringidos por la Dirección General de Sanidad Vegetal, por lo que requiere de supervisión técnica para su aplicación.***

Recientemente, las mezclas múltiples han sido la herramienta para resolver la problemática de maleza de hoja ancha y angosta en el cultivo de trigo; en el Cuadro 13, se indican los herbicidas y dosis recomendados para el complejo de maleza en este cultivo en la región.

Cuadro 13. Mezclas de herbicidas y dosis para el control del complejo de maleza en la postemergencia selectiva del trigo para México. INIFAP. 2020.

PRODUCTO	DOSIS g i.a./ha	MALEZA
Mesosulfurón + iodosulfurón + fluoroxytir	12.5 + 2.5 + 180	Complejo de maleza
Mesosulfurón + iodosulfurón + fluoroxytir	12.5 + 2.5 + 167	Complejo de maleza
Mesosulfurón + iodosulfurón + halauxifen + fluoroxytir	12.5 + 2.5 + 6 + 125	Complejo de maleza
Mesosulfurón + iodosulfurón + thifensulfurón + metsulfurón	12.5 + 2.5 + 10 + 2	Complejo de maleza
Mesosulfurón + iodosulfurón + tritosulfurón + dicamba	12.5 + 2.5 + 50 + 100	Complejo de maleza
Pyroxsulam + Fluoroxytir	15 + 167	Complejo de maleza
Pyroxsulam + Halauxifen + Fluoroxytir	15 + 8 + 180	Complejo de maleza
Pyroxsulam + thifensulfurón + metsulfurón	15 + 10 + 2	Complejo de maleza
Pyroxsulam + dicamba + prosulfurón	15 +	Complejo de maleza
Pyroxsulam + tritosulfurón + dicamba	15 + 50 + 100	Complejo de maleza

Pinoxaden + Fluoroxypir	50 + 176	Complejo de maleza
Pinoxaden + + Halauxifen + Fluoroxypir	50 + 6 + 125	Complejo de maleza
Pinoxaden + thifensulfurón + metsulfurón	50 + 10 + 2	Complejo de maleza
Pinoxaden + tritosulfurón + dicamba	50 + 50 + 100	Complejo de maleza
Flucarbazona + fluoroxypir	50 + 176	Complejo de maleza

****Es importante señalar que 2,4-D Amina y Dicamba, debido a su volatilidad están restringidos por la Dirección General de Sanidad Vegetal, por lo que requiere de supervisión técnica para su aplicación.***

En el Cuadro 14, se presentan resultados de la evaluación de mezclas para el control del complejo de maleza en trigo (León et al, 2018); donde se puede apreciar que los controles del complejo de maleza con pyroxsulam en mezcla con los diferentes latifolicidas evaluados, fueron suficientes en la práctica desde los 15 hasta los 45 dda, incluyendo al testigo regional.

Aunque las diferencias entre los tratamientos herbicidas no fueron significativos, el más alto rendimiento corresponde a pyroxsulam + tritosulfurón + dicamba (6,898.5 k/ha), seguido del testigo regional (mesosulfurón + iodosulfurón + fluroxipir), de pyroxsulam + fluroxipir + halauxifen (6,545.5 k/ha), de thifensulfurón + metsulfurón (6,000 k/ha) y del testigo sin aplicación (1,195.5 k/ha).

Cuadro 14. Control de maleza y rendimiento resultado de mezclas de pyroxsulam con latifolicidas postemergentes en trigo en el sur de Sonora, México. Ciclo Otoño-Invierno 2017-18.

N° de Tratamiento	% control de hoja angosta			% control de hoja ancha			Rendimiento
	15	30	45	15	30	45	Kha ⁻¹
1 Pyroxsulam + fluroxipir + halauxifen (0.5 + 0.5 l/ha)	93.0 a	92.5 a	87.5 a	90.0 a	92.5 a	90.0 a	6,545.5 a
2 Pyroxsulam + fluroxipir (0.5 + 0.5 l/ha)	92.5 a	92.5 a	87.5 a	90.0 a	92.5 a	92.5 a	6,164.3 a
3 Pyroxsulam + tritosulfurón + dicamba (0.5l + 200g)	92.5 a	91.5 a	87.5 a	92.5 a	92.5 a	92.5 a	6,898.5 a
4 Pyroxsulam + thifensulfurón + metsulfurón (0.5l + 30g)	92.5 a	91.5 a	87.5 a	92.5 a	92.5 a	92.5 a	6,000.0 a
5 Testigo Regional*	92.5 a	92.5 a	87.5 a	92.5 a	92.5 a	92.5 a	6,703.3 a
6 Testigo sin aplicación	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b	0.0 b	1,195.3 b
Tukey's P<0.05=	1.258	1.359	1.318	1.559	1.318	1.443	364.9

*Iodosulfurón + mesosulfurón + fluroxipir (1.0 + 0.5 l/ha).

En la Figura 12, se puede apreciar el control sostenido de maleza de hoja ancha en la mayoría de los tratamientos, incluyendo el testigo regional; sin embargo, en el caso de maleza gramínea, se aprecia una disminución en su control para los 45 dda, aunque este se mantuvo por arriba de 87 por ciento de control, es decir un control suficiente en la práctica.

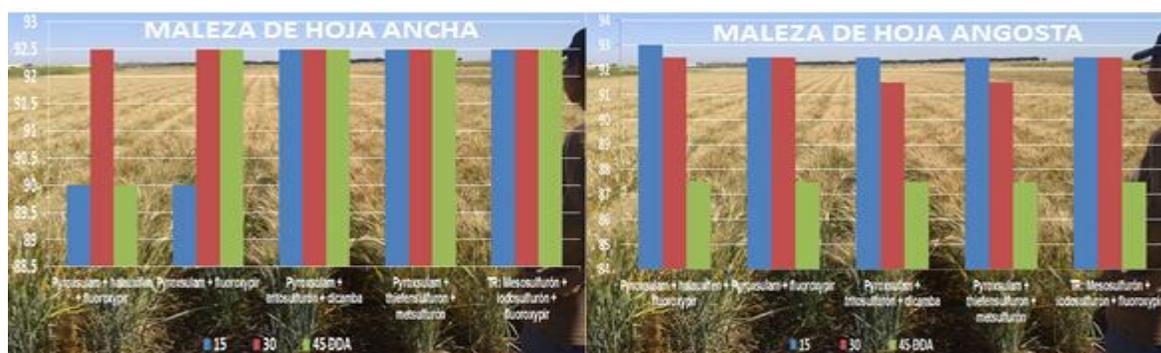


Figura 12. Control de maleza con mezclas de pyroxulam y latifolicidas en aplicaciones tardías en trigo. 2017.18.

El rendimiento de trigo con las mezclas de pyroxulam y latifolicidas (Figura 13), muestra que a pesar de la aplicación tardía, el control de maleza no permitió que este se viera afectado; registrándose iguales o superiores a las seis toneladas por hectárea.

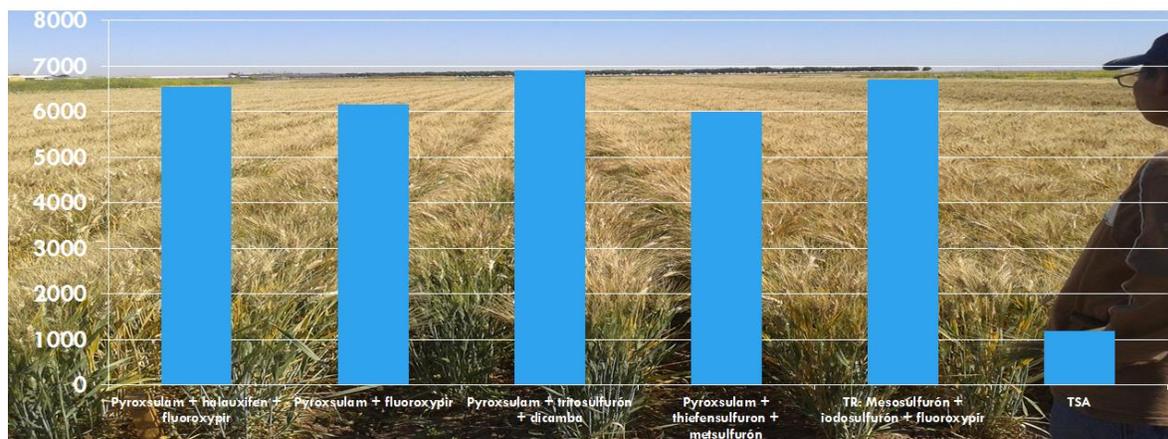


Figura 13. Rendimiento como resultado del control de maleza con mezclas de pyroxulam y latifolicidas en aplicaciones tardías en trigo. 2017.18.

Los resultados de control de las mezclas de pinoxaden con latifolicidas (Figura 14), muestran en el caso de maleza de hoja ancha que son suficientes en la práctica

para los tratamientos evaluados; los cuales, se mantienen desde los 15 hasta los 45 dda. Para el caso de maleza gramínea, los resultados son similares para la mayoría de los tratamientos; exceptuando a las mezclas de pinoxaden con fluoroxypir, con tritosulfurón + dicamba y thifensulfurón + metsulfurón, que se vieron reducidos a niveles medios de control.

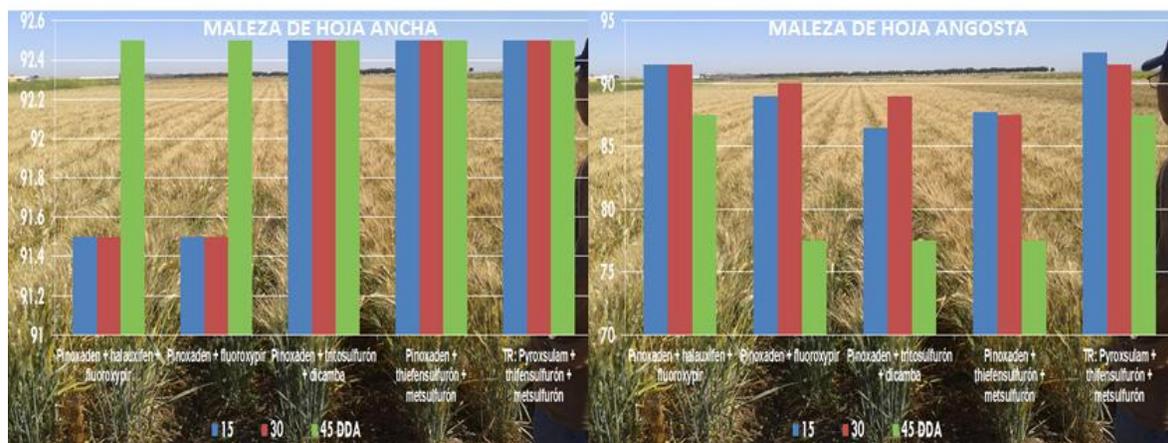


Figura 14. Control de maleza con mezclas de pinoxaden y latifolicidas en aplicaciones tardías en trigo. 2017.18.

En lo que concierne al rendimiento de trigo, los tratamientos que se vieron reducidos a control medio, muestran reducciones en su rendimiento; con excepción de la mezcla de pinoxaden con thifensulfurón + metsulfurón, que se mantuvo en las seis toneladas por hectárea.

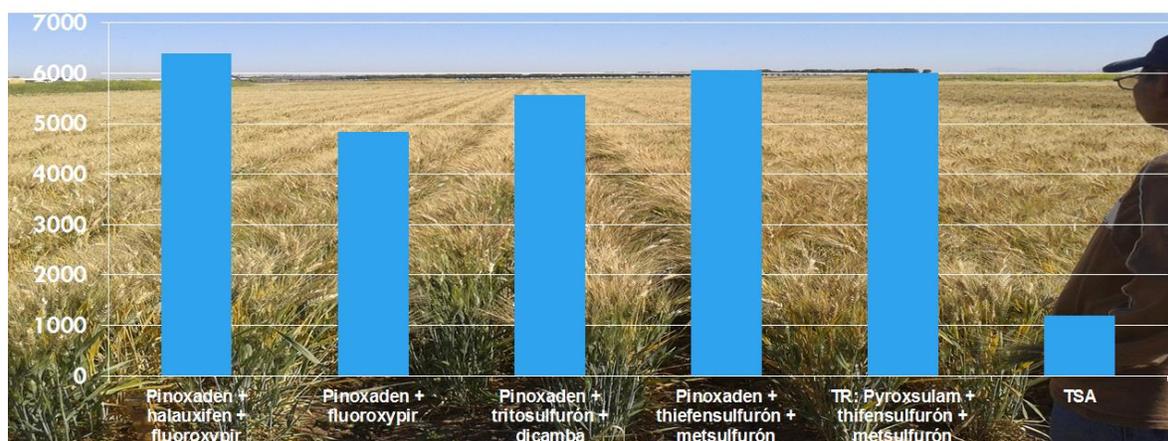


Figura 15. Rendimiento como resultado del control de maleza con mezclas de pinoxaden y latifolicidas en aplicaciones tardías en trigo. 2017.18.

La Figura 16, muestra que el control de maleza de hoja ancha no tiene ningún problema con las mezclas de mesosulfurón + iodosulfurón con latifolicidas; sin embargo, en la maleza de hoja angosta, se aprecia una dificultad para mantener un control suficiente en la práctica para la mayoría de los tratamientos, con excepción de la mezcla con fluoroxypir y el testigo regional (pinoxaden + halauxifen + fluoroxypir), que mantuvieron un control suficiente en la práctica hasta los 45 dda.

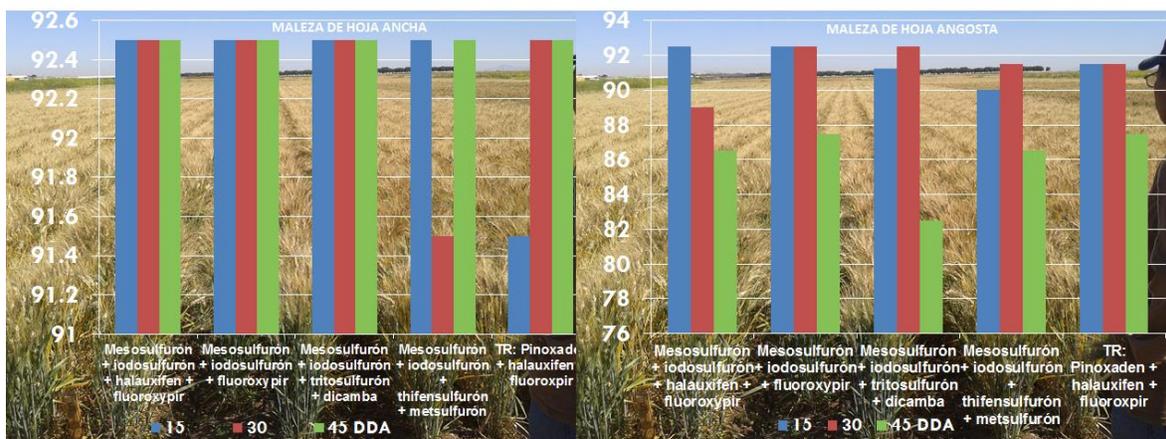


Figura 16. Control de maleza con mezclas de mesosulfurón + iodosulfurón y latifolicidas en aplicaciones tardías en trigo. 2017.18.

En el caso de los rendimientos con las mezclas de mesosulfurón + iodosulfurón con latifolicidas (Figura 17), no se aprecia el efecto que se puede esperar analizando el control de maleza gramínea, ya que la mayoría de los tratamientos superaron las seis toneladas por hectárea, con excepción del testigo sin aplicación que apenas rebasó la tonelada por hectárea.

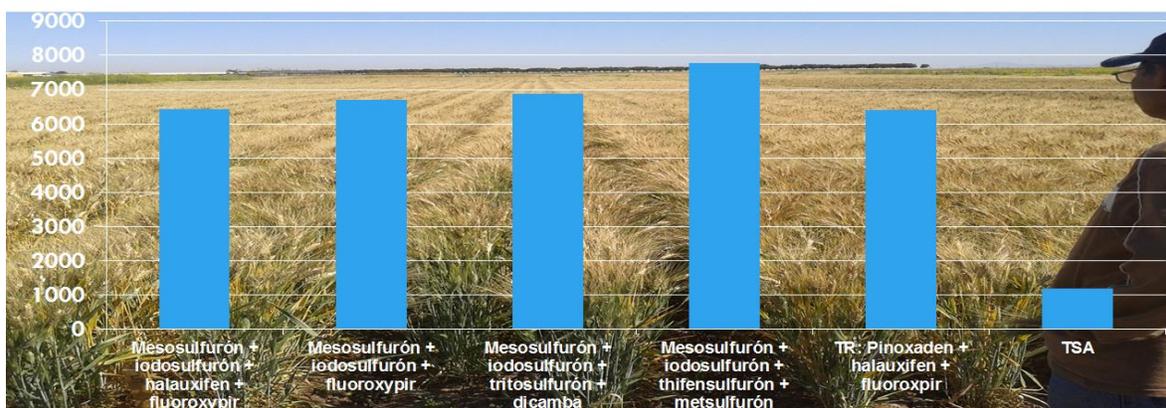


Figura 17. Rendimiento como resultado del control de maleza con mezclas de mesosulfurón + iodosulfurón y latifolicidas en aplicaciones tardías en trigo. 2017.18.

La Figura 18, presenta el control de maleza de hoja ancha y angosta en una siembra de trigo tardía, donde se aprecia que la maleza de hoja ancha no tiene ningún problema para su control; sin embargo, la maleza gramínea si presenta problemas para mantener su control hasta los 45 dda en la mayoría de los tratamientos, con excepción de la mezcla de pinoxaden con halauxifen + fluoroxypr y el testigo regional (pinoxaden + tritosulfurón + dicamba), que se mantuvieron con controles suficientes en la práctica.

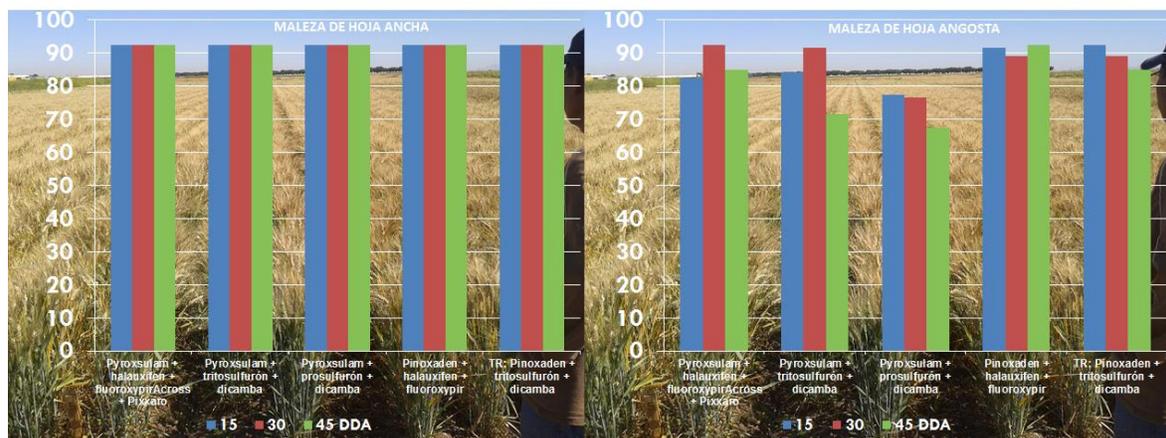


Figura 18. Control de maleza con mezclas de graminicidas y latifolicidas en aplicaciones en trigo. 2018.19.

CONTROL QUÍMICO EN LA POSTEMERGENCIA DIRIGIDA

Debido a la altura que el maíz y sorgo adquieren, desde etapas tempranas del cultivo, limita la utilización de prácticas culturales, como escardas mecánicas, para mantener limpio de malas hierbas hasta las etapas finales del cultivo; lo anterior, aunque no representa un riesgo de reducciones en el rendimiento por efectos de competencia, ya que el período crítico se establece en etapas tempranas, representa un serio problema desde el punto de vista de la infestación de los terrenos con infestaciones leves de maleza, ya que éstas cuentan con un período muy largo para emerger y alcanzar a producir varias generaciones de semilla, antes de que se presenten las condiciones necesarias para la realización de la cosecha. En el caso de terrenos con infestaciones medias y altas, el problema se incrementa de manera mucho más importante.

La necesidad de generar tecnología para el control químico de maleza en etapas avanzadas del cultivo del maíz, ha permitido la obtención de resultados de evaluaciones de mezclas de herbicidas en aplicaciones postemergentes dirigidas, sobre el control del complejo de maleza anual (Tamayo Esquer, 1998). Los resultados muestran que se requieren cuando menos 300 + 150 g de i.a./ha de paraquat + diurón para controlar eficientemente a *Portulaca oleracea* L. (*P.o.*),

Euphorbia spp. (*E. spp.*) y *Panicum reptans* (*P.r.*) hasta los 60 días después de la aplicación de los tratamientos; sin embargo, *Sisimbrium irio* L. (*S.i.*) sólo fue controlada con eficacia hasta los 30 días después de la aplicación, y las diferentes dosis de éstos herbicidas no controlaron eficientemente las poblaciones de *Melilotus indica* L. (*M.i.*) (Figura 19).

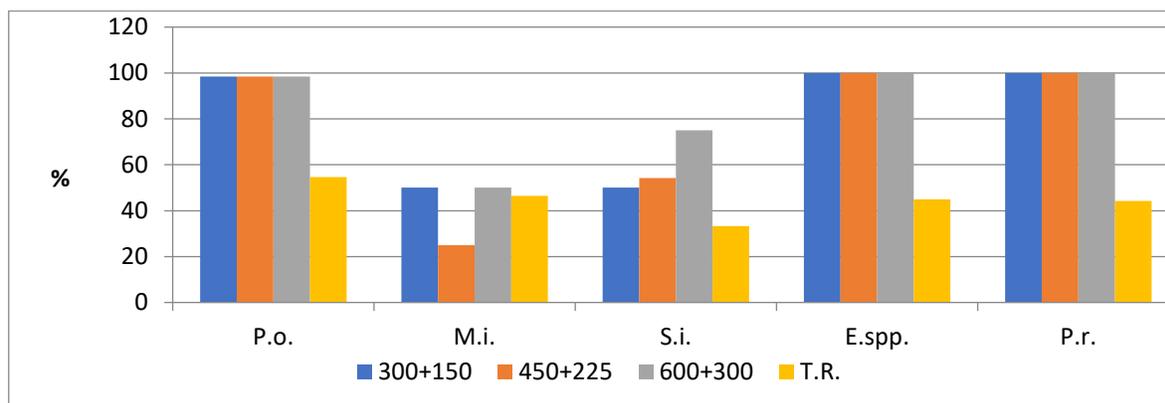


Figura 19. Eficacia de la mezcla formulada de los herbicidas paraquat + diuron (misil) en el control de maleza anual en la postemergencia dirigida del cultivo del maíz. INIFAP.

CONTROL QUÍMICO EN LA MADUREZ FISIOLÓGICA

Los problemas de maleza al final del ciclo del maíz, trigo y sorgo, han adquirido una importancia relevante, debido a que las poblaciones de distintas especies de maleza, consiguen establecerse con éxito en esta etapa, lo que ha ocasionado graves dificultades durante la cosecha, llegando en casos extremos a descuentos económicos por contaminación del grano con la semilla de estas especies de malas hierbas, lo que limita de manera importante la calidad de la cosecha e incrementa el problema de maleza en el terrenos.

Debido a lo anterior, se ha requerido de aplicaciones de herbicidas antes de la cosecha, para lo cual se pueden utilizar los herbicidas que se señalan en el Cuadro 15, dependiendo del problema en particular, ya que en esta etapa también se recomiendan aplicaciones para el control de maleza perenne como zacate Johnson *Sorghum halepense* (L) Pers., y correhuela a *Convolvulus arvensis* L., entre otras.

ASOCIACIÓN DEL CONTROL CULTURAL Y QUÍMICO

A pesar de los avances significativos que se han realizado en desarrollo de tecnología para el control de maleza, tanto con el método cultural como con el químico, existe el antecedente de que ninguno de los dos métodos ha sido totalmente eficiente y aplicable en todos los casos de infestación (Agundis, 1984). En cuanto al control cultural, se ha observado con mucha frecuencia que las

escardas mecánicas no son suficientes para controlar toda la población de maleza, específicamente las que se desarrollan a los lados y entre las plantas del maíz, trigo y sorgo; siendo la que causa los daños más graves al cultivo, la de mayor dificultad de control y la que representa los mayores costos.

Cuadro 15. Herbicidas y dosis para el control de maleza anual y perenne en la madurez fisiológica del maíz, trigo y sorgo INIFAP.

PRODUCTO	DOSIS ⁽¹⁾ g. de i.a./ha.	MALEZA A CONTROLAR
Glifosato	1440 – 2160	<i>Cyperus</i> spp. y <i>Cynodon dactylon</i> (L) Pers.
Glifosato	1440 – 2880	<i>Convolvulus arvensis</i> L.
2,4-D Amina ⁽²⁾	480 – 720	<i>Convolvulus arvensis</i> L.
Glifosato	540 – 720	<i>Sorghum halepense</i> (L) Pers.
Glifosato	360 – 540	Complejo de anuales
Paraquat	300 – 600	Complejo de anuales

⁽¹⁾ *Dosis más bajas pueden ser utilizadas con una eficiencia menor, dependiendo de la misma.*

⁽²⁾ *Aplicar 30 días antes de la siembra del siguiente cultivo. Este herbicida, debido a su volatilidad está restringido por la Dirección General de Sanidad Vegetal por lo que requiere de supervisión técnica para su aplicación.*

En cuanto al control químico, la aplicación total de herbicidas, a pesar de su alta eficiencia en el control, varios factores como los elevados costos de adquisición y riesgos de residuos de algunos herbicidas que quedan en el suelo al final de cada ciclo, evitan que éste método sea totalmente recomendado. Por ésta razón, se recomienda la integración de diferentes métodos para lograr un mejor control de maleza. A este respecto, las medidas preventivas deben practicarse siempre, de lo contrario el resto de los métodos de control tendrá poco éxito.

Como los diferentes métodos de control han mostrado ser eficientes y considerando que con la integración de los métodos culturales y químicos se obtienen controles similares con menores costos de producción; se recomienda que los herbicidas se apliquen en una banda de 30 centímetros sobre la hilera del cultivo y la maleza del área restante se elimine en forma mecánica, reduciendo los costos en aproximadamente un 60 por ciento por concepto de herbicidas en las etapas iniciales del cultivo, además de que se minimizan los riesgos de residualidad de estos productos, entre otros.

CONTROL BIOLÓGICO

El control biológico puede definirse como el uso de organismos vivos para el control de plagas, enfermedades, maleza, etc.. Los enemigos naturales utilizados para el control biológico de maleza son aquellos que atacan las malas hierbas, ya sea ingiriendo la masa vegetal por el agente de control (usualmente insectos, pero también puede incluir ácaros, nemátodos, etc.), o por enfermedades de las plantas,

particularmente hongos (Evans 1987). La mayor parte de las investigaciones en el pasado se ha dirigido a maleza dicotiledóneas (Julien 1992), pero en años recientes la atención se ha enfocado a las especies monocotiledóneas, particularmente para la evaluación de los agentes fungosos de control potenciales (Evans 1991).

Durante la década de 1970 algunos investigadores americanos viajaron al sur de Europa para recoger posibles agentes para el control biológico de maleza; encontrando 155 organismos de los cuales, 10 aparentaban ser los más valiosos y el más prometedor de estos para zonas de baja humedad como el semiárido del suroeste de Estados Unidos fue el ácaro agallador, *Aceria malherbae* Nuzzaci (Acari: Eriophyidae) (Rosenthal, 1983). El eriófido, *Aceria malherbae* Nuzzaci representa un candidato con altas posibilidades para ser utilizado como agente de control biológico de la correhuela perenne en México.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Sanidad Vegetal y Animal) y el Servicio de Inspección Animal y Vegetal (APHIS) determinaron a través de cuarentena y las pruebas respectivas, que el ácaro puede sobrevivir solamente en correhuela y la enredadera malvarrosa *Calystegia althaeoides*. Por lo anterior, fue importado en 1989 y ahora está bien establecido en Bushland, Texas (Boldt y Sobhian, 1993). Desde el año 2000, el ácaro ha sido exitosamente establecida en diversas áreas a través de Nuevo México (Lauriault et al., 2004); donde las poblaciones de ácaros una vez establecidas, han sido persistentes.

En lo que respecta a los síntomas ocasionados por la alimentación del ácaro, se puede inhibir la formación de la hoja, la elongación del tallo, y la floración de la correhuela; las hojas infestadas se enrollan y se fusionan a lo largo de la mitad de la nervadura central, donde se alimentan (Boldt y Sobhian, 1993). La Figura 20 muestra los daños típicos ocasionados por la alimentación del ácaro en la correhuela. Las hojas afectadas se engrosan y desarrollan una superficie rugosa, que tiene un color amarillento de aspecto granulado o harinoso. Las guías de correhuela iniciales, que han sido dañadas, no conseguirán alargarse y formarán una masa de hojas con agallas, que actúan como un almacén de nutrientes.

Si las infestaciones de ácaros sobre la correhuela, son lo suficiente importantes, la transferencia de hidratos de carbono hacia el sistema radicular y la formación de yemas florales puede inhibirse (Rosenthal, 1983). Guías de correhuela que han sido infestadas durante períodos inactivos, no desarrollan en absoluto o bien no producen raíces o guías severamente atrofiadas. El ácaro produce agallas en las plantas que infesta, ocasionando en daños severos, retraso en el crecimiento de los brotes de correhuela y deformación de los mismos; atacan a lo largo de la nervadura central de la hoja, produciendo una textura difusa y agallas como resultado de daños avanzados, en hojas, pecíolos y tallos. Siendo los adultos y las ninfas, los que ocasionan el mayor daño. A nivel de laboratorio, el impacto de las infestaciones del ácaro en correhuela, provoca tal retraso en el crecimiento, que la planta no alcanza a producir flores y por lo tanto semillas.



Figura 20. Daño típico causado por el ácaro *Aceria malherbae nuzzaci* a correhuela *Convolvulus arvensis* L. Plantas dañadas moderadamente (b), en gran medida han distorsionado los tallos a nivel central. Daños severos (c) indicados por una masa de hojas retorcidas, con sólo alrededor de una pulgada de diámetro.

INTRODUCCIÓN DEL DEL ÁCARO AGALLADOR *Aceria malherbae* Nuzzaci, SOBRE EL CONTROL BIOLÓGICO DE CORREHUELA *Convolvulus arvensis* L. EN MAÍZ Y TRIGO EN EL NOROESTE DE MÉXICO.

La evaluación del ácaro agallador *Aceria malherbae* Nuzzaci, sobre el control biológico de correhuela *Convolvulus arvensis* L. en trigo en el valle de Mexicali, Baja California, México, muestra que los resultados sobre la población de correhuela en trigo se muestran en la Figura 21, donde la comparación entre el número de guías por metro cuadrado entre las áreas inoculadas con ácaros (infestadas) y el testigo sin inocular, registraron una diferencia entre el número de guías desarrolladas en plantas inoculadas (2 a 8) y no inoculadas, presentando una mayor cantidad de guías en el testigo (2 a 16); registrándose en promedio una reducción de 29.57 por ciento de la población con el control biológico respecto al testigo.

Asimismo, los resultados obtenidos sobre el efecto del control biológico sobre el desarrollo de correhuela, muestran que en los muestreos realizados se aprecian diferencias en la longitud de las guías de correhuela. La comparación entre plantas inoculadas y sin inocular dio como resultado una evidente diferencia en la longitud de guías, presentando una longitud mayor en el testigo (40 a 84 cm), en comparación con las plantas infestadas con el ácaro agallador (20 a 46 cm); registrándose en promedio, una reducción en la longitud de las guías infestadas de un 30.6 por ciento con respecto a las guías sin inocular (testigo), como se aprecia en la Figura 22.

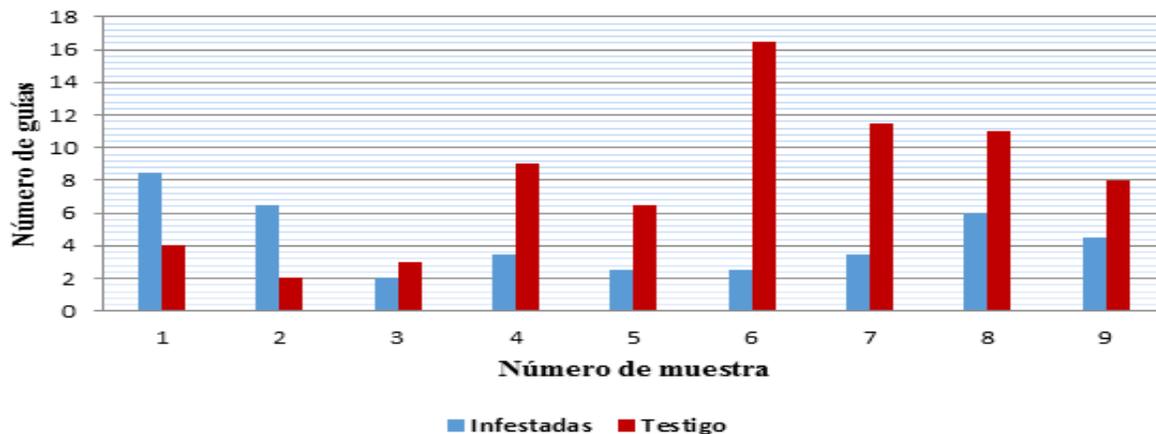


Figura 21. Efecto sobre la población de guías de correhuela *Convolvulus arvensis* L. Del ácaro agallador *Aceria malherbae* NUZZACI en trigo en el Valle de Mexicali, Baja California, México. 2015.

En lo que respecta al monitoreo del ácaro en relación a las condiciones climáticas del Valle de Mexicali, Baja California, se observó un incremento en su población durante los meses de agosto y septiembre, a pesar del incremento de la temperatura. Asimismo, se registró una disminución de sus poblaciones los meses de diciembre y enero cuando la temperatura desciende en la región. Respecto a la humedad relativa no se detectó que afecte o beneficie el desarrollo del ácaro. Además, se observó que durante el invierno las poblaciones de ácaros se localizaron en las hojas basales de la planta, provocando la formación de agallas o deformaciones; donde finalmente, se pudo apreciar que estas poblaciones de ácaros sobreviven al rastreo durante la preparación del terreno.

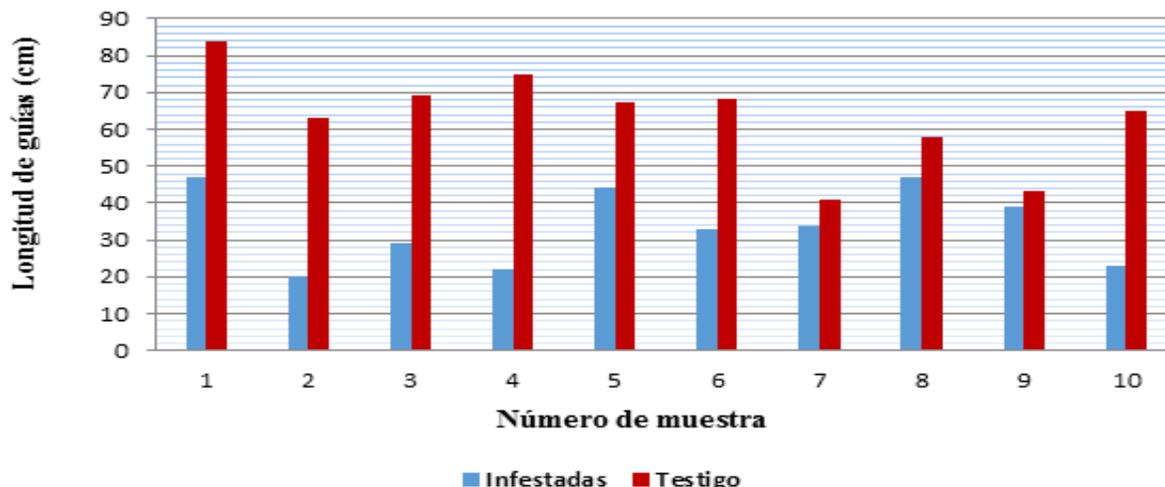


Figura 22. Efecto del ácaro agallador *Aceria malherbae nuzzaci* sobre el desarrollo de las guías de correhuela *Convolvulus arvensis* L. en trigo en el Valle de Mexicali, Baja California, México. 2015.

ASOCIACIÓN DEL CONTROL CULTURAL, QUÍMICO Y BIOLÓGICO

A pesar de los avances significativos que se han realizado en desarrollo de tecnología para el control de maleza, tanto con el método cultural como con el químico, existe el antecedente de que ninguno de los dos métodos ha sido totalmente eficiente y aplicable en todos los casos de infestación (Agundis, 1984).

En cuanto al control cultural, se ha observado con mucha frecuencia que las escardas mecánicas no son suficientes para controlar toda la población de maleza, específicamente las que se desarrollan a los lados y entre las plantas del cultivo; siendo la que causa los daños más graves al mismo, la de mayor dificultad de control y la que representa los mayores costos. Asimismo, las escardas manuales y deshierbes, no son recomendables en infestaciones medias a fuertes; ya que su eficiencia en estas condiciones, se ve limitada al requerirse una gran cantidad de mano de obra, incrementándose los costos y reduciéndose la eficiencia de control.

En cuanto al control químico, la aplicación total de herbicidas, a pesar de su alta eficiencia en el control, algunos factores como los elevados costos de adquisición y riesgos de residuos de algunos herbicidas que quedan en el suelo al final de cada ciclo, evitan que éste método sea totalmente recomendado. Por ésta razón, se recomienda la integración de diferentes métodos para lograr un mejor control de maleza. A este respecto, las medidas preventivas deben practicarse siempre, de lo contrario el resto de los métodos de control tendrá poco éxito.

En cuanto al control biológico, la utilización de organismos benéficos ha demostrado la eficiencia en el control de varias especies de malas hierbas acuáticas y recientemente con el uso de ácaros, se ha integrado este método de control para el

caso particular de correhuela; donde los resultados han demostrado que se puede integrar con el control cultural y químico, dependiendo de los sistemas de producción de interés.

Como los diferentes métodos de control han mostrado ser eficientes y considerando que con la integración de los métodos culturales, químicos y biológicos se obtienen controles similares con menores costos de producción; se recomienda que se introduzcan ácaros para el control de correhuela durante el período de descanso de los terrenos, o en etapas en las que no se utilicen agroquímicos que pudieran afectar sus poblaciones. Una vez establecidas las poblaciones, los herbicidas pueden aplicarse en banda sobre la hilera del cultivo y la maleza del área restante, eliminarla en forma mecánica; reduciendo los costos en aproximadamente un 60 por ciento por concepto de herbicidas en las etapas iniciales del cultivo, además de que se minimizan los riesgos de residualidad de estos productos.

La innovación del control biológico con el ácaro agallador *Aceria malherbae* Nuzzaci en el manejo integrado de correhuela *Convolvulus arvensis* L. en maíz en el valle del Yaqui, Sonora, México, muestran que los resultados de la integración del control cultural, químico y biológico sobre el control de los niveles de infestación de correhuela sobre una parcela de validación sembrada con maíz dentro del área experimental del CENEB-CIRNO-INIFAP, registrándose inicialmente con un 70 por ciento de cobertura de correhuela; la cual, como resultado de la integración de su manejo integrado, se redujo a 36 por ciento de cobertura en el primer año (Junio de 2017- Julio de 2018), indicando un 48.6 por ciento de control de la especie.

Para el segundo año de manejo (2018-19), con las mismas prácticas implementadas (control cultural, químico y biológico), los resultados registraron una cobertura de correhuela de 15 por ciento; es decir, 78 por ciento de control de la infestación en el segundo año de manejo, en base a la población registrada al inicio del estudio (2017).

Los resultados de la evaluación realizada en postcosecha de maíz (mayo de 2020), sobre la parcela de en cuestión, se registró sólo cinco por ciento de cobertura de correhuela; lo que representa 92.9 por ciento de control de la infestación de esta mala hierba perenne de difícil control, resultados suficientes para la liberación de la parcela de estudio (Figura 23).

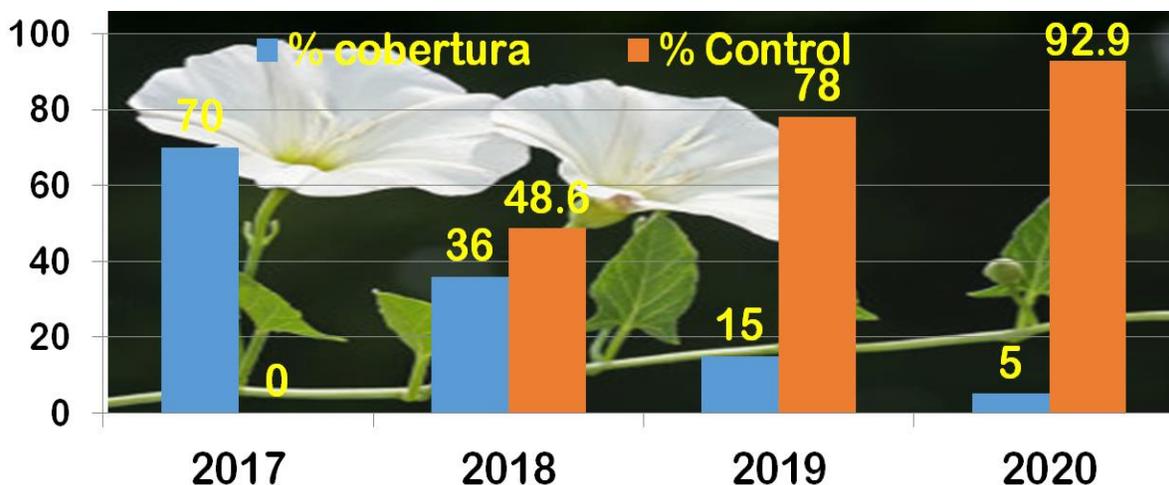


Figura 23. Abatimiento de la cobertura de correhuela *Convolvulus arvensis* L. integrando el control cultural, químico y biológico con *Aceria malherbae* nuzzaci en tres ciclos de maíz en Valle del Yaqui, Sonora, México.

Durante el proceso de estudio de la evolución del daño en las guías aéreas, ocasionadas por el control biológico de correhuela, se determinó una escala de daño, en función de la formación de agallas en el follaje de la especie (Figura 24); considerándose que a partir del nivel de daño fuerte, causado por el control biológico a las poblaciones de la especie, el grado de deformación de los tallos y hojas, impiden su desarrollo y no permiten la producción de flores y por lo tanto de las semillas con dormancia superior a los 20 años.

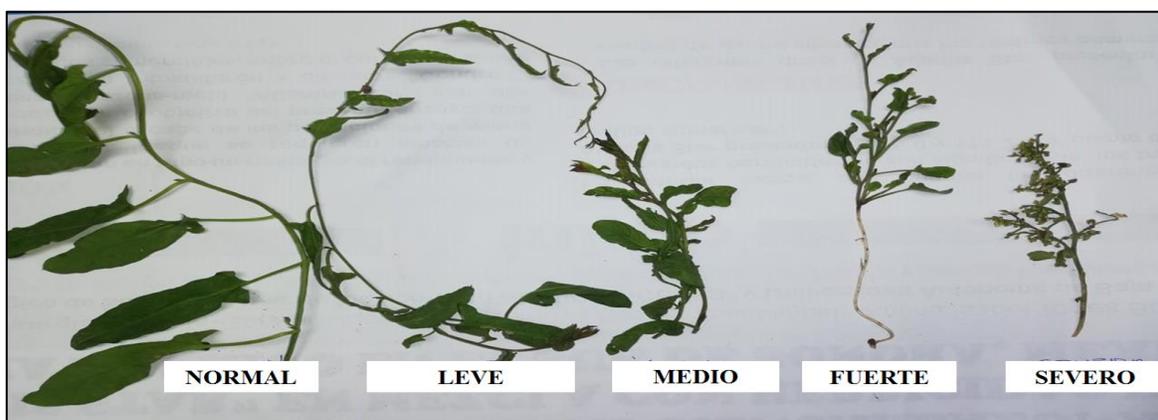


Figura 24. Niveles de daño ocasionados por la formación de agallas del ácaro agallador *Aceria malherbae* nuzzaci en guías de correhuela *Convolvulus arvensis* L. bajo las condiciones del sur de Sonora, México.

Considerando la necesidad de alternativas para la agricultura orgánica, los resultados de una evaluación preliminar muestran en el Cuadro 16, el control de correhuela con el herbicida orgánico Sec Natural; donde se aprecia un control muy pobre con las diferentes dosis del herbicida, así como con el testigo regional a base de glifosato. Donde puede apreciarse que tanto 15 como 30 dda, los resultados del control se mantuvieron entre 27.5 y 37.5 por ciento de control; con las diferentes dosis del Sec Natural con o sin adherente y con el testigo regional (27.5%). En la evaluación realizada 45 dda, aunque los controles se mantuvieron muy pobres (30 a 40%), se registraron diferencias significativas con respecto al testigo regional (30%) en relación a las diferentes dosis de Sec Natural cuando se usó el adherente Azteca (40%).

Cuadro 16. Porcentaje de control de correhuela como resultado de la aplicación del herbicida agroecológico Sec Natural aplicado bajo condiciones de estrés en la postcosecha de maíz. 2020.

Tratamiento	Dosis cc/litro	% de control		
		15	30	45dda
1. Testigo sin aplicación	--	0.0 b	0.0 b	0.0 d
2. Testigo regional*	16 + 5	27.5 a	27.5 a	30.0 c
3. Sec Natural**	10	35.0 a	35.0 a	36.3 b
4. Sec Natural	20	35.0 a	35.0 a	36.3 b
5. Sec Natural	30	27.5 a	27.5 a	30.0 c
6. Sec Natural + Azteca***	10 + 1	35.0 a	35.0 a	40.0 a
7. Sec Natural + Azteca	20 + 1	35.0 a	35.0 a	40.0 a
8. Sec Natural + Azteca	30 + 1	37.5 a	37.5 a	40.0 a
Tukey's 0.05		2.224	2.224	0.625

*Glifosato + ácidos carboxílicos (Carfulmin); **Aceite de Conífera (40%) + extracto de *Datura stramonium* (10%) + extracto de plantas alelopáticas (42%) + metabolitos de *Puccinia* ssp. (2%) y aceite de coco no hidrogenado (6%); ***Colagenato potásico (adherente).

Lo anterior, debido tal vez a que la aplicación fue realizada en condiciones de estrés de la especie de interés; tanto por falta de humedad en el suelo, como por altas temperaturas, condiciones en las que no se recomienda la aplicación de herbicidas de ningún tipo, como lo demuestran los resultados del testigo regional. Por lo que se continuará con su evaluación en cuanto las condiciones propicias se presenten (Otoño-Invierno 2020-21).

CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO INTEGRADO

El manejo integrado de malas hierbas consiste en el aprovechamiento de la época oportuna para la realización de todas las medidas posibles de control, en armonía con el desarrollo fenológico del cultivo y el medio ambiente; lo cual, asegura una mayor eficiencia del sistema y una óptima selectividad de los productos a utilizar, al menor costo posible, tanto desde el punto de vista económico como ecológico.

Para el manejo integrado de maleza, debe considerarse el sistema agrícola en general y no sólo pequeñas o grandes parcelas; debe tomar en cuenta los efectos e interacciones con otros cultivos y organismos presentes en el sistema de producción, ya que las malas hierbas se diseminan exitosamente en las áreas agrícolas en general, por lo que su combate debe organizarse a nivel regional, aunque las acciones específicas de control se implementen a nivel parcelario.

En la medida que un agricultor influye sobre un elemento en el sistema, todo el sistema se modifica, lo que demuestra que es un sistema dinámico, y por lo tanto, las acciones que se realizan a nivel parcelario, modifican en un tiempo determinado el comportamiento del sistema. Asimismo, existen a la vez elementos externos, como el clima, que puede acelerar o retrasar el desarrollo de los cultivos o de las poblaciones de maleza, ya que éste influye en su crecimiento y desarrollo.

Por lo tanto, se requiere un análisis en conjunto de las causas que originan que una especie represente un problema, el por qué se presentan en ciertas etapas del cultivo, de donde se originan, como se desarrollan, y como afectan al cultivo; para estar en condiciones de utilizar los métodos de control, incluyentes entre sí, para el éxito del manejo integrado de maleza.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A. 2009, Atlas de la plantas de la medicina tradicional mexicana. Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/intro_atlas.html.
- Agundis M., O. 1984. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el combate de la maleza. Publicación Especial Núm. 115. SARH-INIA, México.
- Alvarado M., J. J. 1993. Combate de maleza en maíz de riego para el centro de Sinaloa. Folleto para Productores N° 40, Sept. de 1993, p. 12. CEVACU-CIRNO-INIFAP, México.
- Alvarado M., J. J. 1998. Combate de maleza en maíz y sorgo de temporal en el centro de Sinaloa. Folleto para Productores N° 46, p. 24; ISSN 1405-3896. CEVACU-CIRNO-INIFAP, México.

- Alvarado M., J.J. 2000. Levantamiento ecológico de maleza en el cultivo del maíz y sorgo de temporal en el centro de Sinaloa, Memoria XXI Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. Noviembre 2000, Morelia, Michoacán, México.
- Anderson, W.P. 1996. Weed Science: Principles and Practices. 3rd. Ed. West Publishing Company. Minneapolis, MN. USA.
- Anónimo. Diccionario de Especialidades Agroquímicas PLM. 2007. 17ª Edición. Thompson PLM, S.A. de C.V. Versión en CD.
- Ashton, F.M. and T.J. Monaco. 1991. Weed Science. 3rd. Ed. John Wiley and Sons. New York.
- Black, C. C.; Chen, T. M. y H. Brown. 1969. Biochemical basis for plant competition. Weed Sci. 17:338-343. U.S.A.
- Bridges, D. C. 1995. Weed interference and weed ecology. Pp: 417-422. In: Herbicide Action Course. Purdue University. West Lafayette Indiana. U.S.A.
- Boldt P. E. y R. Sobhian, 1993. Release and establishment of *Aceria malherbae* (Acert: Eriophyidae) for control of fiel bindweed in Texas, Environ. Entomol. 22:234-237. USA.
- Buhler, D.D. 1995. Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean in the central U.S.A. Crop Sci. 35:1247-1258.
- 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.
- Chandler, J.M., A.S. Hamill, and A.G. Thomas. 1984. Crop losses due to weeds in Canada and the United States. Special report of the losses due to weeds committee. Weed Sci. Am. Champaign, IL. 22 pp.
- 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.
- Castro, M. E. 1985. Combate de maleza de hoja ancha que dificulta la cosecha de maíz y sorgo. Folleto para Productores Núm. 2. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. México.
- Cota A., O.; Ortega C., A.; Valenzuela V., J.M.; Soqui G., A.A.; Félix V., P.; Guerrero H., M. de J.; Uvalle B., J.X.; Moreno R., O. H.; Pacheco C. J.J.; Martínez C., J.L.; Tamayo E., L.M.; Salazar H., F.J.; y E. Gándara R. 1989. Guía para producir maíz en el sur de Sonora. Folleto Técnico N° 7, 2da. Edición Corregida, Julio 1989. CEVY-CIFAP-SON-INIFAP, México.

- 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. *In*: J. L. Hatfield, D. D. Buhler, and B. A. Stewart (eds.). *Integrated Weed and Soil Management*. Chelsea, MI: Ann Arbor Press Inc. pp. 333-362.
- Ellis, J.M., D.R. Shaw, and W.L. Barrentine. 1998. Soybean seed quality and harvesting efficiency as affected by low weed densities. *Weed Technol.* 12:166-173.
- Elmore, R.W., R.S. Moomaw, and R. Selley. 1990. Narrow-row soybeans. Bulletin G90-963. Cooperative Extension Institute of Agriculture and Natural Resources. University of Nebraska-Lincoln. 7 pp.
- Esqueda-Esquivel, V., A. Durán-Prado, E. López-Salinas y Cano-Reyes, O. 1997. Efecto de la competencia y época de limpia de la maleza en soya de temporal en el centro de Veracruz. *Agric. Técnica en México* 23(1): 27-40.
- Evans H.C. 1987. Fungal pathogens of some subtropical and tropical weeds and the possibilities for biological control. *Biocontrol News and Information* 8: 7-30.
- Evans H.C. 1991. Biological control of tropical grassy weeds. *In*: F.W. Baker and P.J. Terry (Eds.) *Tropical Grassy Weeds*. Wallingford, UK, CAB International, pp 52-72.
- Félix C., O. O. 2000. Evaluación de la efectividad biológica del herbicida prosulfurón (Peak) sobre el control de maleza anual de hoja ancha en el cultivo del maíz *Zea mays* L. en el Valle del Yaqui, Sonora, México. Tesis de Licenciatura del Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México.
- Forcella, F.; K. Eradat-Oskoui, y S. W. Wagner 1993. Application of weed seedbank ecology to low-input crop management. *Ecol. Appl.* 3:74-83. U.S.A.
- Ghosheh, H. Z.; Holshouser, D. L. & J. M. Chandler 1996. The critical period of Johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) control in field corn (*Zea mays* L.). *Weed Sci.* 44:944-947. U.S.A.
- Graham, P. L.; J. L. Steiner y A.F. Wiese 1988. Light absorption and competition in mixed sorghum-pigweed communities. *Agron. J.* 80:415-418. U.S.A.
- Hernández O., J. 1987. Determinación del potencial alelopático del quelite *Amaranthus palmeri* Wats. y zacate Johnson *Sorghum halepense* (L.) Pers. sobre la germinación y desarrollo inicial de maíz y ajonjolí. Tesis. Instituto Tecnológico Agropecuario N° 21, Cd. Obregón, Sonora, México.
- Klingman, G. C. y F. M. Ashton. 1975. *Weed Science: Principles and practices*. John Wiley and Son. New York, U.S.A.

- Lauriault L.M., Thompson, D.C., Pierce J. B., Michels, G. J. y W. Hamilton V. 2004. Managing *Aceria malherbae* Nuzzaci gall mites for control of field bindweed. Circular 600, Cooperatives Extension Service. College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University. USA.
- León M, J. R., Tamayo Esquer L. M., Tamayo Peñuñuri L. M., Campos G., J. F. y A. E. Araujo Z. 2018. Evaluación del herbicida pyroxsulam en mezclas con latifolicidas para trigo en el sur de Sonora, México. XIX Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. UABC. México.
- Martínez Carrillo, J. L. 1992. Efectos ambientales en la agricultura: el uso de plaguicidas y estrategias de manejo de insecticidas. En: Ecología, recursos naturales y medio ambiente en Sonora, Colegio de Sonora, pp 189-196. México.
- Munguía C., L. A., Tamayo E., L. M. y A. Vega V. 2014. Evaluación del ácaro agallador *Aceria malherbae* Nuzzaci, sobre el control biológico de coorrehuela perenne *Convolvulus arvensis* L. en el sur de Sonora, México. Memoria del XVII Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. UABC, México.
- Quezada G., E. y O. Agundis M. 1984. Maleza del estado de Sonora y cultivos que infesta. Folleto Técnico Núm. 82, p. 43. INIA-SARH. México.
- Radosevich, S.; J. Holt, y C. Ghera 1997. Weed ecology implications and management. Second Ed. John Wiley and Sons. New York. U.S.A.
- 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.
- Rosales, R.E., T. Medina C., E. Contreras C., L.M. Tamayo E. y V. Esqueda E. 2002. Manejo de maleza en maíz, sorgo y trigo bajo labranza de conservación. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Folleto Técnico 24. Tamaulipas, México. 81 pp.
- Rosales-Robles, E. J. Salinas-García, R. Sánchez-de-la-Cruz, L. A. Rodríguez-del-Bosque, and V. Esqueda-Esquivel. 2002. Interference and control of wild sunflower (*Helianthus annuus* L.) in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in northeastern Mexico. *Cereal Research Communications* 30:439-446.
- Rosales, E., R. Sánchez y J. Salinas. 2005. Período crítico de competencia del polocote *Helianthus annuus* L. en sorgo para grano. *Agrociencia* 39:205-210.
- Rosales Robles, E. R. Sánchez-de-la-Cruz, J. Salinas-García, V. Pecina-Quintero, J. Loera-Gallardo y V. Esqueda-Esquivel. 2006. Periodo crítico de competencia de la correhuela perenne *Convolvulus arvensis* L. en sorgo para grano. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:47-53.

- Rosales R., E.; Medina C., T.; Contreras de la C., E.; Tamayo Esquer, L. M. y V. Esqueda E. 2002. Manejo de maleza en maíz, sorgo y trigo bajo labranza de conservación. Folleto Técnico N° 24. INIFAP. México.
- Rosenthal, S. S. y B. E. Platts 1983. Host specificity of *Aceria*(Eriophyes) *Malherbe* [*Acari: Eriophyidae*], a biological control agent for the weed, *Convolvulus arvensis* [Convolvulaceae]. *Entomophaga* 35 (3), 1990: 459-463. USA.
- Shipley, J.L. y A.F. Wiese 1969. Economics of weed control in sorghum and wheat. *Texas Agric. Exp. Stn. Mp-909*. U.S.A.
- Stoller, E. W., S .K. Harrison, L. M. Wax, E. E. Reigner, and E. D. Nafziger. 1987. Weed interference in soybeans. *Reviews of Weed Science* 3: 155-181.
- Swan D. G. 1980. Field bindweed *Convolvulus arvensis* L. College of Agriculture Research Center. Washington State Univ. Bulletin 0888. U.S.A.
- Tamayo Esquer, L. M. 1986. Étude de la dynamique de population de ***Convolvulus arvensis*** L. Action eTt comportement du 2,4-D et du glyphosate dans la plante. Tesis de Docteur-Ingenieur. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. Francia.
- Tamayo Esquer, L. M. y E. Perez P. 1990. Efectos alelopáticos de algunas especies de maleza y cultivos. Memoria del curso de actualización sobre manejo de maleza. SOMECIMA, Irapuato, Guanajuato, México.
- Tamayo Esquer, L. M. 1998. Evaluación de la efectividad biológica de la mezcla formulada de los herbicidas paraquat + diurón (Misil) para el control de maleza en el cultivo del maíz. pp: 67-72, XIX Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. Mexicali, B. C., México.
- Tamayo Esquer, L. M. 2000a. Manejo integrado de maleza perenne en los cultivos de Sonora. Folleto técnico N° 38, INIFAP-CIRNO-CEVY. México.
- Tamayo Esquer, L. M. 2000b. Manejo integrado de maleza en los sistemas de producción del Valle del Yaqui. Día del Agricultor 2000. Publicación Especial N° 7, CEVY-CIRNO-INIFAP. México.
- Tamayo Esquer, L. M. 2001a. Manejo integrado de maleza en trigo para el noroeste de México. Folleto Técnico N°, 42, CEVY-CIRNO-INIFAP, México.
- Tamayo Esquer, L. M. 2001b. Manejo integrado de maleza en algodónero para el noroeste de México. Folleto Técnico N°, 44, CEVY-CIRNO-INIFAP, México.
- Tamayo Esquer, L. M. y L. Brambila P. 2000. Levantamiento ecológico de maleza en el cultivo del maíz. Valle del Yaqui, Sonora, México. Ciclo agrícola otoño-invierno 1997-98. Memoria XXI Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza. Noviembre 2000, Morelia, Michoacán, México.

- Tamayo Esquer, L. M. 2014, La correhuela: Factores que la originan y tecnología para su manejo. Simposio sobre el manejo Fitosanitario de la Correhuela en el Valle del Yaqui. 23 Septiembre 2014. www.jlsvyaqui.org.mx. México.
- Tamayo Esquer L. M., León M., J. R., Tamayo Peñuñuri L. M. y D. D. Tamayo Peñuñuri 2019. Integración del control biológico, cultural y químico en el manejo de correhuela perenne *Convolvulus arvensis* L. en maíz en el noroeste de México. XXII Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. UABC. México.
- Trenbath, B.R. 1976. Plant interactions in mixed crop communities. pp: 129-169. *In*: R.I. Pappendick, ed. Multiple cropping, Am. Soc. Agron. Special Public. No. 27. Madison, WI.
- Vencill, W. K. 2002. Herbicide Handbook. Weed Science Society of America. 8th. Ed. Lawrence KS. USA: 493 p.
- Villaseñor, R.J.L. y F.J. Espinoza G. 1998. Catálogo de malezas en México. Univ. Nal. Aut. De México. Consejo Nal. Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Zimdahl, R.L. 1993. Weed biology: Reproduction and dispersal. pp: 59-89. *In*: R.L. Zimdahl, Fundamentals of Weed Science. Academic Press, N.Y. U:S.A

MANEJO DE MALEZAS EN ARROZ, CAÑA DE AZÚCAR Y POTREROS

**Valentín A. Esqueda Esquivel¹, Javier Francisco Enríquez Quiroz²
y Enrique Rosales Robles³**

¹Campo Experimental Cotaxtla. CIR-Golfo Centro. INIFAP.
esqueda.valentin@inifap.gob.mx

²Campo Experimental La Posta. CIR-Golfo Centro. INIFAP.
enriquez.javier@inifap.gob.mx

³Asesor privado en manejo de malezas. enrique_77840@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

El control químico selectivo de las malezas se realiza mediante la aplicación de herbicidas preemergentes o postemergentes, que actúan sobre las malezas, sin causar daños significativos a los cultivos. Por lo general, los herbicidas preemergentes se aplican al suelo, después de la siembra del cultivo, pero antes de la emergencia de éste y de las malezas, y mantienen su efecto por varias semanas, por lo cual el cultivo se mantiene limpio durante las etapas tempranas de desarrollo. A su vez, los herbicidas postemergentes se aplican cuando el cultivo y las malezas ya han emergido. En ocasiones se recomienda aplicar una mezcla de un herbicida preemergente con uno postemergente en postemergencia temprana; esto es entre 10 y 15 días después de la emergencia. De esta manera, el herbicida postemergente elimina las malezas emergidas con facilidad por ser de tamaño pequeño, mientras que una gran proporción del herbicida preemergente todavía puede llegar al suelo descubierto, y proporcionar control residual (Esqueda, 1999a). En este escrito se presenta información sobre los principales herbicidas que se utilizan para el control químico de malezas en los cultivos de arroz y caña de azúcar, así como en potreros y pastizales.

ARROZ

Herbicidas de aplicación preemergente

En arroz de temporal los herbicidas preemergentes se aplican después de que el terreno ha sido sembrado, pero antes de la emergencia del cultivo y las malezas, mientras que, en arroz de trasplante, se debe suspender el riego después de trasplantar para facilitar su aplicación. Los herbicidas preemergentes se deben utilizar sobre terreno húmedo, aunque sin llegar a encharcamientos, por lo que, si el arroz se siembra en seco, la aplicación se debe aplazar hasta después de que el terreno se haya humedecido a causa de las lluvias o el riego. Si la humedad inicial es escasa, aunque suficiente para la emergencia del arroz o las malezas, es preferible utilizar herbicidas postemergentes, o mezclar un preemergente con un postemergente y aplicarlos en postemergencia temprana. Este tipo de herbicidas son residuales en mayor o menor grado. Los herbicidas preemergentes utilizados en México son: pendimetalina, oxadiazón y clomazone (Esqueda y Osuna, 2016).

Pendimetalina. Es un herbicida del grupo de las dinitroanilinas que se aplica en preemergencia o postemergencia muy temprana (maleza con un desarrollo de entre una y dos hojas) y ejerce un control residual por al menos durante 30 días. Se requiere que exista buena humedad en el terreno, ya que sobre terreno seco o con baja humedad pueden causar toxicidad al arroz, llegando a reducir la cantidad de plantas emergidas (Street y Lanham, 1996). Por esta razón se recomienda utilizar este herbicida al menos tres días después de la primera lluvia o el riego de germinación. El contacto del herbicida con la semilla de arroz ocasiona toxicidad al cultivo, por lo que, ésta se debe sembrar de 4 a 6 cm de profundidad (Koger *et al.*, 2006; Bond *et al.*, 2009). Controla gramíneas anuales y algunas especies de hoja ancha, pero no tiene efecto sobre ciperáceas anuales como *Cyperus iria* o perennes como *C. rotundus* (Ahmed y Chauhan, 2015) o malezas emergidas. Se recomienda a una dosis de 1,600 gramos de ingrediente activo por hectárea (Esqueda *et al.*, 2010). Es un herbicida de baja volatilidad, movilidad y solubilidad en agua (Sondhia y Dubey, 2006); su persistencia en el suelo está influenciada por las condiciones de humedad y textura del terreno, la temperatura del suelo y la realización de cultivos mecánicos. En condiciones de sequía el control disminuye, pues las malezas no absorben suficiente herbicida durante su germinación. En postemergencia temprana se recomienda la mezcla con propanil, bispiribac-sodio, cihalofop-butilo o profoxidim (Esqueda y Tosquy, 2009; Esqueda *et al.*, 2010).

Oxadiazón. Es un herbicida con acción sistémica y de contacto del grupo químico de los oxadiazoles, con actividad residual mayor de 30 días, que controla principalmente maleza conformada por gramíneas anuales y algunas especies de hoja ancha y ciperáceas. Al momento de sembrar se debe cubrir muy bien la semilla, ya que es muy tóxico si entra en contacto directo con ella (Esqueda, 1991b). Para asegurar un control eficiente de las malezas, el terreno debe prepararse bien, sin terrones grandes ni restos de plantas y con suficiente humedad, aunque sin encharcamientos, ya que en terrenos con saturación de humedad se han observado mayores daños al arroz, que en terrenos no saturados (Chauhan y Johnson, 2011). Se recomienda en dosis de 750 a 1,000 g de ingrediente activo por hectárea, utilizando las dosis mayores en terrenos arcillosos o con alta cantidad de materia orgánica (Osuna *et al.*, 2000). No se recomienda su aplicación en postemergencia temprana en mezcla con herbicidas postemergentes, o en terrenos arenosos o con bajo contenido de materia orgánica, ya que puede causar toxicidad al arroz (Chauhan y Johnson, 2011).

Clomazone. Es un herbicida del grupo químico de las isoxazolidinonas que controla una gran variedad de malezas gramíneas y algunas malezas de hoja ancha, pero las ciperáceas escapan a su control (Talbert y Burgos, 2007). Es absorbido por las raíces y los brotes tiernos, pero no por el follaje, por lo que, si se aplica en malezas emergidas, éstas no mueren. Generalmente, las plántulas de especies susceptibles emergen, pero en pocos días presentan un follaje blanco (que también puede ser amarillo, verde pálido o morado pálido), que en poco tiempo se seca (Scherder *et al.*, 2004). Debido a su alta solubilidad, no es necesario que el terreno tenga muy buena humedad al momento de su aplicación. Se recomienda en dosis de 480 a

720 g de ingrediente activo por hectárea, utilizando las dosis mayores en terrenos arcillosos o con alta cantidad de materia orgánica (Esqueda, 2000; Zhang *et al.*, 2005a). Aun en dosis bajas, puede ocasionar el blanqueamiento de las hojas del arroz, el cual aumenta al incrementar la dosis (Cavero *et al.*, 2011). Normalmente este síntoma desaparece entre 15 y 30 días después de la aplicación. Puede aplicarse en postemergencia temprana en mezcla con propanil, bispiribac-sodio, cihalofop-butilo o profoxidim, los cuales controlan las malezas emergidas (Esqueda, 2000; Willingham *et al.*, 2008; Esqueda y Tosquy, 2012; Esqueda y Tosquy, 2014).

Herbicidas de aplicación postemergente

Este tipo de herbicidas se aplican cuando el cultivo y las malezas están presentes en el terreno. Se absorben por el follaje y son altamente selectivos al arroz. Normalmente se recomienda su aplicación sobre malezas pequeñas en crecimiento activo y sin estrés por sequía. Los principales herbicidas postemergentes utilizados en México son: propanil, 2,4-D, bentazón, fenoxaprop-etil, cihalofop-butilo, profoxidim, bispiribac-sodio y halosulfurón metil (Esqueda y Osuna, 2016).

Propanil. Es un compuesto del grupo químico de las acetamidas, que controla principalmente malezas gramíneas anuales, aunque también tiene efecto en muchas especies de hoja ancha y ciperáceas. Su acción es por contacto, por lo que para obtener un control eficiente de maleza se requiere una cobertura completa del follaje y es muy recomendable añadir un surfactante no iónico. Tiene mayor efecto sobre malezas pequeñas en crecimiento activo que no sufran estrés por humedad en el terreno. En general, se recomienda aplicarlo en dosis de 2,160 a 2,880 g de ingrediente activo por hectárea. Para controlar malezas gramíneas de mayor tamaño en etapa de amacollamiento o floración se requiere incrementar la dosis, pero se tiene el riesgo de que el herbicida no alcance el punto de crecimiento y, por tanto, no las controle (Esqueda *et al.*, 2010). Al no tener actividad residual, por lo general, para mantener limpio al cultivo se requieren al menos dos aplicaciones durante las etapas iniciales de crecimiento del cultivo (Esqueda, 2000). La efectividad del propanil se reduce cuando se presentan lluvias antes de seis horas de la aplicación. Es muy común su aplicación en mezcla con herbicidas hormonales formulados con base en el 2,4-D, o con bentazón, ya que con esto se amplía el espectro de control de malezas de hoja ancha y ciperáceas (Esqueda, 1986; Esqueda *et al.*, 2014). También se puede mezclar con pendimetalina o clomazone, y aplicarse en postemergencia temprana, con lo cual el propanil controla la maleza emergida y los herbicidas preemergentes evitan la emergencia de nuevas plántulas. De esta manera, con una sola aplicación se puede llegar a tener un control eficiente de maleza durante todo el ciclo (Esqueda, 2000). Por lo general, el propanil no ocasiona toxicidad al arroz, aunque en ocasiones las plantas pueden mostrar un ligero amarillamiento e incluso pequeñas áreas necróticas, pero estos síntomas desaparecen rápidamente. Se recomienda asperjar el propanil alrededor de 10 días antes o después de la aplicación de insecticidas organofosforados o carbamatos (Esqueda, 1991a).

2,4-D. Es un compuesto fenóxico y sistémico que controla malezas de hoja ancha y ciperáceas (Thomson, 1993; Vencill, 2002). Se aplica al follaje y se transloca principalmente por el floema hacia las zonas meristemáticas. Las dosis de ingrediente activo que se recomiendan van de 240 a 480 gramos de ingrediente activo por hectárea. Generalmente se aplica una sola vez, mezclado con propanil en la primera aspersion de éste. Su mayor efectividad se tiene sobre malezas pequeñas que estén creciendo activamente, y se reduce fuertemente cuando se asperja en condiciones de sequía (Esqueda *et al.*, 2010). Requiere de cuatro a seis horas sin lluvia después su aplicación. No se recomienda aplicarlo en los primeros días de desarrollo del arroz, o cuando las plantas se encuentran en estado de embuche. Algunos síntomas característicos de toxicidad de 2,4-D al arroz son la aparición de hojas tubulares o “acebolladas”, la cohesión de las vainas de las hojas, la fusión de macollos al tallo principal y poco crecimiento de las raíces. La aspersion en etapas tardías puede ocasionar deformaciones en la panícula, como el alargamiento excesivo del entrenudo del raquis, dando la impresión de tener dos o tres panículas (Kaufman, 1953). Los cultivos de plantas dicotiledóneas como el frijol, chile, tomate, sandía y papaya, son altamente sensibles al 2,4-D (Gilreath *et al.*, 2001). Se formula como sales de amina, que son las más usadas, o sales de éster, siendo estas últimas más eficientes en la eliminación de maleza de difícil control. Sin embargo, las sales de éster son sumamente volátiles.

Bentazón. Es un compuesto del grupo químico de las tiadiazinas, que se utiliza para el control de maleza de hoja ancha y ciperáceas anuales y perennes. Al ser un herbicida de contacto requiere una cobertura completa del follaje de la maleza tratada, y no es necesario añadir adherentes. Se recomienda aplicar en maleza con un desarrollo de dos a ocho hojas verdaderas o de entre 5 y 15 cm de altura, que estén creciendo activamente. Su espectro de control es más reducido que el del 2,4-D, y muestra un control limitado de algunas especies de *Amaranthus* y *Euphorbia* (Esqueda *et al.*, 2010). Sin embargo, debido a su nula volatilidad, es una opción para el control de malezas de hoja ancha en arrozales que tienen en sus cercanías cultivos susceptibles al 2,4-D. Se recomienda en dosis de 480 a 960 gramos de ingrediente activo por hectárea (Esqueda *et al.*, 2014). Solamente afecta maleza emergida, por lo que puede ser necesaria una segunda aplicación para controlar la maleza que emerge tardíamente o el coquillo perenne (*C. rotundus*). Su efectividad se reduce cuando se presentan lluvias antes de seis horas de la aspersion. Tiene mayor efecto en climas cálidos húmedos y las condiciones de sequía antes, durante o después de la aplicación reducen fuertemente el control. Se puede asperjar en mezcla con propanil o fenoxaprop-etil (Esqueda, 1998) y en general, es compatible con fertilizantes foliares y fungicidas. Su mezcla con insecticidas organofosforados puede ocasionar toxicidad al cultivo. Tiene alta selectividad al arroz; sin embargo, puede causar ligera clorosis o pequeñas áreas necróticas al arroz, aunque normalmente desaparecen rápidamente y no afectan el rendimiento.

Cihalofop-butilo. Es un compuesto del grupo químico de los ariloxifenoxi propionatos, que se utiliza exclusivamente para el control de malezas gramíneas en arroz. Controla eficientemente algunas especies de los géneros *Echinochloa*, *Leptochloa* y *Digitaria*, pero no tiene efecto sobre *Sorghum halepense* proveniente

de rizomas (Esqueda y Tosquy, 2004; Esqueda, 2012; Esqueda *et al.*, 2015). Cihalofop-butilo es un herbicida no volátil con acción sistémica, que se asperja al follaje con la adición de un surfactante no iónico. Se recomienda aplicarlo en malezas gramíneas menores de 20 cm, aunque también puede tener efecto en zacates amacollados. Las dosis que se recomiendan varían de 315 a 360 g de ingrediente activo por hectárea (Esqueda y Tosquy, 2004; Esqueda y Tosquy, 2009; Esqueda y Tosquy, 2013; Esqueda, 2012). No tiene residualidad, por lo que normalmente se requiere una segunda aplicación de otro herbicida para controlar la maleza que emerge después de su aspersión (Esqueda y Tosquy, 2014). No se recomienda aplicar nuevamente este herbicida, u otro herbicida con el mismo modo de acción en el mismo ciclo de cultivo. La aspersión se debe hacer cuando en el suelo exista buena humedad e incluso el terreno puede estar encharcado o con una lámina de agua (en arroz de riego), siempre y cuando el 75% del follaje de los zacates esté expuesto. Requiere de un periodo de dos horas sin lluvia después de su aplicación. No se debe asperjar en mezcla con otros herbicidas postemergentes utilizados en arroz, como 2,4-D, bentazón, bispiribac-sodio, propanil y halosulfurón metil, ya que se reduce el control de malezas gramíneas (Ottis *et al.*, 2005; Scherder *et al.*, 2005). Por esta razón, se recomienda asperjar el cihalofop-butilo, siete días antes o siete días después de la aplicación de los herbicidas antes mencionados (Buehring *et al.*, 2006). Se puede mezclar con pendimetalina y clomazone, para asperjarse en postemergencia temprana, lo que en muchas ocasiones puede ser suficiente para controlar las malezas durante todo el ciclo (Esqueda y Tosquy, 2009; Esqueda y Tosquy, 2013). Las gramíneas susceptibles detienen su crecimiento a los pocos días de la aplicación y generalmente, las hojas más viejas presentan una coloración rojiza o púrpura, y eventualmente aparecen áreas necróticas que ocasionan la muerte entre dos y tres semanas después de la aplicación. Normalmente es muy selectivo al arroz, pero en plantas con desarrollo de entre dos y tres hojas, puede ocasionar una ligera clorosis e incluso reducción de rendimiento a dosis altas (Ntanos *et al.*, 2000).

Fenoxaprop-etil. Es un compuesto del grupo químico de los ariloxifenoxi propionatos utilizado para el control de malezas gramíneas anuales y perennes. Es un herbicida no volátil con acción sistémica, que se asperja al follaje, de donde se transloca a los tejidos meristemáticos para ejercer su acción herbicida. Las dosis que se recomiendan varían de 45 a 67.5 g de ingrediente activo por hectárea y se debe añadir un surfactante no iónico. Se recomienda aplicar fenoxaprop-etil cuando el arroz tenga más de cuatro hojas, ya que en etapas más tempranas puede dañarlo severamente e incluso causar muerte de plántulas (Vallejos y Soto, 1995; Esqueda, 1998). Controla mejor los zacates pequeños, pero también tiene efecto en zacates que han desarrollado de dos a tres macollos. No tiene residualidad, por lo que normalmente se requiere una segunda aplicación de otro herbicida para controlar las malezas que emergen después de su aspersión (Thomson, 1993). No es recomendable aplicar nuevamente este herbicida, u otro herbicida con el mismo modo de acción. Existe antagonismo cuando se mezcla con otros herbicidas postemergentes utilizados en arroz, como 2,4-D, propanil y halosulfurón metil, pero no con bentazón (Esqueda, 1998; Zhang *et al.*, 2005b). Se recomienda fertilizar con nitrógeno siete días antes o después de la aplicación de fenoxaprop-etil (Buehring

et al., 2006; Blouin *et al.*, 2010). Los síntomas que presentan las plantas afectadas son semejantes a los descritos para cihalofop-butilo.

Profoxidim. Es un compuesto del grupo químico de las ciclohexanodionas utilizado para el control de malezas gramíneas anuales y perennes (Walter, 2001). Tiene acción sistémica y no es volátil. Para evitar daños al arroz, se recomienda aplicar profoxidim cuando el arroz tenga al menos tres o cuatro hojas y la maleza esté creciendo activamente sin estrés de humedad y tengan un máximo de cinco macollos. Las dosis recomendadas varían de 50 a 150 g de ingrediente activo por hectárea (Aisenberg *et al.*, 2010; BASF, 2020a), utilizando la dosis baja en zacates pequeños y la dosis alta en zacates amacollados. Se recomienda utilizar un surfactante no iónico. Debe haber un período sin lluvia de al menos dos horas después de su aspersión. No tiene residualidad, por lo que normalmente se requiere el uso de otro herbicida para controlar las malezas que emergen posteriormente. No se debe mezclar con 2,4-D y halosulfurón metil, ya que se reduce el control de las malezas gramíneas por antagonismo, ni con propanil o bentazón, porque se puede ocasionar toxicidad al arroz (BASF, 2020a). También puede aplicarse en mezcla con pendimetalina y clomazone para ampliar el periodo de control. Los síntomas que presentan las plantas afectadas, son semejantes a los descritos para cihalofop-butilo.

Bispiribac-sodio. Es un compuesto del grupo químico de los ácidos pirimidiniloxibenzoicos que se utiliza para el control de malezas gramíneas, de hoja ancha y ciperáceas en arroz. Es especialmente activo en especies del género *Echinochloa* y controla al zacate perenne *S. halepense*. (Esqueda *et al.*, 2015), aunque tiene control poco eficiente en algunas especies del género *Leptochloa* (Chauhan y Abugho, 2012; Esqueda, 2012). Bispiribac-sodio es un herbicida no volátil con limitada acción sistémica, por lo que para un control óptimo se requiere de un buen cubrimiento de la maleza. Se asperja al follaje, y se absorbe tanto por éste como por las raíces, translocándose por el floema y xilema. Es sumamente importante agregar un surfactante no iónico, ya que de no hacerlo su efectividad se reduce fuertemente (Koger *et al.*, 2007). En México se comercializa junto con un coadyuvante, extensor, dispersante, penetrante y humectante, formulado con polidimetilsiloxano y un surfactante no iónico. Se requiere un periodo sin lluvia de seis horas para obtener la mayor efectividad en el control de malezas. Las dosis recomendadas varían de 22.5 a 30 g de ingrediente activo por hectárea. Se recomienda asperjarlo en zacates de entre tres y cinco hojas hasta la etapa de amacollamiento temprano (Esqueda y Rosales, 2004; Esqueda y Tosquy, 2009; Esqueda y Tosquy, 2013). No tiene residualidad, por lo que normalmente se requiere una segunda aplicación de éste u otro herbicida para controlar la maleza que emerge posteriormente. Es compatible con algunos de los herbicidas utilizados en arroz, como 2,4-D (Esqueda y Rosales, 2004), bentazón, pendimetalina y clomazone (Esqueda y Tosquy, 2009), pero no con propanil. Tampoco se debe mezclar con los insecticidas malatión o paratión metílico (Valent, 2020). La mezcla con pendimetalina o clomazone se aplica en postemergencia temprana y cuando se tienen condiciones de buena humedad durante el ciclo del cultivo, una sola aplicación puede llegar a ser suficiente para controlar maleza durante todo el ciclo

(Esqueda y Tosquy, 2012). En las plantas susceptibles, los síntomas iniciales de daño consisten en clorosis y posteriormente necrosis; en gramíneas, se observa una coloración rojiza o púrpura. La muerte de las plantas ocurre entre dos y tres semanas después de la aplicación del herbicida (Valent, 2020). Es altamente selectivo al arroz, después de la etapa de desarrollo de dos hojas.

Halosulfurón metil. Es un herbicida sistémico del grupo químico de las sulfonilureas, que se utiliza para el control de ciperáceas anuales y perennes y algunas especies de hoja ancha (Suárez *et al.*, 2004; Davi y Nawamaki, 2006). Halosulfurón metil es ligeramente volátil y se recomienda el empleo de surfactante no iónico para mejorar su eficiencia. La muerte de maleza por lo general ocurre entre siete y 14 días después de la aplicación, dependiendo de la especie, tamaño y condiciones de crecimiento. Se obtienen mejores resultados cuando la maleza está creciendo activamente y hay buena humedad en el terreno. Las dosis recomendadas varían de 37.5 a 75 g de ingrediente activo por hectárea. Se recomienda asperjar halosulfurón metil en maleza de entre tres y cuatro hojas verdaderas y 15 a 20 cm de altura (Suárez *et al.*, 2004). Aunque en México se sugiere la aspersión en postemergencia, también se puede aplicar al suelo y ejercer un control residual (Norsworthy *et al.*, 2008). Tiene un efecto rápido sobre la detención del crecimiento de la maleza tratada, la cual sufre una decoloración y muere; para incrementar el espectro de maleza controlada, se puede mezclar con propanil, bentazón, bispiribac-sodio y 2-4-D. Requiere dos horas sin lluvia después de la aplicación.

CAÑA DE AZÚCAR

2,4-D. Es un ácido clorofenoxiacético, que imita la acción de las auxinas, por lo que se considera un regulador del crecimiento (PubChem, 2020). Se aplica en postemergencia temprana para el control de malezas herbáceas de hoja ancha y coquillo en dosis de 720 a 960 g de ingrediente activo por hectárea, utilizando la dosis alta para malezas de mayor tamaño o de difícil control (Odero y Dusky, 2010). A las dosis normales no ocasiona toxicidad al cultivo, pero una sobredosis, puede ocasionar el enrollamiento de las hojas (Leonardo, 1998). La aplicación para el control de malezas de hoja ancha perennes se debe realizar inmediatamente antes de la floración. También se puede aplicar sobre la caña en etapas tardías para controlar infestaciones de enredaderas (*Ipomoea* spp.) (Rott *et al.*, 2018). Tiene un periodo de residualidad de alrededor de dos semanas. Requiere de entre cuatro y seis horas sin lluvia después de su aplicación. La volatilidad depende de la formulación, siendo las aminas menos volátiles que los ésteres; se debe aplicar cuando no exista viento o temperaturas altas, ya que puede ocasionar daños a cultivos de hoja ancha (Ross y Fillols, 2017). Algunas variedades de caña de azúcar pueden ser sufrir daños por su aplicación (Crop Care, 2014).

Ametrina/atrazina. Es una mezcla formulada de fábrica con dos triazinas, cuyo modo de acción es la inhibición de la fotosíntesis. Este herbicida se absorbe por la raíz y se acumula en los meristemos apicales. Se puede aplicar en preemergencia o postemergencia temprana en dosis de 764/764 a 1,146/1,146 g de ingrediente

activo por hectárea (DEAQ, 2020), siendo la dosis mayor para terrenos arcillosos (preemergencia) o para las malezas más grandes (postemergencia). El grado de control de malezas se puede reducir en suelos muy ácidos (Ross y Fillols, 2017). Es recomendable aplicarlo antes de que los zacates amacollen. Ametrina se mueve en el suelo debido a su alta solubilidad en agua, y lluvias fuertes o inundaciones pueden ocasionar su lixiviación (Shah *et al.*, 2012). La mezcla ametrina/atrazina controla malezas de hoja ancha y gramíneas anuales, tiene residual de hasta tres meses (Cheema *et al.*, 2010) y requiere cuatro horas sin lluvia después de la aplicación. Su aplicación cuando la caña de azúcar tiene estrés por baja humedad puede ocasionarle toxicidad.

Ametrina/2,4-D. Es una mezcla formulada de fábrica con una triazina y una auxina sintética, que combina la inhibición de la fotosíntesis con la regulación del crecimiento. Se aplica en postemergencia temprana en dosis de 980/512 a 1,470/768 g de ingrediente activo por hectárea, siendo la dosis mayor para las malezas más grandes o de difícil control. Penetra a las plantas por el follaje y la raíz y tiene efecto de contacto y residual. Controla principalmente hojas anchas y gramíneas anuales, aunque en algunas de estas últimas, su efectividad puede no ser consistente (Esqueda, 1999b; Esqueda, 2005; Esqueda y Moreno, 2015b). Se recomienda su aplicación antes de que las malezas amacollen. Es residual y requiere cuatro horas sin lluvia después de la aplicación. En algunas variedades, el contacto de la solución herbicida con el follaje del cultivo puede ocasionar fitotoxicidad, por lo que en este caso, se recomienda realizar aplicaciones dirigidas a la maleza (Odero y Dusky, 2010; Ross y Fillols, 2017). Requiere que el terreno tenga buena humedad al momento de la aplicación. La adición de un surfactante no iónico o aceite mineral incrementa su efectividad en el control de malezas, aunque esto puede ocasionar ligera toxicidad temporal a la caña de azúcar (Esqueda, 2008).

Ametrina/clomazone. Es una mezcla formulada de fábrica con una triazina y una isoxazolidinona, que combina la inhibición de la fotosíntesis con la inhibición de la enzima DOXP sintasa, que interviene en la síntesis de pigmentos. Se aplica en postemergencia temprana en dosis de 600/900 a 1,000/1,500 g de ingrediente activo por hectárea, siendo la dosis mayor para las malezas más grandes (FMC, 2020). Controla hojas anchas y gramíneas anuales, es residual y requiere cuatro horas sin lluvia después de la aplicación. Debido al modo de acción del clomazone, normalmente se produce un blanqueamiento considerable inicial en el follaje de la caña de azúcar (Soares *et al.*, 2011), que, dependiendo de la variedad y la dosis aplicada, puede oscilar entre 25 y 48% a los siete días de la aplicación (dda) y prácticamente desaparece a los 45 dda. Algunos autores indican que esta toxicidad no afecta el rendimiento de tallos ni de sacarosa (Richard, 1996; Esqueda *et al.*, 2001); sin embargo, en algunos casos, se ha reportado que la toxicidad ocasionada por este herbicida se refleja en reducciones en la altura y producción de tallos (Fagliari *et al.*, 2001; Soares *et al.*, 2011).

Amicarbazone. Es una triazolinona que actúa mediante la inhibición de la fotosíntesis. Se aplica en preemergencia o postemergencia temprana en dosis de 700 a 875 g de ingrediente activo por hectárea, siendo la dosis mayor para terrenos

arcillosos (preemergencia) o para las malezas más grandes (postemergencia) (Esqueda-Esquivel y Rosales-Robles, 2013). Para las aplicaciones postemergentes se requiere la adición de un surfactante no iónico. Controla principalmente hojas anchas, aunque puede tener cierta acción en algunas gramíneas anuales; es residual y requiere cuatro horas sin lluvia después de la aplicación. Los mayores controles se observan entre los 14 y 21 días después de la aplicación, dependiendo de la especie de maleza (Da Silva *et al.*, 2015). En suelos arcillosos puede aplicarse con humedad reducida sin reducir su efectividad (Takano *et al.*, 2017). Las variedades de caña tratadas pueden mostrar ligeros o medianos síntomas de clorosis, los cuales desaparecen entre los 30 y 60 días de la aplicación y en algunas variedades se puede afectar la altura y el número de tallos, así como el rendimiento de campo y de azúcar (De Souza *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2009; Soares *et al.*, 2011). Se puede aplicar en suelos con poca humedad, tanto en suelo desnudo, como en suelo cubierto con residuos de la cosecha anterior (Negrisoni *et al.*, 2007; Labonia, 2008). En mezcla con otros herbicidas se extiende su periodo de control; por ejemplo, con la mezcla de amicarbazone + ametrina se obtiene un efecto residual de más de cuatro meses (Seeruttun *et al.*, 2008).

Clomazone. Es una isoxazolidinona que actúa mediante la inhibición de la enzima DOXP sintasa, que interviene en la síntesis de pigmentos. Es un herbicida residual y produce el blanqueamiento del follaje de las especies susceptibles. Se aplica en preemergencia en dosis de 720 a 960 g de ingrediente activo por hectárea, siendo la dosis mayor para terrenos arcillosos. Puede producir blanqueamiento de la caña de azúcar si ésta tiene una capa de suelo menor de 5 cm (Gravois, 2014), o en aplicaciones postemergentes, en mezcla con otros herbicidas (Leonardo, 1998). Controla principalmente zacates anuales, incluyendo *Rottboellia cochinchinensis* y algunas hojas anchas, pero no tiene efecto en algunas especies del género *Amaranthus*, ni en *C. rotundus* (Esqueda, 1999b). Puede aplicarse en suelos con humedad reducida, o con residuos de cosecha sin reducir su efectividad (Correia *et al.*, 2013; Takano *et al.*, 2017). Algunas variedades muestran mayor susceptibilidad a este herbicida, lo que pudiera afectar su eficiencia productiva (Ferreira *et al.*, 2010). Puede mezclarse con otros herbicidas para incrementar su efectividad (Correia y Gomes, 2014). En caña de azúcar normalmente se vende formulado con ametrina para aplicaciones en postemergencia temprana (Cámara *et al.*, 1995).

Diurón. Es una urea que actúa mediante la inhibición de la fotosíntesis. Se aplica en preemergencia o postemergencia temprana en dosis de 1,600 a 2,000 g de ingrediente activo por hectárea, siendo la dosis mayor para terrenos arcillosos (preemergencia) o malezas de mayor tamaño (postemergencia). En postemergencia se requiere la adición de un surfactante no iónico y se recomienda aplicarlo en malezas en el estado de una a tres hojas (LSU AgCenter, 2001). Se mueve hacia la parte superior con la corriente de transpiración por el xilema, por lo que actúa como herbicida de contacto (Cengicaña, 2013); las hojas más viejas muestran los mayores daños (Ross y Fillols, 2017). Controla principalmente hojas anchas y algunos zacates anuales (Espinoza y Morales, 2009) y proporciona un periodo residual de seis semanas (Crop Care, 2014). Puede mezclarse con hexazinona o ametrina para reforzar el control de zacates (Sugar Research Institute,

2015). Puede lixiviarse en terrenos arenosos. Su efectividad se reduce fuertemente si no se tienen lluvias a más tardar una semana después de la aplicación. Dosis mayores a las recomendadas pueden causar fitotoxicidad a la caña, que se refleja en reducción del rendimiento (Alfaro *et al.*, 2001).

Diurón/hexazinona. Es una mezcla formulada de fábrica con una urea y una triazinona, cuyo modo de acción es la inhibición de la fotosíntesis. Se aplica en preemergencia y postemergencia temprana dirigida, en dosis de 872.8/327.2 a 1,309.2/490.8 g de ingrediente activo por hectárea, siendo la dosis mayor para terrenos arcillosos (preemergencia) o las malezas más grandes (postemergencia). Requiere buena humedad y que las malezas y el cultivo estén creciendo activamente. Se mueve hacia la parte superior con la corriente de transpiración; las hojas más viejas muestran los mayores daños (Ross y Fillols, 2017). Su residualidad es aproximadamente de 100 días en suelos arcillosos y de 50 días en suelos arenosos (Freitas y Santos, 2019). Es más recomendable aplicarlo en socas y resocas, pues en siembras nuevas puede ocasionar toxicidad, dependiendo de la cantidad de lluvia o riego (Yirefu *et al.*, 2009). Asimismo, es preferible realizar aplicaciones dirigidas, tratando de no mojar el follaje del cultivo (SASRI, 2018). Controla hojas anchas y gramíneas anuales, siendo más eficiente cuando éstas se encuentran en la etapa de dos a cuatro hojas (Galon *et al.*, 2012). No tiene efecto en zacates perennes. Es residual y a las dosis más altas puede ocasionar toxicidad de entre 20 y 30% a algunas variedades de caña de azúcar, lo que en ocasiones puede reducir su rendimiento de campo y de fábrica (Fagliari *et al.*, 2001; Pizzo *et al.*, 2010; Monquero *et al.*, 2011). Se ha determinado que las aplicaciones tardías ocasionan más toxicidad a la caña de azúcar que las aplicaciones tempranas y se reflejan en reducción del rendimiento de campo (Azania *et al.*, 2006). Si se aplica en suelos con residuos de cosecha de caña de 10 t por hectárea o mayores, se puede reducir significativamente su efectividad para el control de algunas especies de malezas (Monquero *et al.*, 2009).

Halosulfurón. Es un compuesto del grupo químico de las sulfonilureas, que se puede aplicar en preemergencia o postemergencia (aunque en México solamente se acostumbra su aplicación en postemergencia), en dosis desde 37.5 hasta 87.5 g de ingrediente activo por hectárea. La dosis menor se aplica con malezas de herbáceas de hoja ancha de tamaño pequeño y la mayor para ciperáceas perennes. Se absorbe por el follaje y se mueve hacia la parte superior con la corriente de transpiración; las hojas más viejas muestran los mayores daños (Ross y Fillols, 2017). Controla ciperáceas anuales y perennes y algunas especies de hoja ancha; se recomienda aplicarlo cuando las ciperáceas tienen entre tres y ocho hojas desarrolladas (Odero y Dusky, 2010); puede ser necesaria una aplicación complementaria para controlar las plántulas de *C. rotundus*, que emerjan de tubérculos en dormancia (Ross y Fillols, 2017). Es muy selectivo a la caña de azúcar (Etheredge *et al.*, 2010). Se recomienda añadir un surfactante no iónico para obtener una mayor retención y absorción (Chand *et al.*, 2014). Requiere dos horas sin lluvia después de la aplicación.

Imazapic. Es una imidazolinona que actúa mediante la inhibición de la enzima ALS, que interviene en la síntesis de los aminoácidos de cadena ramificada. Se aplica en presiembra a la caña y preemergencia a la maleza en dosis de 122.5 g de ingrediente activo por hectárea (BASF, 2020b). También se puede aplicar en postemergencia a la maleza y la caña, pero en forma dirigida (Espinoza y Morales, 2009; Ross y Fillols, 2017). Se absorbe por las raíces en desarrollo y se transloca a los brotes. Se mueve hacia la parte superior con la corriente de transpiración; las hojas más viejas muestran los mayores daños (Ross y Fillols, 2017). Tiene un control eficiente aun con humedad del suelo limitada (Carvalho *et al.*, 2012; Ross y Fillols, 2017). No es volátil (Crop Care, 2014). Su vida media es de 120 días. Controla hojas anchas, zacates anuales y algunos zacates perennes, y es muy residual, por lo que se debe tener precaución cuando se haga rotación de cultivos. En las malezas afectadas se presenta clorosis y necrosis aproximadamente 15 días después de la aplicación. En algunas variedades puede causar clorosis, retraso en el desarrollo y reducción en el número de plantas (Durigan *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2010). En suelos arenosos, cuando se presentan precipitaciones abundantes, puede lixiviarse y ocasionar daño al cultivo (Crop Care, 2014; Ross y Fillols, 2017).

Indaziflam. Es una alquilazina que actúa mediante la inhibición de la síntesis de celulosa. Se aplica en preemergencia en dosis de 75 a 100 g de ingrediente activo por hectárea, utilizando la dosis mayor en suelos arcillosos o con alto contenido de materia orgánica. Controla hojas anchas y zacates anuales, y puede aplicarse en postemergencia temprana en mezcla con ametrina o diurón, los cuales controlan las malezas emergidas (Cengicaña, 2013). Tiene periodo promedio de residualidad mayor a 150 días (Kaapro y Hall, 2012) y un potencial bajo o moderado de lixiviación (Amim *et al.*, 2014; Guerra *et al.*, 2014). Su aplicación por varios ciclos consecutivos reduce significativamente el banco de semillas de malezas del suelo (Amim *et al.*, 2016). Existe una relación positiva entre la absorción de indaziflam con el contenido de carbono orgánico de los suelos (Guerra *et al.*, 2013). La presencia de residuos de cosecha puede afectar negativamente su efectividad en el control de malezas (Da Silva *et al.*, 2019). Debido a su alta residualidad, existen restricciones de tiempo para sembrar otros cultivos después de su aplicación (Torres *et al.*, 2018).

Metano arsonato monosodio. Es un compuesto arsenical orgánico con mecanismo de acción desconocido. Actúa por contacto, con algunas propiedades sistémicas (Crop Care, 2014). Se aplica en postemergencia en dosis de 888 g de ingrediente activo por hectárea. Se utiliza principalmente para el control de zacates anuales y perennes de gran tamaño y algunas hojas anchas y para reducir el banco de semillas de malezas del suelo (Espinoza y Morales, 2009). Para el control de *S. halepense*, se recomienda aplicarlo antes de que comience a florear (Olea *et al.*, 2009). Debido a que no es un herbicida completamente selectivo, se recomienda realizar su aplicación dirigida a las malezas, evitando el contacto con el follaje, cuando la caña tenga entre 50 y 80 cm de altura (Ross y Fillols, 2017) y exista buena humedad en el terreno. La mayoría de las variedades son afectadas por este herbicida, ocasionando clorosis y necrosis del tejido meristemático (Leonardo, 1998), pero por lo general, los síntomas desaparecen en un periodo de tres semanas. Requiere seis horas sin lluvia después de la aplicación.

Pendimetalina. Es una dinitroanilina que actúa mediante la inhibición del ensamble de microtúbulos durante la mitosis. Se considera un inhibidor del crecimiento sobre todo de las raíces (Leonardo, 1998). Es absorbido por la raíz de la semilla en germinación y por los brotes, antes de presentar hojas verdaderas. Tiene poca movilidad tanto en el suelo como en la planta. Los brotes mueren rápidamente después de la germinación o poco después de la emergencia (Espinoza y Morales, 2009; Cengicaña, 2013). Se aplica en preemergencia en dosis de 1,386 a 1,584 g de ingrediente activo por hectárea, siendo la dosis mayor para terrenos arcillosos. Requiere de buena humedad al momento de la aplicación y que el terreno esté bien preparado y no tenga residuos del cultivo anterior (Ross y Fillols, 2017). Controla zacates anuales incluyendo *R. cochinchinensis* y *S. halepense* de semilla (Millhollon, 1993). y hojas anchas de semilla pequeña y tiene una residualidad de 45 a 60 días. El laboreo mecánico puede exponer suelo no tratado, reduciendo el periodo de control.

Tebuthiurón. Es una urea que actúa mediante la inhibición de la fotosíntesis. Se aplica en preemergencia en dosis de 1,500 g de ingrediente activo por hectárea. Es uno de los pocos herbicidas que puede aplicarse sobre terreno seco o con poca humedad y activarse con la lluvia varios días o semanas después, sin reducir su efectividad (Esqueda, 1997; Takano *et al.*, 2017). Controla zacates anuales y hojas anchas; su residualidad media puede ser de entre 12 y 18 meses, ya que tiene resistencia a la degradación química y biológica y tiene alta movilidad (Pereira *et al.*, 2015; Mendes *et al.*, 2020), por lo que puede lixiviarse cuando se tienen altas precipitaciones, especialmente cuando se tienen altas concentraciones de este producto por aplicaciones secuenciales a través de los años (Pires *et al.*, 2003); por lo anterior, se debe tener precaución cuando se haga rotación de cultivos (Zanardo *et al.*, 2019). La caña de azúcar puede mostrar ligera clorosis inicial, que desaparece entre los 30 y 60 días después de la aplicación y no afecta el rendimiento de tallos o de azúcar (De Souza *et al.*, 2009). Puede aplicarse en postemergencia temprana en mezcla con ametrina o diurón, con lo que se pueden controlar malezas emergidas y se amplía el espectro de control (Esqueda, 2005; Esqueda y Moreno, 2015a). La presencia de residuos de cosecha al momento de la aplicación puede reducir la cantidad de herbicida que llega al suelo, y por tanto su efectividad (Tofoli *et al.*, 2009). Asimismo, su efectividad se puede reducir al ser absorbido por el carbono orgánico, producto de la cobertura de paja de caña que queda después de la cosecha (Pereira *et al.*, 2015).

POTREROS

Los métodos de aplicación de herbicidas más utilizados en potreros son: 1. Al follaje, 2. Basal a la corteza, 3. Al tocón, 4. Al anillo y 5. Con mechero o trapeador (Sardiñas, 2010; Enríquez *et al.*, 2011). A continuación, se describen las principales características de estos métodos.

Aplicación al follaje. Es el método de control de malezas más utilizado en potreros y pastizales (Motooka *et al.*, 2002). Consiste en la aplicación del herbicida

directamente sobre las hojas y tallos de las plantas no deseadas en la época de lluvias, que es cuando están en la etapa de crecimiento activo (González y Ávila, 2009). Es adecuada para eliminar plantas herbáceas y arbustivas jóvenes con muchos tallos basales que se presentan en poblaciones densas (Martínez-Méndez *et al.*, 2016). Normalmente se agrega un adherente o surfactante para facilitar la retención y penetración de la solución herbicida en las plantas (Benejam, 2006). Debe procurarse tener un buen cubrimiento del follaje con la solución herbicida, pero sin llegar al escurrimiento.

Para el control de maleza perenne es necesario que el herbicida se transloque del follaje a las raíces, por lo que los herbicidas sistémicos deben aplicarse cuando las plantas están moviendo activamente carbohidratos a las raíces. Cuando la maleza presenta una distribución uniforme, se recomienda aplicar los herbicidas en 300 a 400 L de agua por hectárea. Por otra parte, en maleza aislada o de tamaño grande se recomienda la aplicación manchoneada o dirigida (Tejos *et al.*, 2005), con herbicidas diluidos en 100 L de agua, utilizando la cantidad necesaria para cubrir las plantas. Los herbicidas no deben aplicarse cuando la maleza esté afectada por sequía o altas temperaturas, ni en terrenos inundados. En México, los principales ingredientes activos aplicados al follaje de las malezas de potreros son: 2,4-D, picloram, aminopyralid, fluroxypir, metsulfurón metil y triclopir (DiTomaso *et al.*, 2010). En general, los herbicidas comerciales están formulados con dos o tres de estos ingredientes activos.

Aplicación basal a la corteza. Se utiliza principalmente para el control de árboles pequeños y arbustos de corteza lisa, en cualquier época del año. Se utiliza en situaciones en que las aplicaciones foliares no son recomendables, como en terrenos disperejos o escarpados. Se aplican herbicidas solubles en aceite o diesel (Motooka *et al.*, 2002), como la mezcla de triclopir + picloram, directamente a la corteza hasta el punto de escurrimiento (Walden *et al.*, 2000; Benejam, 2006). El diesel penetra la corteza y lleva consigo los herbicidas hasta el cambium para ocasionar la muerte de la planta y de las yemas basales que pudieran germinar.

Para tallos con diámetro menor a 5 cm, la aplicación se realiza en un solo lado, mientras que, en tallos con diámetros mayores, se aplica en todo alrededor desde la base del tallo hasta al menos 25 cm de altura (Castañeda, 1973; González y Ávila, 2009), aunque en este último caso, puede haber necesidad de volver a aplicar para controlar rebrotes. El tratamiento se puede aplicar con una aspersora de ultra bajo volumen o una brocha de pintar (Passini y Kranz, 1997). Sólo se deben aplicar cuando los troncos están secos, procurando no asperjar al pasto, pues el diesel puede dañarlo. Este método es más rápido que el de cortar el árbol y aplicar al tocón, aunque las plantas muertas permanecen en el terreno. Las aplicaciones basales presentan el inconveniente de que, en tocones con rebrotes múltiples, cada tallo debe tratarse.

Aplicación al tocón. Este método combina el control físico con el químico, y es adecuado para controlar árboles y arbustos resistentes a la aplicación foliar, o aquellos que se han cortado por tres o más ocasiones. Cuando se les elimina la

parte superior, muchos árboles y arbustos responden emitiendo nuevos brotes de yemas adventicias que se encuentran al nivel del suelo o debajo de éste. Para evitar lo anterior, se debe aplicar el herbicida sobre la savia, en los primeros 10 minutos después de cortar la parte aérea de la planta (Motooka *et al.*, 2002; Aguilar y Nieuwenhuys, 2009).

Se recomienda hacer un corte lo más plano posible y lo más cercano al suelo, así como remover el aserrín, ya que éste puede absorber el herbicida y evitar que penetre en el tronco. Para un mejor control, los productos deben aplicarse a la corteza, a las raíces expuestas sobre el suelo y a la parte superior del tronco (Castañeda, 1973). Algunos de los ingredientes activos más comunes para aplicación al tocón son: 2,4-D, picloram, triclopir, dicamba y glifosato. Las aplicaciones se pueden realizar tanto con aspersora con boquillas de cono hueco o abanico plano de bajo ángulo, como con brocha, y se recomienda utilizar un colorante, como azul de metileno para marcar las plantas tratadas y evitar su re-aplicación (Benejam, 2006).

Aplicación al anillo. Se utiliza para el control de árboles con troncos de al menos 12.5 cm de diámetro o corteza muy gruesa en los que la aplicación basal a la corteza no tiene efecto. Con un machete o un hacha se realiza un corte en forma de anillo de 10 a 20 cm de ancho y a una altura no mayor de 1 m desde el suelo.

El corte debe ser suficientemente profundo para cortar el cambium, lo que previene el flujo de agua y nutrientes hacia arriba y abajo del tallo, y en ocasiones por sí solo es letal. El herbicida se aplica al anillo, ya sea asperjado o con brocha, donde es absorbido y translocado a las raíces, ocasionando la muerte del árbol (Villanueva, 2006). Puede usarse ya sea un herbicida soluble en agua, o uno soluble en aceite.

Aplicación con mechero. Este método se recomienda para aplicaciones localizadas, para controlar selectivamente los zacates no deseados y helechos, mediante la aplicación de un herbicida sistémico o de contacto no selectivo (Hertentains *et al.*, 1988). El mechero o trapeador es un aparato en forma de "T", formado por un tubo de PVC y una cuerda, que se impregna constantemente con una solución de glifosato diluido en proporción de una parte de herbicida en dos de agua (Villanueva, 2006).

Con el mechero se aplica el herbicida a la maleza, lo cual ocasiona su muerte en pocos días. Es necesario que el tamaño de la maleza sea al menos 10 cm mayor que el de las plantas forrajeras, para reducir lo más posible el riesgo de dañarlas. Una de las ventajas de este método es que, al ser dirigida la aplicación, se reduce la cantidad de herbicida necesaria y, por tanto, el costo (Aguilar y Nieuwenhuys, 2009). Además, prácticamente no se contamina el suelo ni las aguas superficiales. Este método es útil en poblaciones bajas de maleza (Villarreal y Vargas, 1989).

En el Cuadro 1 se presentan los tratamientos recomendados para el control de las principales especies de maleza de los potreros y pastizales en México.

Cuadro 1. Recomendaciones para el control químico de malezas en potreros y pastizales en México.

MALEZA PREDOMINANTE	NOMBRE COMÚN	DOSIS		OBSERVACIONES
		(g/100 L DE AGUA)	(g/ha)	
Hoja ancha	2,4-D		480 a 960	Para el control de malezas herbáceas.
Hoja ancha	Picloram + 2,4-D	64 + 240 a 128 + 480	192 + 720 a 320 + 1,200	Utilizar las dosis menores en malezas herbáceas y las mayores en malezas arbustivas.
Hoja ancha	Aminopyralid + 2,4-D	9 + 180 a 13.5 + 270* 40 + 320**	36 + 720* 160 + 1,280**	Utilizar * en malezas herbáceas y ** en malezas arbustivas.
Hoja ancha	Aminopyralid + metsulfurón-metil	37.5 a 75	150 a 300	Utilizar la dosis menor en malezas herbáceas y la mayor en malezas arbustivas.
Hoja ancha	Aminopyralid + triclopir	Foliar 40 + 120 60 + 180 80 + 240 Tocón 160 + 480 Basal 120 + 360 160 + 480		En aplicaciones foliares utilizar la dosis baja en malezas herbáceas y las mayores en malezas arbustivas y leñosas. En aplicaciones basales utilizar la dosis de acuerdo al diámetro del tallo.
Hoja ancha	Picloram + triclopir	Foliar 60 + 120 90 + 180 120 + 240 Tocón 240 + 480 Basal 180 + 360 240 + 480		En aplicaciones foliares utilizar la dosis baja en malezas herbáceas y las mayores en malezas arbustivas y leñosas. En aplicaciones basales utilizar la dosis de acuerdo al diámetro del tallo.
Hoja ancha	Aminopyralid + fluroxipir + 2,4-D	25 + 50 + 150 a 50 + 100 + 300		En aplicaciones foliares utilizar la dosis baja en malezas herbáceas y la dosis mayor en malezas arbustivas y leñosas.
Principalmente gramíneas y ciperáceas	Glifosato Paraquat Diurón		700 a 1,400 300 a 600 1,200 a 2,400	Aplicaciones dirigidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, A. y Nieuwenhuyse, A. 2009. Manejo integral de malezas en pasturas. Manual Técnico. No. 90. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Managua, Nicaragua. 177 p.
- Ahmed, S. and Chauhan, B. S. 2015. Efficacy and phytotoxicity of different rates of oxadiargyl and pendimethalin in dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in Bangladesh. *Crop Protection* 72:169-174.
- Aisenberg, G. R., Ulguim, A. R., Oliveira, G. E. D., Negretti, R. R. D., Nohatto, M. A. e Agostinotto, D. 2010. Controle de capim-arroz (*Echinochloa colonun* (L.) Link) resistente a inibidores da ALS pela aplicação isolada, associada ou sequencial de herbicidas. p. 1761-1765. *In: XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas*. Ribeirão Preto, SP, Brasil.
- Alfaro, P. R., Rodríguez, R. M. y Bolaños, P. J. 2001. Evaluación de 11 mezclas de herbicidas para el control de *Rottboellia cochinchinensis* y otras malezas en Hda. Tempisque S. A., Guanacaste. Liga Agrícola e Industrial de la Caña de Azúcar. DIECA. Grecia, Costa Rica. 14 p.
- Amim, R. T., Freitas, S. P., Freitas, I. L. J., Gravina, G. A. e Paes, H. M. F. 2014. Controle de plantas daninhas pelo indaziflam em solos com diferentes características físico-químicas. *Planta Daninha* 32(4):791-800.
- Amim, R. T., Freitas, S. P., Freitas, I. L. J. e Scarso, M. F. 2016. Banco de sementes do solo após aplicação de herbicidas pré-emergentes durante quatro safras de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51(10):1710-1719.
- Azania, C. A. M., Rolim, J. C., Casagrande, A. A., Lavorenti, N. A. e Azania, A. A. P. M. 2006. Seletividade de herbicidas. III – Aplicação de herbicidas em pós-emergência inicial e tardia da cana-de-açúcar na época da estiagem. *Planta Daninha* 24(3):489-495.
- BASF. 2020a. Aura[®] herbicida. http://www.tacsamx.com/DEAQ/src/productos/204_11.htm (Consultado el 1 de noviembre de 2020).
- BASF. 2020b. Plateau[®], herbicida para caña. <https://agriculture.basf.com/mx/es/proteccion-de-cultivos-y-semillas/productos/plateau.html> (Consultado el 28 de octubre de 2020).
- Benejam, S. L. E. 2006. Técnicas de control de malezas en potreros. p. 99-108. *In: X Seminario de Pastos y Forrajes*. Maracaibo, Venezuela.

- Blouin, D. C., Webster, E. P. and Bond, J. A. 2010. On a method of analysis for synergistic and antagonistic joint-action effects with fenoxaprop mixtures in rice (*Oryza sativa*). *Weed Technology* 24(4):583-589.
- Bond, J. A. Walker, T. W. and Koger, C. H. 2009. Pendimethalin applications in stale seedbed rice production. *Weed Technology* 23(1):167-170.
- Buehring, N. W., Talbert, R. E. and Baldwin, F. L. 2006. Interactions of graminicides with other herbicides applied to rice (*Oryza sativa*). *Weed Technology* 20(1):215-220.
- Cámara, G. M. S., Arévalo, R. A., Orsi, F., Maule, R. F. e Puzzo, R. B. 1995. Eficiência da mistura formulada de clomazone + ametrina no controle das plantas daninhas à cultura da cana-de-açúcar em área de soqueira. p. 436. *In: XX Congresso Brasileiro de Plantas Daninhas*. Florianópolis, SC, Brasil.
- Carvalho, S. J. P., Dias, A. C. R., Minamiguchi, M. H., Nicolai, M. e Christoffoleti, P. J. 2012. Atividade residual de seis herbicidas aplicados ao solo em época seca. *Revista Ceres* 59(2):278-285.
- Castañeda, C. R. 1973. Control químico de algunos arbustos en potreros de la zona norte del estado de Veracruz. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 50 p.
- Cavero J., Zaragoza, C., Cirujeda, A., Anzalone, A., Faci, J. M. and Blanco, A. O. 2011. Selectivity and weed control efficacy of some herbicides applied to sprinkler irrigated rice (*Oryza sativa* L.). *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(2):597-605.
- Cengicaña (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). 2013. Manual de malezas y catálogo de herbicidas para el cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Cengicaña. Guatemala, C. A. 97 p.
- Chand, M., Singh, S., Bir, D., Singh, N. and Kumar, V. 2014. Halosulfuron methyl: a new postemergence herbicide in India for effective control of *Cyperus rotundus* in sugarcane and its residual effects on the succeeding crops. *Sugar Tech* 16:67-74.
- Chauhan, B. S. and Abugho, S. B. 2012. Effect of growth stage on the efficacy of postemergence herbicides on four weed species of direct-seeded rice. *The Scientific World Journal*. <http://downloads.hindawi.com/journals/tswj/2012/123071.pdf> (Consultado el 21 de octubre de 2020).
- Chauhan, B. S. and Johnson, D. E. 2011. Growth response of direct-seeded rice to oxadiazon and bispyribac-sodium in aerobic and saturated soils. *Weed Science* 59(1):119-122.

- Cheema, M. S., Bashir, S. and Ahmad, F. 2010. Evaluation of integrated weed management practices for sugarcane Pakistan Journal of Weed Science Research 16(3):257-265.
- Correia, N. M. and Gomes, L. J. P. 2014. Seed bank and control of *Rottboellia exaltata* using clomazone alone and in combination with other herbicides. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 9(4):538-544.
- Correia, N. M., Gomes, L. J. P. and Perussi, F. J. 2013. Emergence of *Rottboellia exaltata* influenced by sowing depth, amount of sugarcane straw on the soil surface, and residual herbicide use. Acta Scientiarum 35(2):145-152.
- Crop Care. 2014. The sugarcane manual. Crop Care Australasia. Murarrie, QLD, Australia. 35 p.
- Da Silva, P. V., Alves, R. B., Malardo, M. R., Duarte, P. H. N., Ribeiro, N. M., Dias, R de C., Monquero, P. A. and Christoffoleti. P. J. 2019. Effect of sugarcane straw and precipitation on indaziflam efficacy. Revista de Ciências Agrárias (Portugal) 42(4):1040-1051.
- Da Silva, P. V., Monquero, P. A. e Munhoz, W. S. 2015. Controle em pós-emergência de plantas daninhas por herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar. Revista Caatinga 28(4):21-32.
- Davi, R. e Nawamaki, T. 2006. Halosulfuron-methyl (Permit®): Nuovo erbicida di post-emergenza per il riso e il mais. ATTI Giornate Fitopatologiche I:291-296.
- DEAQ (Diccionario de Especialidades Agroquímicas). 2020. Gesapax Combi 80 PH. <https://www.agroquimicos-organicosplm.com/gesapax-combi-80-ph-17-1-14378-137-3> (Consultado el 1 de noviembre de 2020).
- De Souza, J. R., Perecin, D., Azania, C. A. M., Schiavetto, A. R., Pizzo, I. V. e Candido L. S. 2009. Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência. Bragantia 68(4):941-951.
- DiTomaso, J. M., Masters, R. A. and Peterson, V. F. 2010. Rangeland invasive plant management. Rangelands 32(1):43-47.
- Durigan, J. C., Timossi, P. C. e Correia, N. M. 2005. Densidades e manejo químico da tiririca na produtividade de cana-de-açúcar. Planta Daninha 23(3):463-469.
- Enríquez, Q. J. F., Meléndez, N. F., Bolaños, A. E. D. y Esqueda, E. V. A. 2011. Producción y manejo de forrajes tropicales. Libro Técnico Núm. 28. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental La Posta. Medellín de Bravo, Ver., México. 405 p.

- Espinoza, G. y Morales, J. 2009. Catálogo de herbicidas. Productos utilizados en la industria azucarera. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Guatemala, C. A. 18 p.
- Esqueda, E. V. A. 1986. Efecto de la dosis y época de aplicación de propanil + 2,4-D amina en el control de la maleza y rendimiento del arroz de temporal. p. 391-397. *In: VII Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza y VIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Maleza.* Guadalajara, Jal., México.
- Esqueda, E. V. A. 1991a. Efecto de la interacción propanil-insecticidas en el cultivo de arroz *Oryza sativa* L. de temporal. Series Técnicas de ASOMECEMA 2(1):19-23.
- Esqueda, E. V. A. 1991b. Prueba de herbicidas en almácigos de arroz *Oryza sativa* L. Series Técnicas de ASOMECEMA 2(1):24-28.
- Esqueda, E. V. A. 1997. Evaluación de dos formulaciones de tebuthiurón en el control de malezas en el cultivo de caña de azúcar. p. 44. *In: XVIII Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza.* Cuernavaca, Mor., México.
- Esqueda, E. V. A. 1998. Efecto de dosis y épocas de aplicación del herbicida fenoxaprop-etil en arroz (*Oryza sativa* L.) de temporal. p. 81-85. *In: XIX Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza.* Mexicali, B. C., México.
- Esqueda, E. V. A. 2000. Control de malezas en arroz de temporal con clomazone, solo y en mezcla con propanil y 2,4-D. *Agronomía Mesoamericana* 11(1):51-56.
- 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. 2008. Efecto del aceite mineral Agratex-HE en el control de malezas en caña de azúcar. *Agronomía Mesoamericana* 19(1):93-98.
- Esqueda, E. V. A. 2012. Dosis y época de aplicación de cihalofop-butilo para controlar *Leptochloa mucronata* (Michx.) Kunth en arroz de riego. p. 179-187. *In: XXXIII Congreso Mexicano de la Ciencia de la Maleza.* Villahermosa, Tab., México.
- Esqueda, E. V. A., Altamirano, C. L., Hernández, A. Y. y López, M. A. 2001. Evaluación de la mezcla de ametrina + clomazone en caña de azúcar. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):161-167.

- Esqueda, E. V. A. y Moreno, G. M. D. 2015a. Control pre y postemergente de zacate peludo [*Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton] en caña de azúcar con la mezcla formulada de tebuthiurón/diurón. p. 46-51. *In: XXXVI Congreso Mexicano de la Ciencia de la Maleza*. Boca del Río, Ver., México.
- Esqueda, E. V. A. y Moreno, G. M. D. 2015b. Efecto de la mezcla formulada de tebuthiurón/diurón (Conserver) y otros herbicidas en el control de *Rottboellia cochinchinensis* y malezas de hoja ancha en caña de azúcar. p. 1-10. *In: XXXVII Convención y ExpoATAM 2015*. Boca del Río, Ver., México.
- Esqueda, E. V. A. y Osuna, C. F. J. 2016. Maleza: importancia y control. p. 264-308. *In: Hernández, A. L. y Tavitas, F. L. (eds.). El arroz en México. Libro Técnico No. 14. SAGARPA. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Mor., México.*
- Esqueda, E. V. A. y Tosquy, V. O. H. 2004. Efecto de cihalofop-butilo en el control de malezas gramíneas anuales en arroz de temporal. *Agronomía Mesoamericana* 15(2):173-178.
- Esqueda, E. V. A. y Tosquy, V. O. H. 2009. Alternativas al propanil para controlar *Echinochloa colona* (L.) Link en arroz de temporal. *Agronomía Mesoamericana* 20(1):111-119.
- Esqueda, E. V. A. y Tosquy, V. O. H. 2012. Validación de bispiribac-sodio + clomazone, nueva alternativa de control químico de malezas en arroz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(6):1115-1128.
- Esqueda, E. V. A. y Tosquy, V. O. H. 2013. Control químico de *Echinochloa colona* (L.) Link resistente al propanil y *Cyperus iria* L. en arroz (*Oryza sativa* L.) de temporal en Tres Valles, Veracruz. *Universidad y Ciencia* 29(2):113-121.
- Esqueda, E. V. A. y Tosquy, V. O. H. 2014. Validación de cihalofop-butilo + clomazone para control de malezas en arroz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(5):741-751.
- Esqueda, E. V. A., Tosquy, V. O. H. y Flores, M. D. S. 2010. Control de malezas en el cultivo de arroz de temporal en Veracruz. Folleto Técnico Núm. 53. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Ver., México. 41 p.
- Esqueda, E. V. A., Uresti, D. D. y Hernández, A. L. 2014. Control químico del pelillo (*Cyperus iria* L.) en arroz de temporal. p. 207-210. *In: XXXV Congreso Mexicano de la Ciencia de la Maleza*. Tequisquiapan, Qro., México.

- Esqueda, E. V. A., Uresti, D. D. y Hernández, A. L. 2015. Alternativas al fenoxaprop-etil 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, V. A. 1999a. Control de malezas en arroz de temporal con clomazone, propanil y 2,4-D. *Agronomía Mesoamericana* 10(2):43-49.
- Esqueda, V. A. 1999b. Control de malezas en caña de azúcar con clomazone y ametrina. *Agronomía Mesoamericana* 10(2):23-30.
- Esqueda, V. y Rosales, E. 2004. Evaluación de bispiribac-sodio en el control de malezas en arroz de temporal. *Agronomía Mesoamericana* 15(1):9-15.
- Etheredge, L. M., Griffin, J. L. and Boudreaux, J. M. 2010. Nutsedge (*Cyperus* spp.) control programs in sugarcane. *Journal American Society of Sugar Cane Technologists* 30:67-80.
- Fagliari, J. R., Oliveira, R. S. Jr. e Constantin, J. 2001. Métodos de avaliação da seletividade de herbicidas para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) *Maringá* 23(5):1229-1234.
- Ferreira, R. R., Oliveira, F. T. R., Delite, F. S., Azevedo, R. A., Nicolai, M., Carvalho, S. J. P., Christoffoleti, P. J. e Figueira, A. V. O. 2010. Tolerância diferencial de variedades de cana-de-açúcar a estresse por herbicidas. *Bragantia* 69(2):395-404.
- FMC. 2020. Sinerge 500 CE. <http://www.fmcagroquimica.com.mx/wp-content/uploads/2018/06/Sinerge-500-CE-Ficha-T%C3%A9cnica.pdf> (Consultado el 3 de noviembre de 2020).
- Freitas, A. P. e Santos, A. S. 2019. Diferentes texturas de solo sob efeito residual da mistura formulada diuron + hexazinone + sulfometuron-metílico *Nucleus* 16(2):453-461.
- Galon, L., Tironi, S. P., Silva, A. A., Silva, A. F., Concenço, G., Rocha, P. R. R., Kunz, V. L., Ferreira, E. A. e Ferreira, F. A. 2012. Eficiência de controle de *Brachiaria brizantha* e seletividade dos herbicidas {(diuron + hexazinone) + MSMA} aplicados à cultura da cana-de-açúcar. *Planta Daninha* 30(2):367-376.
- Gilreath, J. P., Chase, C. A. and Locascio, S. J. 2001. Crop injury from sublethal rates of herbicide. III. Pepper. *HortScience* 36(4):677-681.

- González, V. E. A. y Ávila, C. J. M. 2009. Alternativas de control químico de arbustos indeseables en tierras de pastoreo del noreste de México. Folleto Técnico Núm. 23. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental Las Huastecas. Villa Cuauhtémoc, Tam., México. 12 p.
- Gravois, K. (comp.). 2014. Sugarcane production handbook 2014. Pub. 2859. Louisiana State University. LSU AgCenter. Baton Rouge, LA, USA. 83 p.
- Guerra, N., Oliveira, N. A. M., Oliveira Jr., R. S., Constantin, J. and Takano, H. K. 2014. Sensibility of plant species to herbicides aminocyclopyrachlor and indaziflam. *Planta Daninha* 32(3):609-617.
- Guerra, N., Oliveira Jr., R. S., Constantin, Oliveira, N. A. M. e Braz, G. B. P. 2013. Aminocyclopyrachlor e indaziflam: seletividade, controle e comportamento no ambiente. *Revista Brasileira de Herbicidas* 12(3):285-295.
- Hertentains, L. A., Troestsch, O. y Argel, P. J. 1988. Control químico de la maleza cabazona (*Paspalum virgatum*) en Bugaba, Chiriquí. Boletín Técnico No. 18. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá, C. A. 9 p.
- Kaapro, J. and Hall, J. 2012. Indaziflam - a new herbicide for preemergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. *Pakistan Journal of Weed Science Research Special Issue* 18:267-270.
- Kaufman, P. B. 1953. Gross morphological responses of the rice plant to 2,4-D. *Weeds* 2(4): 223-253.
- Koger, C. H., Dodds, D. M. and Reynolds, D. B. 2007. Effect of adjuvants and urea ammonium nitrate on bispyribac efficacy, absorption, and translocation in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). I. Efficacy, rainfastness, and soil moisture. *Weed Science* 55:399-405.
- Koger, C. H., Walker, T. W. and Krutz, L. J. 2006. Response of three rice (*Oryza sativa*) cultivars to pendimethalin application, planting depth, and rainfall. *Crop Protection* 25(7):684-689.
- Labonia, V. D. S. 2008. Alguns aspectos de germinação e emergencia de cinco espécies de plantas daninhas convolvuláceas e suas susceptibilidades a herbicidas quando aplicados sobre palha de cana-de-açúcar. Tesis de maestría. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, Brasil. 80 p.
- Leonardo, A. 1998. Manual para la identificación y manejo de las principales malezas en caña de azúcar en Guatemala. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. Guatemala, C. A. 131 p.

- LSU AgCenter (Louisiana State University Agricultural Center). 2001. Sugarcane production. Handbook – 2001. Pub. 2859. Louisiana State University Agricultural Center. Baton Rouge, LA, USA. 48 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.
- Mendes, K. F., Maset, B. A., Mielke, K. C., Sousa, R. N., Martins, B. A. B. and Tornisielo, V. L. 2020. Phytoremediation of quinclorac and tebuthiuron-polluted soil by green manure plants. *International Journal of Phytoremediation* <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1825329>. (Consultado el 1 de noviembre de 2020).
- Millhollon, R. W. 1993. Preemergence control of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) and Johnsongrass (*Sorghum halepense*) in sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) with pendimethalin and prodiamine. *Weed Science* 41(4):621-626.
- Monquero, P. A., Amaral, L. R., Da Silva, A. C., Binha, D. P. e Da Silva, P. V. 2009. Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *Ipomoea grandifolia*. *Bragantia* 68(2):367-372.
- Monquero, P. A., Binha, D. P., Inácio, E. M., da Silva, P. V. e do Amaral, L. R. 2011. Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. *Bragantia* 70(2):286-293.
- Motooka, P., Ching, L. and Nagai, G. 2002. Herbicidal weed control methods for pastures and natural areas of Hawaii. WC-8. University of Hawai'i at Manoa. College of Tropical Agriculture and Human Resources. Cooperative Extension Services. Honolulu, HW, USA. 35 p.
- Negrisola, E., Rossi, C. V. S., Velini, E. D., Cavenaghi, A. L., Costa, E. A. D. e Toledo, R. E. B. 2007. Controle de plantas daninhas pelo amicarbazone aplicado na presença de palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha* 25(3):603-611.
- Norsworthy, J. K., Scott, R. C., Bangarwa, S. Griffith, G., Wilson, M. J. and Still, J. 2008. Control of clomazone-resistant barnyardgrass in rice with preemergence herbicides. B. R. Wells Rice Research Studies. AEES Research Series 571:190-193.
- Ntanos, D. A., Koutroubas, S. D. and Mavrotas, C. 2000. Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control in water-seeded rice (*Oryza sativa*) with cyhalofop-butyl. *Weed Technology* 14:383-388.

- Odero, D. C. and Dusky, J. A. 2010: Weed management in sugarcane. SS-AGR-09. University of Florida. IFAS Extension. Gainesville, FL, USA. 8 p.
- Olea, I. L., Sabaté, S. y Vinciguerra, H. 2009. Manejo de malezas. Herramientas para el control químico. p. 131-141. *In*: Romero, E. R., Digonzelli, P. A. y Scandaliaris, J. (eds.). Manual del cañero. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Las Talitas, Tucumán, Argentina.
- Osuna, C. F. J., Hernández, A. L., Salcedo, A. J., Tavitas, F. L. y Gutiérrez, D. L. J. 2000. Manual para la producción de arroz en la región central de México. Libro Técnico No. 1. SAGAR. INIFAP. Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Mor., México. 82 p.
- Ottis, B. V., Mattice, J. D. and Talbert, R. E. 2005. Determination of antagonism between cyhalofop-butyl and other rice (*Oryza sativa*) herbicides in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(10):4064-4068.
- Passini, T. e Kranz, W. M. 1997. Eficácia de herbicidas no controle de amarelinho (*Tecoma stans*) em pastagem. *Planta Daninha* 15(2):190-197.
- Pereira, E. V., Giori, F. G., Nascimento, A. L., Tornisielo, V. L. and Regitano, J. B. 2015. Effects of soil attributes and straw accumulation on the sorption of hexazinone and tebuthiuron in tropical soils cultivated with sugarcane *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 50:238-246.
- Pires, F. R., Souza, C. M., Silva, A. A., Queiroz, M. E. L. R., Procópio, S. O., Santos, J. B., Santos, E. A. e Cecon, P. R. 2003. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de tebuthiuron. *Planta Daninha* 21(3):451-458.
- Pizzo, I. V., Azania, C. A. M., Azania, A. A. P. M. e Schiavetto, A. R. 2010. Seletividade e eficácia de controle de plantas daninhas pela associação entre óleo fúsel e herbicidas em cana-de-açúcar *Planta Daninha* 28(2):347-357.
- PubChem. 2020. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2_4-Dichlorophenoxyacetic-acid (Consultado el 1 de noviembre de 2020).
- Richard, E. P. Jr. 1996. Sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) tolerance to clomazone. *Weed Technology* 10(1):90-94.
- Rodrigues, S. J., Perecin, D., Azania, C. A. M., Schiavetto, A. R., Pizzo, I. V. e Candido, L. S. 2009. Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar a herbicidas aplicados em pós-emergência *Bragantia* 68(4):941-951.
- Ross, P. and Fillols, E. 2017. Weed management in sugarcane manual. Sugar Research Australia Ltd. Indooroopilly, QLD, Australia. 148 p.

- Rott, P., Odero, D. C., Beuzelin, J. M., Raid, R. N., VanWeelden, M., Swanson, S. and Mossler, M. 2018. Florida crop/pest profile: Sugarcane. PI-171. University of Florida. IFAS Extension. Gainesville, FL, USA. 19 p.
- Sardiñas, L. Y. 2010. Recuperación de pastizales de *Panicum maximum* Jacq. vc. Likoni, invadidos de *Sporobolus indicus* (L.) R. Br. (espartillo). Tesis de doctorado. Instituto de Ciencia Animal. Departamento de Pastos y Forrajes. La Habana, Cuba. 120 p.
- SASRI (South African Sugarcane Research Institute). 2018. Herbicide selection guide 2018. SASRI. Mount Edgecombe, South Africa. 37 p.
- Scherder, E. F., Talbert, R. E. and Clark, S. D. 2004. Rice (*Oryza sativa*) cultivar tolerance to clomazone. *Weed Technology* 18(1):140-144.
- Scherder, E. F., Talbert, R. E. and Lovelace, M. L. 2005. Antagonism of cyhalofop grass activity by halosulfuron, triclopyr, and propanil. *Weed Technology* 19(4):934-941.
- Seeruttun, S., Barbe, C. and Gaungoo, A. 2008. New herbicide tank-mix, Krismat + Dinamic: a cost-effective broad-spectrum pre- & post-emergence treatment for managing weeds in sugarcane. *Sugar Cane International* 26:18-21.
- Shah, J., Jan, M. R., Ara, B. and Shehzad, F. 2012. Determination of ametryn in sugarcane and ametryn-atrazine herbicide formulations using spectrophotometric method. *Environmental Monitoring Assessment* 184:3463-3468.
- Soares, R. O., Azania, C. A. M., Lorenzato, C. M., Schiavetto, A. R., Zera, F. S. e Azania, A. A. P. M. 2011. Herbicidas de diferentes mecanismos de ação e a seletividade a cultivares de cana-de-açúcar *Nucleus* 8(1):337-350.
- Sondhia, S. and Dubey, R. P. 2006. Terminal residues of butachlor and pendimethalin in onion. *Pesticide Research Journal* 18(1):85-86.
- Street, J. E. and Lanham, D. J. 1996. Pendimethalin as a delayed preemergence herbicide in rice. Bulletin No. 1064. Mississippi State University Extension Service and Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station. Stoneville, MS, USA. 7 p.
- Suárez, L., Anzalone, A. y Moreno, O. 2004. Evaluación del herbicida halosulfurón-metil para el control de malezas en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) *Bioagro* 16(3):173-182.
- Sugar Research Institute. 2015. Sugarcane weed management in Kenya's sugar industry. Kisumu, Kenya. 14 p.

- Takano, H. K., Biffe, D. F., Constantin, J., de Oliveira Jr, R. S., Braz, G. B. P. and Gemelli, A. 2017. Dry season and soil texture affect the chemical control of monocotyledonous in sugarcane. *Comunicata Scientiae* 8(3):477-485.
- Talbert, R. E. and Burgos, N. R. 2007. History and management of herbicide-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) in Arkansas rice. *Weed Technology* 21(2): 324-331.
- Tejos, M. R., Mejías, H., Pérez, N. y Avellaneda, B. J. F. 2005. Manejo de pasturas y producción de carne en el llano bajo de Venezuela. p. 171-181. *In: IX Seminario de Pastos y Forrajes*. San Cristóbal, Táchira, Venezuela.
- Thomson, W. T. 1993. Agricultural chemicals. Book II herbicides. 1993 revision. Thomson Publications. Fresno, CA, USA. 310 p.
- Tofoli, G. R., Velini, E. D., Negrisola, E., Cavenaghi, A. L. e Martins, D. 2009. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha* 27(4):815-821.
- Torres, B. A., Meneghin, S. P., Ribeiro, N. M., dos Santos, P. H. B., Schedenfeldt, B. F. and Monquero, P. A. 2018. Saflufenacil and indaziflam herbicide effects on agricultural crops and microorganisms. *African Journal of Agricultural Research* 13(16):872-885.
- Valent. 2020. Regiment herbicide https://s3-us-west-1.amazonaws.com/agrian-cg-fs1-production/pdfs/Regimentr_Herbicide_Label2w.pdf (Consultado el 1 de noviembre de 2020).
- Vallejos, E. y Soto, A. 1995. Influencia del estado de desarrollo del arroz sobre su tolerancia al fenoxaprop-etilo y sobre la interferencia de la maleza *Ischaemum rugosum*. *Agronomía Costarricense* 19(2):67-73.
- Vencill, W. K. 2002. Herbicide handbook. 8th ed. Weed Science Society of America. Lawrence, KS, USA. 493 p.
- Villanueva, A. J. F. 2006. Control químico de malezas en praderas tropicales. Folleto Técnico Núm. 6. INIFAP. CIRPAC. Sitio Experimental "El Verdineño". Santiago Ixcuintla, Nay., México. 38 p.
- Villarreal, M. y Vargas, W. 1989. Evaluación de dos herbicidas y dos formas de aplicación para el control de zacatón (*Paspalum virgatum*) en potreros. *Agronomía Costarricense* 13(2):183-188.
- Walden, D., Finlayson, C. M., van Dam, R. and Storrs, M. 2000. Managing weeds in tropical wetlands: Wetland risk assessment and *Mimosa pigra*. Internal Report 337. Environmental Research Institute of the Supervising Scientist. Jabiru, Australia. 35 p.

- Walter, H. 2001. Profoxydim: Development of an herbicide from laboratory to field. p. 19-29. *In*: De Prado, R. y Jorrín, J. V. (eds.). *Uso de herbicidas en la agricultura del siglo XXI*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- Willingham, S. D., Falkenberg, N. R., McCauley, G. N. and Chandler, J. M. 2008. Early postemergence clomazone tank mixes on coarse-textured soils in rice. *Weed Technology* 22(4):565-570.
- Yirefu, F., Tafesse, A., Zekarias, Y. and Mengistu, L. 2009. *Handbook of sugarcane pest management in Ethiopia*. Ethiopian Sugar Development Agency Research Directorate. Wonji, Ethiopia. 75 p.
- Zanardo, H. G., Carrega, W. C., Bacha, A. L., Martins, P. F. R. B., Cesarin, A. E., Alves, P. L. C. A. and Godoy, I. J. 2019. Residual effect of commonly used herbicides of sugarcane on pre-emergence of peanut cultivars in succession. *Australian Journal of Crop Science* 13(8):1267-1274.
- Zhang, W., Webster, E. P. and Blouin, D. C. 2005a. Response of rice and barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) to rates and timings of clomazone. *Weed Technology* 19:528-531.
- Zhang, W., Webster, E. P., Blouin, D. C. and Leon, C. T. 2005b. Fenoxaprop interactions for barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control in rice. *Weed Technology* 19(2):293-297.

MANEJO DE LA RESISTENCIA A HERBICIDAS

José A. Domínguez Valenzuela¹, Hugo E. Cruz Hipólito², Enrique Rosales Robles²

¹Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. C. P. 56230. jose_dv001@yahoo.com.mx.

²Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza (SOMECIMA). cruzhipolito@yahoo.com.mx; enrique_77840@yahoo.com

Introducción

La resistencia de malezas a herbicidas es cuando sobrevive una proporción de una población de una especie, después de exposición a una dosis letal para la población normal (LeBaron y Gressel, 1982; Penner, 1994). Los individuos sobrevivientes (R) se reproducen y sus semillas forman parte del banco de semillas en el suelo. A medida que el mismo herbicida, o herbicidas con un mismo modo de acción, se usan varias veces en un ciclo o en varios ciclos de cultivo, la proporción de los individuos R se incrementa, al que la proporción de los individuos normales (S) disminuye. Los individuos R (biotipos), son una consecuencia de un proceso evolutivo (WSSA, S/F). Los herbicidas actúan como una presión de selección. Los herbicidas son la principal herramienta de manejo de malezas en la agricultura mundial (Zhang et al., 2011). Se estima que el mercado global de herbicidas seguirá creciendo en al menos 6% en el periodo 2019-2023 (Technavio, 2019). En México, en 2017, el 66.9% de las unidades de producción fueron tratadas con herbicidas (CEDRSSA, 2020).

En la agricultura mundial; esto es, agricultores e industria, una de las mayores preocupaciones es la evolución del fenómeno de resistencia de malezas a herbicidas. Existen 514 casos únicos de malezas resistentes a herbicidas a nivel mundial (especies x sitio de acción), con 262 especies (152 dicotiledóneas y 110 monocotiledóneas). Hay reportes de resistencia de malezas en 23 de los 26 sitios de acción de herbicidas en 167 herbicidas diferentes (Heap, 2020).

Día con día se agregan nuevos casos de biotipos y especies de malezas resistentes en algún lugar del mundo. En México, existen 13 casos confirmados de malezas resistentes a herbicidas, incluidas *Echinochloa colona* y *Conyza canadensis* (Heap, 2020; Bolaños Espinoza et al., 2001; Palma Bautista et al., 2020, no publicado). Siendo los herbicidas los plaguicidas más utilizados en México, resulta fácil pensar que existen muchas más especies de malezas resistentes a herbicidas, lo que hace falta son más investigadores dedicados a la confirmación del fenómeno y al diseño de estrategias para el manejo de la resistencia.

El objetivo de este trabajo es discutir sobre las estrategias de manejo del fenómeno de resistencia a herbicidas en México.

Malezas resistentes a herbicidas en México

En la página del International Survey of Herbicide Resistant Weeds, de la Weed Science Society of América, se encuentran confirmados 11 casos de malezas resistentes a herbicidas en México (Heap, 2020). *Conyza canadensis* fue confirmada en 2019 (Palma Bautista et al., 2020, no publicado). Adicionalmente, *Echinochloa colona* fue descrita como resistente a propanil en el cultivo de arroz (Bolaños Espinoza, 2001; Esqueda Esquivel y Tosquy Valle, 2013).

Cuando una maleza evoluciona resistencia a un herbicida, la primera reacción del agricultor es utilizar dosis mayores para alcanzar niveles satisfactorios de control. Muchas veces ni con dosis altas de herbicidas es posible lograr un control económicamente satisfactorio de malezas (Esqueda Esquivel y Tosquy Valle, 2013). Con el uso intensivo de herbicidas en los principales cultivos de México, es de esperar que más especies y biotipos de maleza sigan evolucionando resistencia, por lo que es imperativo que más investigadores intervengan en la confirmación y manejo de la resistencia de malezas a herbicidas.

Consecuencias de la resistencia de malezas a herbicidas

Cuando en el campo una maleza se muestra resistente a un herbicida, la primera reacción del agricultor es sospechar de la “calidad” del producto, pero pocas veces reflexiona sobre la calidad de la aplicación o sobre el historial de uso del o los herbicidas que normalmente incluye en su estrategia de manejo, mucho menos si desconoce que las malezas “se pueden volver” resistentes” a uno o varios herbicidas.

Por lo general, al observar deficiencias en el control de una especie dentro del campo de cultivo, el agricultor puede ignorarla y dejar pasar un año más. También, puede reaccionar ejecutando una segunda o tercera aplicación con el mismo herbicida o incrementando la dosis. Otra posibilidad es que el agricultor deje de utilizar ese herbicida, realizando otras prácticas de control o cambiando de ingrediente activo, lo cual apuntaría hacia un manejo del problema.

Para el tiempo en que el agricultor se percata de las fallas en el control, ya las malezas han competido significativamente con el cultivo y seguramente verá sus rendimientos mermados. Por otra parte, el tratamiento realizado no tendrá ningún beneficio, dado que no hubo control, por lo que es un costo más. Entonces, la resistencia a herbicidas implica costos directos por la falta de control y la reducción del rendimiento por competencia de las malezas con el cultivo.

Cuando en un sistema de producción se trata de sustituir al ingrediente activo al que alguna maleza ha evolucionado resistencia, por lo general resulta más caro (Alcántara de la Cruz et al., 2019), siendo muchas veces más del 100%.

Por otra parte, algunos costos ambientales y sociales son resultado de la aparición de malezas resistentes. El uso continuo de herbicidas en sistemas de producción cuya principal herramienta de control son los herbicidas, la diversidad de especies de plantas se ve afectada y consecuentemente todos los organismos asociados a

las plantas. Información científica indica que la intensificación de los sistemas de producción y uso de plaguicidas son los mayores agentes para la pérdida de biodiversidad. Asimismo, que la adopción de cultivos resistentes a herbicidas, lejos de hacer la agricultura más rentable y usar menos herbicidas, afectan la agronomía, la práctica agrícola, el manejo de malezas, y la biodiversidad de varias maneras (Schüte et al. 2017). En la agricultura con cultivos resistentes a herbicidas, a pesar de conocerse la evolución de malezas resistente a herbicidas (*i. e.* algodón resistente a glifosato), el manejo de malezas depende casi exclusivamente de herbicidas y no se usan otras prácticas que permitirían manejar el problema en el mediano y largo plazos.

Los herbicidas y los insecticidas son los plaguicidas que más intoxicaciones causan en el mundo (Vasilescu and Medvedovici, 2005). Marin-Morales et al. (2013), presentan una lista de investigaciones realizadas con varios indicadores para evaluar la toxicidad de los herbicidas, con sus respectivas referencias bibliográficas, siendo evidentes los efectos de herbicidas sobre una variedad de organismos, incluidos los seres humanos.

Entre los costos sociales que la resistencia a herbicidas puede generar está la posible falla de los sistemas de producción (Marsh et al. 2006), por ejemplo, en el caso de cultivos resistentes a herbicidas. En algodón resistente a glifosato, la dosis recomendada es de 3 a 6 litros de producto comercial por ha ($360 \text{ g i. a. L}^{-1}$), y se pueden hacer hasta 2 aplicaciones por ciclo; sin embargo, los agricultores pueden aplicar hasta 4 veces, en caso de que haya fallas en el control principalmente de *Amaranthus palmeri*, el cual es resistente (Domínguez Valenzuela et al., 2017).

La contaminación de aguas superficiales es otro efecto secundario del uso de herbicidas. Dadas las altas cantidades de herbicidas utilizados en las más importantes regiones agrícolas del mundo, México incluido (CEDRSSA, 2020), todas las aguas superficiales están contaminadas por herbicidas (Villeneuve et al., 2014), por lo que sus efectos son una realidad (Marin-Morales et al., 2013).

Manejo de la resistencia a herbicidas

La evolución de la resistencia de malezas a herbicidas resulta del uso repetido, varias veces en un ciclo de cultivo o varios ciclos de cultivo, de un herbicida o de herbicidas con el mismo modo de acción (Brim-Deforest y Perez, 2017). Pese a esta realidad, los cultivos resistentes a herbicidas se siguen expandiendo y las compañías siguen incluyendo nuevos genes de resistencia, lo que originará nuevos biotipos resistentes a múltiples modos de acción.

Con toda la información sobre la evolución de resistencia a herbicidas en malezas, el primer paso, y el más económico, en el manejo del fenómeno tendría que ser la prevención, de acuerdo con el HRCA (S/F). Además, que simplemente cambiando herbicidas no es suficiente para mitigar la resistencia en el mediano y largo plazos. Para el manejo de la resistencia a herbicidas se requiere un sistema sustentable e integrado, adecuado a las necesidades de una finca en particular.

En un sistema de manejo integrado de malezas, hay tres áreas básicas que deben privilegiarse, para reducir la presión de selección que ejercen los herbicidas. El manejo del cultivo, prácticas culturales y herbicidas, utilizadas de manera rotacional y con enfoque integral (HRAC, S/F).

Rotación de cultivos

El monocultivo o rotación de cultivos que dependen de herbicidas con el mismo modo de acción, tienen un alto riesgo para seleccionar malezas resistentes a herbicidas.

La rotación de cultivos ya de por sí implica el uso de prácticas culturales diferentes, habilidad diferencial de competitividad entre especies de cultivo, fechas de siembra y prácticas de preparación de la cama de siembra, que tienen un impacto en la expresión de los biotipos resistentes a herbicidas (HRAC, S/F).

No es fácil para un agricultor decidir una rotación de cultivos, mayormente por las herramientas de manejo de cultivos y por la presión del mercado. Sin embargo, la rotación de cultivos es una de las prácticas más antiguas y efectivas para el manejo de problemas fitosanitarios, de fertilidad y económicos. La rotación permanente de cultivos conlleva un bajo riesgo de evolución de malezas resistentes a herbicidas.

Prácticas culturales

Por lo general las prácticas culturales se asocian al uso de prácticas de labranza del suelo. Las prácticas culturales son prácticas agronómicas rutinarias, no químicas, que hacen al agroecosistema menos favorable para el desarrollo de malezas (Howell y Andrews, 1987). La rotación de cultivos, fechas de siembra, preparación de la cama de siembra, densidad de siembra, arreglos topológicos del cultivo, uso de residuos de cosecha (coberturas muertas), labores de labranza basadas en el conocimiento de la biología de las malezas, siembra a “tierra venida”, etc., son algunas de las prácticas que pueden ayudar en el manejo de malezas resistentes a herbicidas.

La eliminación manual de escapes de malezas resistentes a herbicidas antes de la maduración de sus semillas, ayuda a disminuir los bancos de semillas, así como la siembra a tierra venida, en función de la disponibilidad de riego.

Manejo integrado de malezas

En el manejo integrado de malezas, no se trata de combinar prácticas de control de uno y otro método, sino de diseñar sistemas de manejo de cultivos que no dependan de un solo método de control, sino de la combinación de prácticas que permitan alcanzar los objetivos económicos, ambientales y sociales de los agricultores.

Los herbicidas pueden formar parte de esas estrategias de manejo, pero no ser la base. Sobre todo, el uso de herbicidas debe ser racional y mantener en mente el uso de las dosis recomendadas, las aplicaciones oportunas, la rotación de ingredientes activos y modos de acción, así como alternar entre herbicidas preemergentes y postemergentes.

En el manejo integrado de malezas, el conocimiento de la biología y ecología son la base para el diseño de estrategias exitosas, manteniendo en mente que ningún método o práctica de manejo son 100% efectivos.

Bekie y Harker (2017), proponen las 10 mejores prácticas para el manejo de malezas resistentes a herbicidas, priorizando la diversidad de cultivos (rotación de cultivos, cultivos múltiples, etc.): 1. Diversidad de cultivos, 2. Mejorar la competitividad del cultivo, 3. Inspección de predios antes y después de la aplicación de herbicidas, 4. Uso de múltiples grupos de herbicidas, 5. Rotación de grupos de herbicidas (sitios de acción), 6. Rotación de mecanismos de selectividad de herbicidas, 7. Eliminación de malezas, 8. Manejo de malezas sitio-específico, 9. Labranza estratégica y 10. Adecuado registro de información.

BIBLIOGRAFÍA

Alcántara-de la Cruz, R., Domínguez-Martínez P. A., Martins da Silveira, H., Cruz-Hipólito, H. E., Palma-Bautista, C., Vázquez-García, J. G., Domínguez-Valenzuela, J. A., and De Prado, R. 2019. Management of Glyphosate-Resistant Weeds in Mexican Citrus Groves: Chemical Alternatives and Economic Viability. *Plants* 8, 325; doi:10.3390/plants8090325

Beckie, H. J. Harker, K. N. 2017. Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. *Pest Manag Sci.* 73(6):1045-1052. doi: 10.1002/ps.4543.

Bolaños-Espinoza, A., Villa-Cásarez, J. T. Y Valverde B. E. 2001. Respuesta de *Echinochloa colona* (L.) Link a propanil en áreas arroceras selectas de México. *Revista Mexicana de la Ciencia de la Maleza* 1(2): 21-26.

Brim-Deforest, W. And Perez, G. 2017. How does herbicide resistance evolve? An illustrated guide. UC WEED SCIENCE. <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=23784>

CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria), 2020. Uso y Regulación de Herbicidas en México. Cámara de Diputados. Palacio Legislativo de San Lázaro. CDMX. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/76Herbicidas.pdf>

DeltaPine. 2014. Variedades de algodón 2014. Folleto. 16 p.

Esqueda-Esquivel, V. A. Y Tosquy-Valle O. H. 2013. Control químico de *Echinochloa colona* (L.) Link resistente al propanil y *Cyperus iria* L. en arroz (*Oryza sativa* L.) de temporal en Tres Valles, Veracruz. *Universidad y ciencia* vol.29 no.2. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792013000200002

Heap, I. 2020. International herbicide-resistant weeds database. <http://www.weedscience.com/Home.aspx>. 6 de noviembre de 2020.

HERBICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (HRAC). (S/F). Guideline to the Management of Herbicide Resistance. <http://www.hracglobal.com/>. 9 de Nov. 2020.

Howell, H. N. y Andrews, K. L. 1987. Utilización de prácticas culturales en manejo integrado de plagas. Revista MIP No. 4. pp. 1-16.

LeBaron H.M, Gressel J. 1982. Herbicide Resistance in Plants. Wiley Interscience NYP.

Marin-Morales, M. A., De Campos Ventura-Camargo, B. and Miyuki Hoshina, M. 2013. Toxicity of Herbicides: Impact on Aquatic and Soil Biota and Human Health. In:Herbicides. Current Research and Case Studies in Use. Edited by. Price A. and Kelton, J. 2013. DOI: 10.5772/55851. <https://www.intechopen.com/books/herbicides-current-research-and-case-studies-in-use>

Marsh, S. P., Llewellyn, R. S. and Powles, S. B. 2006. Social Costs of Herbicide Resistance: the Case of Resistance to Glyphosate. International Association of Agricultural Economists Conference, Gold Coast, Australia. Poster paper. <https://core.ac.uk/download/pdf/6653452.pdf>

Penner D. 1994. Herbicide action and metabolism. In: Turf Weeds and their Control. Madison, WI: American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. pp. 37–70

Schütte, G., Eckerstorfer, M., Rastelli, V. et al. 2017. Herbicide resistance and biodiversity: agronomic and environmental aspects of genetically modified herbicide-resistant plants. Environ Sci Eur 29, 5. <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0100-y>

TECHNAVIO, 2019. Global Herbicides Market 2019-2023. https://www.technavio.com/report/global-herbicides-market-industry-analysis?utm_source=pressrelease&utm_medium=bw&utm_campaign=t12wk24&utm_content=IRTNTR30758. 6 de noviembre de 2020.

Vasilescu, M.N. Medvedovici, A.V. Herbicides. 2005. Encyclopedia of Analytical Science. 2nd ed. Elsevier, Oxford, p. 243-260, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00256-9>

Villeneuve A., Larroude S., and Humbert J.F. 2014. Herbicide Contamination of Freshwater Ecosystems: Impact on Microbial Communities. Institut Pasteur, Collection des cyanobactéries, Paris INRA, UMR Bioemco, Site de l'ENS ASCONIT Consultants, Lyon France. InTech. DOI: 10.5772/13515.

WSSA. S/F. Herbicide resistance. <http://wssa.net/wssa/weed/resistance/>. 6 de Nov. 2020.

Zhang, W., Jiang, F., OU, J. 2011. Global pesticide consumption and pollution: with Chinas as a focus. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, v. 1(2), p.125-144.