
MANEJO DE MALEZAS PARA PAÍSES EN DESARROLLO

HERBICIDAS

J.C. Caseley

Introducción

El enfoque principal del presente libro es sobre los métodos no químicos de manejo de malezas, pero en muchas situaciones los herbicidas ofrecen los medios más efectivos para el control de éstas.

En los países industrializados los herbicidas se aplican sobre el 85-100% de todos los cultivos principales. Así, para el Reino Unido Green *et al.* (1987) estiman que una libra esterlina gastada en pesticidas genera un ingreso adicional de cinco libras. Más recientemente, este margen se habría reducido con la reducción de los subsidios de la Comunidad Europea (CE), pero la producción agrícola en los países industrializados continuará dependiendo grandemente del uso de los herbicidas.

En países menos desarrollados, el precio relativamente bajo obtenido por los productos agrícolas en los mercados mundiales y el bajo costo de la mano de obra reducen los beneficios económicos del uso de herbicidas. Finney (1988) predijo que la necesidad de la intensificación de la agricultura, como consecuencia del alto nivel de crecimiento de la población, aumentará el uso de herbicidas. El también indicó que en los EE.UU. los precios de los herbicidas cayeron entre 1985-1987 debido principalmente al incremento de la competencia por la distribución del mercado y al vencimiento de patentes. La India y la República Popular de China están incluídos entre los primeros 12 países por ventas de herbicidas y ambos países están fabricando y exportando herbicidas que ya tienen patente vencida. Los precios reducidos y la producción local estimularán el uso de herbicidas en los países menos desarrollados.

Usados juiciosamente, dentro de un sistema integrado de manejo de malezas, los herbicidas son de uso seguro para el agricultor y de riesgo mínimo para el medio ambiente. Desde nuestro punto de vista, los herbicidas jugarán un papel cada vez más importante en el manejo de malezas en los países en desarrollo en un futuro predecible. Las secciones de este libro sobre malezas y cultivos individuales ofrecen detalles sobre la integración de los herbicidas en los sistemas de producción de los cultivos. El objetivo de este Capítulo es de apoyar a estas secciones con información sobre el modo de acción, propiedades, y aplicación de los herbicidas, que contribuirá a su uso práctico, seguro y efectivo.

Antecedentes

Las sales inorgánicas, tales como sulfato de cobre, se usaron para el control de malezas de hoja ancha en cereales hacia fines del siglo 19, pero el primer herbicida orgánico: DNOC (dinitro-ortocresol), no fue introducido hasta 1932. El uso extensivo de herbicidas de dosis relativamente bajas (1-2 kg i.a./ha) comenzó en 1945 con el lanzamiento de los herbicidas reguladores de crecimiento 2, 4-D y MCPA. El éxito de éstos condujo a una intensificación de la investigación y las inversiones, lo cual, a su vez, produjo nuevos grupos de herbicidas y compuestos en desarrollo. Se han descubierto nuevos grupos de herbicidas mediante la selección al azar en el invernadero y la

subsiguiente modificación química (Tabla 1).

Tabla 1. Numero de herbicidas por grupos que han surgido de toxíforos individuales (según Parry 1989).

descubrimiento del 1er herbicida en el grupo	Grupo de herbicidas	número actual de herbicidas en el grupo
1945	fenoxiacéticos	17
1954	carbamatos	16
1956	triazinas	29
1965	dinitroanilinas	22
1970	difeniléteres	29
1980	sulfonilureas	16

En la edición de Weed Abstracts de mayo de 1993 se relacionan más de 300 ingredientes activos y alrededor de 200 están comercialmente disponibles, a escala mundial, aunque no todos se venden en todos los países. Algunos de los compuestos relacionados no ha sido comercializados por motivos económicos, ambientales o toxicológicos, mientras que otros se han retirado o no se han vuelto a registrar. Por ejemplo, el herbicida barban, para avena silvestre, ha sido sustituido por herbicidas más efectivos, mientras que el 2, 4, 5-T se ha retirado de muchos mercados debido a la toxicidad de un contaminante, la dioxina, encontrado en algunas muestras.

Registro y aprobación

Los países industrializados y muchos en desarrollo actualmente desarrollan esquemas de registro para los plaguicidas, y, organizaciones internacionales, tales como el Grupo Internacional de Asociaciones Nacionales de Fabricantes de Agroquímicos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de las Naciones Unidas, han elaborado guías detalladas de los datos que se exigen para el registro, incluyendo la toxicología, la posible acumulación en el suelo y en las cadenas alimenticias y los tiempos de su descomposición.

Toxicología. Antes de que un nuevo herbicida pueda venderse en cualquier país, tienen que suministrarse datos adecuados que demuestren que es seguro para que sea manipulado por el operador, y que los consumidores de los cultivos tratados no están bajo riesgo. Las toxicidades relativas se pueden comparar en forma de DL₅₀ oral o dérmica aguda para ratas (dosis ingerida o absorbida a través de la piel que es letal en el 50% de un grupo de animales uniformes). Mientras que la DL₅₀ aguda para ratas es útil para establecer comparaciones generales entre compuestos, es ampliamente aceptado que presenta limitaciones y, por lo tanto, no se puede asumir que una alta (segura) LD₅₀ para ratas sea segura para los humanos. Consecuentemente, también se realizan pruebas toxicológicas con otros mamíferos, incluyendo perros y primates. Con pocas excepciones, tal como paraquat, la mayoría de los herbicidas son de muy baja toxicidad (ver Tabla 2), presentando muchos compuestos valores de DL₅₀ superiores a productos comunmente consumidos, incluyendo aspirina, cafeína y sal común. La formulación de un herbicida puede afectar su DL₅₀. Así, bromoxynil es más tóxico que bromoxynil octanoato.

Una parte de los herbicidas que se aplican al cultivo, o al suelo en el que está creciendo, puede estar presente en la parte cosechada del cultivo, que puede ser consumido directamente o a través de productos animales. Se determinan los residuos del herbicida original y sus metabolitos en los cultivos y, basado en datos de estudios a largo plazo de alimentación

animal, se estima el "nivel el nivel en que no se observa efecto alguno" (NOEL). Este se utiliza para derivar una "ingestión diaria aceptable" (ADI). Basado en estos datos de residuos, se establecen restricciones sobre qué cultivos que pueden ser tratados y sobre intervalos mínimos entre tratamiento y cosecha. En muchos países existe legislación para controlar los niveles máximos de residuos (MRL) de plaguicidas en alimentos humanos y animales, así como en los cultivos. Los herbicidas son los plaguicidas más usados en la Comunidad Europea, pero menos del 10% de los plaguicidas incluidos en la legislación sobre MRL son herbicidas. Esto refleja la baja toxicidad para los mamíferos de la mayoría de los herbicidas (Tabla 2), que son relativamente específicos en su acción a los procesos vegetales (Tabla 6). Los herbicidas son propensos a la descomposición en los microbios, plantas y animales y no son comunes los problemas de residuos de herbicidas si se utilizan de acuerdo a las instrucciones de las etiquetas.

Tabla 2. Toxicidad en los mamíferos de herbicidas representativos y productos químicos de referencia comunes en orden decreciente de DL50. oral aguda para ratas - mg/kg de peso corporal (adaptado de Worthington y Hance 1991 y Graham-Bryce 1989)

Herbicida	DL ₅₀	Herbicida	DL ₅₀
Toxicidad alta*			
Paraquat	120	Endotal amina	206
Bromoxynil	190	Diquat	231
Bromoxynil octonoato	to 365	Cyanazina	288
Toxicidad moderada*			
Diclofop-metil	563-693	Propanil	1870
2, 4-D sal sódica	666-805	Glufosinato	2000
2, 4-D isopropil	700	Fenoxaprop-etil	2357
CDA	750	Metolachlor	2828
MCPA	800	Atrazina	3080
Metribuzin	1090	Diuron	3328
EPTC	1652	Fluazifop-butyl	3330
Alachlor	1800	Acifluofen	3460
Baja toxicidad*			
Asulam	>5000	Imazethapyr	>5000
Dalapon	>5000	Simazina	>5000
Glifosato	>5000	Sulfometuron-metil	>5000
Productos químicos comunes	DL₅₀	Toxicidad*	
Nicotina	50	Muy alta	
Cafeína	200	Alta	
Aspirina	1750	Moderada	
Sal común	3000	Moderada	

* Adaptado de guías de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE. UU..

Organismos no objeto de la aplicación, suelo y agua. Además de determinar los posibles efectos adversos sobre los humanos, el registro exige estudios toxicológicos sobre ciertas especies de aves, peces e invertebrados. Estos estudios tienden a realizarse en sistemas dinámicos de laboratorio, con algún seguimiento en estudios de campo. Estos incluyen

pruebas de alimentación de toxicidad aguda y evaluaciones del efecto del herbicida sobre la reproducción. También se incluyen los efectos sobre lombrices de tierra y sobre la microflora.

El destino y la persistencia del herbicida en el suelo, su potencial para contaminar las aguas superficiales y subterráneas, son de importancia clave en relación con la fitotoxicidad para los cultivos subsiguientes y para la calidad del agua de beber. Los estudios de laboratorio aportan información básica, incluyendo solubilidad en agua, así como las propiedades de adsorción/desorción, lixiviación, velocidad de hidrólisis y de degradación microbiana en el suelo.

Los estudios de campo son esenciales para las instrucciones de las etiquetas, ya que la actividad, persistencia y movilidad del herbicida son afectados por factores climáticos, edáficos y agronómicos.

Conclusiones. El proceso de registro va dirigido a asegurar que los herbicidas, usados de acuerdo a las instrucciones de las etiquetas, sean relativamente seguros para el usuario, para los organismos no objeto de la aplicación y para el medio ambiente. Sin embargo, todos los herbicidas son venenosos en alguna medida y tienen que ser almacenados, manipulados y usados cuidadosamente. Para más información vea el "Código Internacional de Conducta sobre la Distribución y Uso de Plaguicidas", FAO, Roma.

Nombres de herbicidas

Las etiquetas de herbicidas comerciales comunmente relacionan tres nombres, que se ilustran aquí con referencia a glifosato:-

1. El nombre químico describe la composición química del compuesto, por ejemplo: N-(fosfonometil) glicina.
2. El nombre común "glifosato" está aprobado por autoridades apropiadas, incluyendo el Instituto Británico de Estándares (BSI), la Sociedad Americana de Ciencia de Malezas (WSSA) y la Sociedad Internacional para la Estandarización (ISO). A veces se aprueba por diferentes autoridades más de un nombre, por ej. "endotal" (BSI) y "endotal" (WSSA).
3. El nombre comercial "Roundup" se usa con los propósitos de mercadeo y registro de la patente del producto. La compañía que desarrolló el producto tiene el uso exclusivo del mismo durante los 17 años que siguen a la aprobación de la patente.

La compañía Monsanto tiene varios nombres comerciales para el glifosato en dependencia de la formulación y el uso. "Roundup" y "Sting" contienen, respectivamente, 360 y 240 g e.a.* /l de la sal mono (isopropilamonio) de glifosato, más tensoactivo o surfactante.

* e.a. equivalente ácido (ver Formulaciones y mezclas)

En este libro se usan los nombres comunes aprobados por BSI, WSSA o ISO.

Clasificación de los herbicidas. Existen varias formas de clasificar los herbicidas, incluyendo como se usan, sus propiedades químicas y su modo de acción.

Método de uso. Los herbicidas se pueden aplicar al follaje o al suelo. Los que se aplican al follaje y afectan solamente la parte tratada se describen como herbicidas de contacto,

mientras que aquellos que se trasladan fuera del follaje tratado hacia un punto de acción en otro lugar de la planta se denominan herbicidas sistémicos. Los herbicidas de aplicación al suelo que generalmente afectan la germinación de las malezas, tienen que persistir por algún tiempo para ser efectivos y se denominan herbicidas residuales. Algunos herbicidas residuales tienen acción de contacto y afectan las raíces y los tallos en la medida en que emergen de la semilla, mientras que otros entran en la raíz y las partes subterráneas de la planta y se translocan a su punto de acción.

Tanto el tratamiento foliar como el tratamiento al suelo se describen en función del momento de aplicación y del desarrollo del cultivo.

Los tratamientos de **pre-plantación** se aplican antes de la plantación del cultivo.

Los tratamientos de **Pre-plantación incorporada** se refieren solamente a herbicidas activos en el suelo, aplicados antes de la plantación del cultivo y de la emergencia de las malezas e incorporados al suelo mediante labranza poco profunda.

Los tratamientos de **pre-emergencia** se realizan siempre antes de la emergencia de las malezas. Esto pueden o no ser antes de la emergencia del cultivo.

Los tratamientos de **post-emergencia** se aplican después que el cultivo y (generalmente) las malezas han emergido, pero en cultivos trasplantados el herbicida puede aplicarse antes de la emergencia de las malezas.

Las aspersiones **Post dirigidas** se aplican después de la emergencia de las malezas y los cultivos, pero evitando el contacto del asperjado con los últimos.

Selectividad. La selectividad del cultivo y el espectro de control de malezas se usan a menudo en la clasificación de herbicidas, por ej., herbicidas para cereales y herbicidas para malezas de hoja ancha.

La clasificación mediante la descripción de las **propiedades químicas** y el **modo de acción** brinda un fundamento para comprender el comportamiento y la sintomatología en la planta de los herbicidas y en el presente capítulo se utiliza este enfoque (Tablas 6 y 7).

Formulación, mezclas y coadyuvantes

Formulación. Los herbicidas se fabrican en forma relativamente pura, que se denomina herbicida de grado técnico. Este puede ser sólido o líquido, y raramente es adecuado para ser usado así en el campo. Por ejemplo, el herbicida para avena silvestre difenzoquat se fabrica en la forma de sulfato de metilo y es fácilmente soluble en agua (765 g/l), pero la solución acuosa de difenzoquat no tiene actividad herbicida a menos que se agregue un tensoactivo o surfactante no-iónico a la solución. El tensoactivo o surfactante facilita la retención y penetración del herbicida y se incorpora en el producto comercial, que es un **concentrado soluble**. El producto formulado de todos los herbicidas aplicados mediante asperjadoras tiene que ser soluble o miscible, en un vehículo conveniente, que es generalmente agua. Además de presentar buenos resultados en el campo, tiene que ser estable durante el transporte y almacenaje y ser capaz de soportar situaciones climáticas extremas.

Al igual que los concentrados solubles, se formulan compuestos solubles en agua en forma de **granulados dispersables en agua**, que contienen sólidos molidos finamente combinados con agentes de suspensión y dispersantes (tensoactivos o tensoactivo o surfactantes). Se pueden echar directamente en el tanque de la asperjadora y verter limpiamente desde el envase (por ej., metsulfuron-metil).

En el caso de compuestos con baja solubilidad, el ingrediente activo puede molerse hasta convertirlo en un polvo, mezclarlo con un portador inerte y un tensoactivo o surfactante y ser vendido como un **polvo humedecible o humectable** (por ej., ver formulaciones de simazina). Este tipo de formulación comúnmente se mezcla con una pequeña cantidad de agua para formar una mezcla pastosa, antes de echarlo en el tanque de la asperjadora. Los polvos humedecibles han sido desplazados en gran medida por los **concentrados suspensibles**, también conocidos como "**flowables**", en los cuales el ingrediente activo finamente molido se mezcla con tensoactivos y, en algunos productos, con otros solventes no tóxicos. Este tipo de formulación es más fácil y seguro de manipular que el polvo humedecible y se mezcla más fácilmente con el agua en el tanque de la asperjadora.

Los ingredientes activos insolubles en agua, especialmente aquellos que son de aplicación foliar, se pueden disolver en un solvente orgánico, como el xileno, y mezclar con tensoactivos para formar un **concentrado emulsionable**. Estos se dispersan en agua para formar emulsiones oleosas en agua, las cuales tienen una apariencia lechosa típica (por ej.: fluazifop-butil).

Por motivos de seguridad del operador y de impacto ambiental, se están sustituyendo los solventes orgánicos sintéticos por concentrados emulsionables basados en aceite vegetal y por novedosas formulaciones basadas en agua, como los "sistemas de estructurados de tensoactivo o surfactante".

Mientras que la mayoría de los herbicidas se formulan para ser aplicados mediante asperjadora con agua como vehículo, un limitado número de ingredientes activos se aplican como formulaciones secas, en forma de **granulados**. Estos son partículas pequeñas, generalmente de menos de 10 mm³ de tamaño, y, típicamente contienen concentraciones de ingrediente activo entre 2% y 20%. Comúnmente se usa un aplicador de granulados tirado por tractor o de tipo mochila, pero algunos granulados son apropiados para ser dispersados manualmente y son útiles en fincas pequeñas, donde no hay equipos de aplicación disponibles.

La formulación de herbicidas volátiles como granulados retarda la pérdida del ingrediente activo como gas (por ej., triallate). Los herbicidas volátiles aplicados en agua como vehículo requieren de su incorporación al suelo para lograr una actividad aceptable.

Varios herbicidas (por ej., 2, 4-D) son ácidos débiles y reaccionan con bases para formar sales y con alcoholes para formar ésteres. Las sales son solubles en agua, insolubles en aceite y tienen baja volatilidad, mientras que los ésteres son insolubles en agua, solubles en aceite y tienden a tener alta volatilidad. Los ésteres generalmente tienen una actividad herbicida superior a las sales, pero su alta volatilidad puede provocar daños a plantas que se encuentran fuera del área a tratar. Los ésteres de la mayoría de otros grupos de herbicidas, incluyendo los ésteres de ácido ariloxifenoxialcanoico (por ej. fenoxaprop-etil) no son volátiles.

El contenido de ingrediente activo (i.a.) se expresa sobre la etiqueta del producto como g i.a./peso o volumen del producto y/o como % i.a. p/p (peso del i.a. como % del peso de i.a. + portador + formulantes). A menudo se describe el i.a. de las formulaciones de éster y sal de ácidos débiles como e.a. (equivalente ácido), ya que el ácido es el ingrediente fitotóxico liberado en la planta.

Mezclas. Mientras que algunos productos son formulaciones de un solo ingrediente activo (por ej., glifosato), la mayoría de los productos formulados son mezclas de dos o más ingredientes activos. Las mezclas aumentan el espectro de malezas controladas y/o combinan la actividad de contacto o sistémica con la residual (por ej., 2, 4-D más atrazina). En

los productos formulados, los componentes de la mezcla han sido evaluados por su compatibilidad física y química en el tanque de aspersión, por efectos adversos sobre la fitotoxicidad contra las malezas y por su selectividad en los cultivos.

Las mezclas de tanques consisten en la unión en el tanque de aspersión de dos o más productos herbicidas formulados independientemente y otros plaguicidas. Los beneficios de las mezclas de tanque son los ahorros que se pueden hacer en el tiempo consumido para la aplicación y menor cantidad necesaria del vehículo del asperjado (agua). Además, a menudo dosis reducidas de los herbicidas individuales son efectivas. Sin embargo, algunas mezclas han resultado antagónicas. Así, la actividad graminicida de haloxyfop-metil contra *Sorghum halepense* (L.) Pers. es antagonizada por acifluorfen y bentazon, mientras que los herbicidas fenoxi reducen el control de *Avena fatua* L. por diclofop-metil. Algunas mezclas de tanque aumentan la fitotoxicidad y pueden dañar al cultivo: por ejemplo, los insecticidas organofosforados y carbamáticos bloquean el metabolismo de propanil en arroz. Es de la mayor importancia cumplir las instrucciones de las etiquetas con respecto a las mezclas de tanque, y si se contemplan mezclas "no incluídas en la etiqueta", se debe evaluar su efectividad y seguridad para el cultivo antes de su uso rutinario. Como regla general, surgen más problemas con las mezclas de tanque de herbicidas de aplicación foliar que con los de aplicación al suelo.

Coadyuvantes. Los productos herbicidas comúnmente contienen tensoactivos o surfactantes y otros componentes para asegurar buenas características de almacenaje y facilitar su mezcla con el agua en el tanque de la asperjadora. Estos formulantes también ayudan a la retención sobre y la penetración dentro de las malezas objeto de la aplicación. Para ciertas malezas y bajo determinadas condiciones climáticas, se puede aumentar la acción del herbicida mediante tensoactivos o tensoactivo o surfactantes o coadyuvantes oleosos, que se mezclan en el tanque con el herbicida.

Las moléculas de los tensoactivos o surfactantes tienen dos partes diferenciadas. El extremo lipofílico generalmente está compuesto de estructuras en forma de largas cadenas hidrocarbonadas o de anillos benzénicos y posee baja solubilidad en agua y alta solubilidad en aceite. La parte hidrofílica tiene una fuerte afinidad por el agua. Existen tres tipos principales de tensoactivos o surfactantes, determinados por la estructura química de la porción hidrofílica de la molécula. Los amónicos y catiónicos se ionizan en agua para formar sustancias cargadas negativa y positivamente, respectivamente. Los tensoactivos más ampliamente usados son los no iónicos, que son fáciles de usar y no son afectados por aguas duras. Los tensoactivos disminuyen la tensión superficial de las gómulas del asperjado y aumentan su cobertura sobre la superficie del follaje.

Comúnmente concentraciones de los tensoactivos o surfactantes de alrededor de 0.1% del volumen del vehículo optimizan la retención y cobertura de las gotas del asperjado, pero la máxima acción del herbicida a menudo se alcanza con mayores concentraciones. La actividad de difenzoquat contra *Avena fatua* se maximiza a 0.5% de tensoactivo no iónico, óxido de alquil-fenol-etileno "Agral". El incremento de la actividad está asociada a una mejor penetración del ingrediente activo. Cuando se usa una dosis reducida de un producto, se reduce la concentración del ingrediente activo y de los formulantes en la solución de aspersión y, a menudo es necesario, especialmente con graminicidas, agregar tensoactivo o coadyuvante oleoso para asegurar una adecuada retención, cobertura y penetración.

Los aceites vegetales contienen de 1 a 2% de tensoactivos o surfactantes y los concentrados de aceite vegetal contienen 15-20% de éstos y se usan a alrededor de 5 y de 1% del volumen de aspersión, respectivamente. Los componentes oleosos pueden ser de origen mineral o vegetal. Ellos son, a menudo, los mejores coadyuvantes para herbicidas con baja solubilidad en agua, y se usan, por ej., con

graminícidas, como fluazifop-butil, y con herbicidas de acción en el suelo, como diuron, para mejorar su actividad foliar.

A veces se logra un incremento de la actividad del herbicida mediante la adición de fertilizante. Suwunnamek y Parker (1975) encontraron que sulfato de amonio mejoró significativamente la fitotoxicidad de glifosato contra *Cyperus rotundus* L.

Un coadyuvante inadecuado puede provocar la pérdida de la actividad fitotóxica y/o daños al cultivo, y por lo tanto, sólo deben usarse los coadyuvantes recomendados en la etiqueta del producto para cada herbicida, maleza y situación de cultivo, o por un asesor local experto. Se recomienda enfáticamente la evaluación de los coadyuvantes bajo condiciones locales. Vea a Holloway (1993) por una amplia reseña sobre formulaciones y coadyuvantes.

Aplicación

Introducción. Los herbicidas generalmente se aplican en solución o suspensión acuosa, como una nube de gómulas dirigida hacia el objetivo de la aplicación. La concentración del ingrediente activo en la solución de aspersión varía típicamente desde 0.1 a 10% y el volumen de aplicación desde 100 hasta 400 l/ha, dependiendo del producto y del método de aplicación. Sin embargo, con la aplicación mediante discos giratorios, a veces se usan volúmenes de hasta 10 l/ha y concentraciones de hasta 50%.

Características de la aspersión. Dos de los factores más importantes que determinan la efectividad de la aspersión son el rango o espectro de tamaño de las gómulas y la cobertura del objetivo por el asperjado (Tabla 3).

Las gotas pequeñas producen muy buena cobertura y se adhieren bien a superficies que son difíciles de mojar, como las hojas cerosas de gramíneas, pero están expuestas a la deriva (arrastre) y se evaporan rápidamente, especialmente a baja humedad relativa. Las gotas mayores tienden a rebotar y desprenderse de superficies "difíciles de mojar", pero, en este caso la deriva y la evaporación son un problema menor. Gómulas menores de 100 µm de diámetro caen con relativa lentitud y, por lo tanto, son arrastradas por el viento y pueden causar daños severos a los cultivos susceptibles adyacentes y a la vegetación no objeto de la aplicación. No existe un tamaño de gómula ideal para controlar las malezas en el campo, ya que diferentes especies varían en las características de tamaño, hábitos, ángulo de la hoja, superficie foliar y en su posición en la copa. Para lograr una buena cobertura de estos objetivos diversos es mejor un amplio rango o espectro de tamaños de gómulas y la correcta selección de las boquillas de aspersión generalmente cumple este requisito.

Tabla 3. Densidad de gómulas cuando se asperja un litro uniformemente sobre 1 ha (según Matthews 1992).

Diámetro de gómula µm	Numero de gómulas/cm ²
20	2387
50	153
100	19
200	2.4
400	0.3

Asperjadoras de tipo mochila. El equipo más extensamente usado para aplicar herbicidas es la asperjadora de tipo mochila, accionada por palanca. Está consiste de un tanque

plástico, o menos comunmente de metal, que se situará de forma erecta sobre el suelo para su llenado y que se ajusta cómodamente sobre la espalda del operador. La capacidad del tanque típicamente varía de 10 a 20 litros, pero el peso total de la mochila llena no debe exceder de 20 kg.

Para facilitar el llenado y la limpieza, el tanque debe tener una apertura amplia (90-100 mm de diámetro), que a menudo tiene acoplado un filtro grueso. La tapa debe tener un ajuste hermético y debe poseer un respiradero, con una válvula para evitar goteo del líquido de aspersión.

Las mochilas accionadas por palanca las llevan por encima o por debajo del brazo. Las primeras son más fáciles de operar cuando se camina a través de vegetación alta, que se cruza sobre el entresurco, pero su uso es muy fatigoso y son más comunes las palancas debajo del brazo. La palanca acciona una bomba de tipo diafragma o de pistón. Las primeras son preferidas para bombear materiales abrasivos, como los polvos humedecibles, y las últimas se recomiendan para aspersiones de alta presión.

La bomba de diafragma accionada por palanca es más usada para aplicación de herbicidas y típicamente es operada a presiones entre 100 y 300 K Pa (1 y 3 bar). Para mantener la presión de operación en la cámara la palanca debe ser accionada regularmente (aproximadamente 30 brazadas/minuto), pero si se usa un aguilón (boom) multiboquillas o una boquilla de alta entrega de líquido se debe aumentar la frecuencia del bombeo. Se mantiene una presión constante dentro de la cámara de presión mediante una válvula de escape de presión, que en algunas mochilas se puede ajustar cuando se requieren presiones de aspersión alternativas.

Otro tipo de asperjadora de mochila es la de compresión o neumática, en la cual se presuriza el tanque con una bomba de aire antes de la aplicación. Se deja un espacio de aproximadamente 25-35% de espacio de aire sobre el líquido y la bomba de aire, a menudo, se acopla a la tapa. Las desventajas de este tipo de aspersión incluyen: la caída de la presión en la medida que el líquido se va distribuyendo y que se tiene que tener gran cuidado al desenroscar la tapa para aliviar la presión interna del tanque.

Selección de boquillas. Las funciones de la boquilla son las de dividir el líquido en gómulas, formar el patrón de aspersión y controlar el flujo del líquido. Las boquillas pueden ser: de abanico (fan-jet), de cono y de inundación o de impacto (flood-jet). Las boquillas de abanico y de inundación (flood-jet) son las más usadas para aplicación de herbicidas. El patrón producido por una boquilla de abanico tiene un borde ahusado (adelgazado) formado por el líquido al ser forzado a través de un orificio elíptico (Fig.

1). La desintegración aleatoria de la lámina de aspersión que surge del orificio de la boquilla produce un amplio espectro de gómulas. Se obtiene una distribución uniforme cuando se usa más de una boquilla, mediante el traslape o superposición de las bordes adelgazados de las boquillas individuales.

El patrón no uniforme de la boquilla de abanico plano la hace inadecuada para ser usada de forma independiente. Con asperjadoras accionadas manualmente, a menudo se usan las boquillas de punta de "aspersión uniforme" (even spray), las cuales producen una distribución uniforme del líquido a través de su patrón de depósito (Fig.

1). Este tipo de boquilla es especialmente adecuada para aplicaciones en bandas. Las boquillas de inundación, también conocidas como deflectoras o de yunque (flood-jet), poseen una aspersión plana de ángulo ancho, que resulta de un chorro recto chocando sobre una superficie deflectora (Fig. 1). Generalmente producen una aspersión gruesa con un depósito bastante uniforme, y con un bajo riesgo de deriva. Estas boquillas están diseñadas para trabajar a presiones bajas (100 K Pa) y solamente se pueden acoplar a asperjadoras con válvula aliviadora de presión. Las boquillas de cono, usadas con asperjadoras de mochila producen un patrón de depósito de aspersión de cono hueco y generalmente son operadas a

presiones más altas que las boquillas de abanico plano o de tipo deflectoras (de inundación o flood-jet). Se usan principalmente con fungicidas e insecticidas.

La calidad de la aspersión, o rango de tamaño de gotas, se hace más fina en la medida que el tamaño del orificio de la boquilla de abanico se reduce, y aumentan el ángulo de la boquilla y la presión de aplicación. Inversamente, la calidad de la aspersión se hace más gruesa en la medida que se aumenta el diámetro de orificio y se reducen el ángulo de la boquilla y la presión de aplicación.

Los espectros de gómulas comúnmente se describen mediante el diámetro de la mediana del volumen (DMV), calculado matematicamente, que da un diámetro único. Las boquillas se clasifican, de acuerdo con su calidad de aspersión (DMV) en las categorías de "finas", "medias" y "gruesas" para usos normales, y "muy finas" y "muy gruesas" para usos especiales, por ejemplo, máquinas nebulizadoras y fertilizadoras, respectivamente. En la Tabla 4 se muestran algunas características de diferentes calidades de aspersión.

Tabla 4. Efectos de la calidad de la aspersión sobre la retención, la deriva y el uso.

Calidad de aspersión	Tamaño de gota* m	Retención sobre superficies foliares difíciles de mojar	Usado para	Peligro de deriva
Fina	101-200	buena	buen cobertura	medio
Media	201-300	buena	mayoría de los productos	bajo
gruesa	>300	moderada	herbicidas de suelo	muy bajo

* diámetro de la mediana de volumen de las gotas

Las boquillas se fabrican de bronce, plástico, acero inoxidable o cerámica y este orden, de formas ascendente, refleja su costo y resistencia al desgaste. El riesgo de tupiciones se reduce acoplando filtros de malla fina (300 m de apertura) en el cuerpo de la boquilla. Estas se deben inspeccionar regularmente por su desgaste y se deben sustituir al menos anualmente.

Las **lanzas manuales** incluyen un mecanismo de gatillo y un filtro y, en algunos casos una pieza en forma de T, para acoplar una válvula de presión, especialmente útil en una asperjadora de compresión, que alerte al operador cuando se produce una caída de la presión. En dependencia del uso pretendido la lanza puede acoplarse a una sola boquilla o a un aguilón (boom) portando tres o cuatro boquillas.

Calibración de asperjadoras de tipo mochila. Es imprescindible calibrar la asperjadora antes de usarla, usando agua limpia como solución de aspersión. Se deben determinar tres factores básicos al calibrar la asperjadora: la velocidad de traslado, el caudal de la boquilla (según tipo y presión de aplicación) y el ancho de la estela.

La velocidad de traslado se debe determinar sobre una superficie con vegetación similar a la que será tratada. Una velocidad típica de caminar asperjando es de 1 m/seg o 3.5 kph. El caudal de la boquilla se debe determinar recogiendo y midiendo el volumen de líquido de aspersión emitido en 1 minuto. Cuando se usan asperjadoras accionadas por palanca, ésta se debe accionar uniformemente, con brazadas completas, con el fin de mantener una presión lo más uniforme posible. Si tiene acoplada válvula de regulación de presión, ésta se debe colocar en un valor adecuado para la boquilla.

El ancho de estela es la distancia de aspersión efectiva cubierta por la boquilla o

aguilón (boom) acoplado. El ancho de aspersión de una sola boquilla de abanico (fan-jet) es típicamente estrecha, mientras que con una sola boquilla de inundación o deflectora (flood-jet) se obtiene un ancho de estela mayor. Habiendo determinado el caudal de la boquilla en litros/minuto, conociendo el ancho de estela y la velocidad de traslado, se puede calcular el volumen de aplicación (o solución final) por unidad de área.

$$\frac{\text{caudal (l / min)}}{\text{estela (m)} \times \text{velocidad (m / min)}} = \text{volumen de aplicación (l / m}^2\text{)}$$

Este valor se multiplica por 10 000 para obtener l/ha.

Así, con un ancho de estela de 1 m, una velocidad de traslado de 60 m/min y un caudal de boquilla de 0.6 l/min, el volumen de aspersión por hectárea es:

$$\frac{0.6 \text{ l / min}}{1 \text{ m} \times 60 \text{ m / min}} \times 10,000 = 100 \text{ l / ha}$$

Si el volumen de aplicación (solución final) es inadecuado, se pueden hacer ajustes pequeños variando la velocidad de traslado y/o la presión. Ajustes mayores exigen cambio de boquillas.

Para calcular la cantidad de producto comercial a echar en el tanque de la asperjadora, tome la dosis recomendada de la etiqueta del producto (l o kg/ha) y multiplique por el volumen del tanque de la asperjadora (o por el volumen de aspersión necesario si es menor que un tanque lleno). Este valor se divide entre el volumen de aplicación en l/ha (ver arriba),

$$\frac{\text{dosis (l o kg / ha)} \times \text{volumen del tanque (litros)}}{\text{volumen de aplicación}}$$

por ejemplo, si la dosis del herbicida es de 2.5 l/ha de producto comercial, la capacidad del tanque es de 20 l y el volumen de aplicación es de 100 l/ha, el volumen de producto comercial a echar en el tanque es:

$$\frac{2.5 \text{ l / ha} \times 20 \text{ l}}{100 \text{ l / ha}} = 0.5 \text{ l de producto comercial}$$

Así, se deben añadir 0.5 l del producto a 19.5 l de agua en el tanque de la asperjadora. Muchas recomendaciones de herbicidas se ofrecen en dosis de ingrediente activo por hectárea. En los cálculos anteriores, se debe multiplicar la dosis de ingrediente activo por:

$$\frac{100}{\% \text{ de ingrediente activo}}$$

para obtener el peso o volumen de producto comercial requerido.

Mezclado de la solución de aspersión y llenado de la asperjadora. Los lugares de mezclado deben estar bien alejados de las vías o cuerpos de agua y otras áreas ambientalmente sensibles.

- Lea la etiqueta del producto
- Use ropa protectora adecuada
- Agite en envase del producto solamente si así lo indica la etiqueta. Vierta y mida

cuidadosamente la cantidad calculada.

- Llene el tanque de la asperjadora hasta la mitad con agua limpia. Agregue el producto medido. Enjuague el recipiente de medición y vierta éstos en el tanque. Ajuste la tapa de la asperjadora y agite suavemente la asperjadora para mezclar su contenido. Retire la tapa, rellene con agua hasta el nivel correcto y mezcle de nuevo.
- Deseche los envases vacíos con seguridad y, si es posible, devuélvalos a los suministradores.

Aspersión. Mantenga la lanza a la altura correcta sobre el objetivo para lograr el ancho de estela requerida y un depósito uniforme. Evite asperjar cuando la velocidad del viento esté por encima de 6 kph, ya que la deriva puede ser un problema. Además, un aire muy quieto y condiciones soleadas pueden producir corrientes de convección que pueden causar deriva en direcciones impredecibles. Se puede reducir la deriva mediante una menor altura de las boquillas, menor presión y boquillas mayores.

El equipo de aplicación de disco giratorio o de gómulas controladas crea una fuerza centrífuga que divide el líquido en gómulas en la periferia del disco, que a menudo es aserrado para mejorar la uniformidad de la formación de gotas. El disco a menudo es accionado por un motor movido por baterías, pero algunos algunos son movidos por una bomba de aire manual. El líquido es llevado y depositado sobre el disco por gravedad y se aplican de 10 a 50 l/ha como una aspersión de media a gruesa. El volumen bajo de líquido de aspersión es especialmente útil donde el suministro o transporte del agua sea un problema. Otra ventaja del aplicador de disco giratorio es que el caudal del flujo y la velocidad del disco determinan el tamaño de las gómulas y, cuando se ajustan correctamente, los tamaños de las gómulas quedan en un rango estrecho de tamaños, permitiendo minimizar la deriva.

El mayor uso de los equipos de aplicación de disco giratorio o de gómulas controladas ha sido para aplicación de insecticidas y fungicidas, con tamaños de gómulas en el rango de 50 - 150 μ m. Para herbicidas son comunes tamaños mayores de gómulas, de 200 - 300 μ m are common.

El asperjado proveniente de disco giratorio es menos fácil de ver que el de boquillas hidráulicas y se debe tener cuidado para evitar contaminar al operador y para asperjar en el área objeto de la aplicación. Algunos modelos son frágiles y la duración de las baterías y el mantenimiento han causado problemas. Algunas formulaciones de herbicidas, hechas especialmente para aplicación mediante discos, contienen un pigmento blanco, el dióxido de titanio, que hace más visible el asperjado y su estela.

Otros tipos de equipos de aplicación. Los equipos de aplicación de granulados están compuestos por una tolva, un mecanismo de medición y un dispositivo de distribución. Para tratamientos por manchones de las malezas se sostiene manualmente la tolva y el gatillo permite que un pequeño volumen de gránulos caiga a través de un tubo rígido que los descarga sobre las malezas. Para la aplicación de los granulados en bandas el dispositivo medidor comunmente consiste en un rotor acanalado o estriado accionado por una rueda terrestre motriz. Los gránulos caen por gravedad en los canales o estrías y se descargan a través de los tubos de distribución. Este tipo de dispositivo se puede acoplar a una sembradora. Para distribución total (al voleo, sobre todo el área) los gránulos se proyectan sobre una boquilla de impacto y se dispersan mediante una corriente de aire producida por un ventilador accionado por motor. Algunos herbicidas granulados se pueden aplicar a mano.

"Frotadores", "rodillos", "mechas" y "sogas" de malezas. En estos dispositivos una

solución moderadamente concentrada de herbicida alimenta una superficie absorbente, la cual es frotada o rodada sobre la maleza objeto de control. Solamente se trata un área limitada de la maleza, por lo que esta técnica solamente se puede usar con herbicidas fácilmente translocables, como glifosato. El tratamiento puede ser selectivo donde las malezas sean más altas que el cultivo. El traslado del ingrediente activo al objetivo es muy efectivo, pero existen pocos herbicidas adecuados y limitadas situaciones cultivo/malezas para esta técnica. Bajo condiciones de baja humedad los equipos de aplicación tienden a secarse y también se contaminan con polvo y material vegetal que limita su efectividad.

Una **regadera** podría ser el único equipo disponible para aplicación de herbicidas en algunas fincas o predios pequeños, pero cuando se le acopla una roseta fina se puede usar para aplicar herbicidas.

La calibración de estos equipos de aplicación lleva los mismos criterios descritos para las asperjadoras de mochila, o sea, la velocidad de traslado, el caudal del herbicida y el ancho de estela.

Aspersión segura. La mayoría de las técnicas de aplicación entregan solamente una pequeña proporción del herbicida a la maleza objeto de la aplicación, mientras que el resto queda disponible a especies no objeto de la aplicación, que se encuentran en el medio y/o para contaminar las aguas superficiales o subterráneas.

Para una aplicación segura y efectiva el operador de la asperjadora (agricultor) debe aplicar la dosis adecuada de herbicida en el volumen de agua adecuado, usando una correcta calidad de aspersión, en el momento óptimo.

Para más información sobre todos los aspectos de la tecnología de aplicación vea a Matthews (1992).

Dosis reducidas y control integrado mecánico y químico

Por razones económicas y ambientales, los agricultores de países industrializados están tratando de lograr un efectivo control de las malezas con uso reducido de herbicidas. Algunas de las técnicas pueden ser aplicables, si no se usan ya, al control de malezas en países en desarrollo.

Las dosis recomendadas en las etiquetas se escogen para ofrecer una destrucción confiable de las malezas y selectividad del cultivo bajo una amplia variedad de condiciones de suelo y clima y en un rango de estadios de desarrollo. Sin embargo, la investigación y la experiencia práctica demuestran que en estadios tempranos de desarrollo y bajo condiciones adecuadas de suelo y de clima las dosis de muchos herbicidas se pueden reducir hasta un 50% sin disminución en la eficacia (Kudsk 1989).

Cuando se trata una población mixta de malezas la dosis la determina la especie menos susceptible. Metsulfuron controla *Papaver rhoeas* L. y *Stellaria media* (L.) Cyr. al 10% de la dosis recomendada, pero se requiere la dosis completa para *Galium aparine* L.. Fluroxypyr es especialmente efectivo contra *G. aparine* y una mezcla de los dos herbicidas asegura el control de un grupo de malezas a dosis muy bajas (Caseley *et al*, 1993).

La aplicación a manchones de malezas en lugar del tratamiento de campos enteros permite considerables ahorros. Por ejemplo, los manchones de *Cirsium arvense* (L.) Scop. se pueden tratar con glifosato en trigo o cebada como un tratamiento pre-cosecha. Mochileros con lanzas manuales ofrecen un buen sistema para la aplicación por manchones, ya que el operador puede seleccionar el objetivo.

La combinación la labranza mecánica con el tratamiento de herbicidas puede reducir sustancialmente el uso de herbicidas. Esto se logra comunmente mediante la aspersión en bandas sobre los surcos plantados y las labores de cultivo mecánico del área entre surcos.

Después de las labranzas, las malezas desenraizadas o enterradas a menudo desarrollan nuevas raíces o tallos, respectivamente, lo cual les permite recuperarse. Esto es especialmente un problema bajo condiciones de suelo húmedo. El pre-tratamiento con dosis sub-letales (1-20% de las recomendadas) de herbicidas que inhiben el crecimiento, como las sulfonilureas, evita el nuevo enraizamiento y la recuperación de las malezas que han sido cultivadas (Caseley *et al* 1993). Este tipo de herbicida también se podría usar para regular el crecimiento de plantas de cobertura del suelo con el fin de reducir la competencia con el cultivo.

Revisión sobre la acción de los herbicidas

Introducción

Esta sección brinda una revisión sobre la acción de los herbicidas. Para más información vea a Hance y Holly (1990) y Devine *et al.* (1993).

Los herbicidas destruyen las malezas interfiriendo los procesos bioquímicos, como la fotosíntesis, que tiene lugar en el simplasto o sistema vivo de la planta. Para que la acción del herbicida tenga lugar deberá haber suficiente cantidad de ingrediente activo del compuesto para que éste entre en la maleza y sea transportado hasta el lugar de acción adecuado. En la Fig. 1 se muestran algunos de los principales pasos en la acción de los herbicidas y los factores que lo afectan.

Intercepción y retención del asperjado

Algunos herbicidas, como glifosato (un compuesto sistémico con movilidad a través del floema) y paraquat (un herbicida de contacto), entran en la planta exclusivamente a través de las partes aéreas. Sin embargo, muchos herbicidas que se aplican después de la emergencia de las malezas tienen, tanto actividad foliar como a través del suelo. Chlorsulfuron entra a la planta principalmente a través de la parte aérea, pero también a través de las raíces y su actividad en el suelo controla a las malezas que germinan después de la aplicación. El éxito de estos tratamientos foliares post-emergentes está en dependencia que suficientes gotas del asperjado sean interceptadas y retenidas sobre el follaje. El hábito de crecimiento plano de muchas plantas de hoja ancha ofrece una buena proyección para las gotas de la aspersión, mientras que el de las hojas erectas y estrechas de las gramíneas suele ser peor. El ángulo de las hojas también afecta la retención del asperjado. Por lo general hay mayores pérdidas en un follaje más erecto, especialmente cuando se asperjan gotas grandes.

En la medida en que las plantas crecen, su área foliar aumenta. Las gramíneas, en especial, se convierten en mejores objetos para las gotas de aspersión en la medida que la orientación de sus hojas se aplanan y se desarrollan tallos adventicios. Por esta razón muchos graminicidas post-emergentes se aplican a partir del estadio de desarrollo de dos hojas en lo sucesivo. Sin embargo, la demora de la aspersión con el objeto de optimizar la retención no debe ser la única consideración, ya que las plantas más adultas pueden necesitar una dosis mayor de herbicida para un control efectivo y la eliminación tardía de la maleza puede traer

como consecuencia una competencia severa con el cultivo.

La naturaleza de la superficie foliar es otro factor importante que determina la retención del herbicida. La forma y disposición de las partículas de cera sobre las hojas de muchas gramíneas (p.ej. *Avena* spp.) produce una superficie áspera que repele el agua, por lo que las gotas grandes del asperjado tienden a rebotar o escurrir fuera de las hojas.

Las condiciones climáticas, bajo las que ha crecido la planta antes de la aspersión, afectan la interceptación y retención del asperjado. Las plantas que han estado sometidas a condiciones adversas de sequía o a condiciones frías, tienen hojas más pequeñas, usualmente cubiertas con cantidades considerables de cera epicuticular, que interceptan y retienen menos herbicida que las plantas que crecen bajo condiciones cálidas y húmedas. El efecto de la precipitación depende de su momento e intensidad. Una cubierta de rocío al momento de la aspersión puede aumentar la interceptación foliar mediante la alteración del ángulo de la hoja. Lluvias intensas poco tiempo después de la aplicación pueden lavar el herbicida de la hoja. Los compuestos solubles en agua, como glifosato, son menos "resistentes al lavado por lluvias inmediatamente después de la aplicación" que los herbicidas lipofílicos, como diclofop-metil, que se formulan como emulsiones.

Penetración foliar

La principal barrera para la absorción de los herbicidas es la cutícula, que cubre todas las superficies aéreas y minimiza las pérdidas de agua de la planta. La capa externa consiste en cera cuticular con extrusiones de cera epicuticular, que varía en forma con la edad de la hoja y con la especie. Las ceras son no-polares, afines al aceite en su naturaleza y repelen al agua. Debajo de la cera cuticular está la capa de cutina, que es más hidrofílica que las ceras. Los agentes tensoactivos y otros aditivos de las formulaciones de herbicidas juegan un papel importante en la retención y penetración del herbicida a través de las cutículas cerosas. Los lugares preferenciales de entrada de los herbicidas son las células de protección de los estomas, los pelos y los nervios foliares en las especies de hoja ancha. Los estomas penetran la superficie foliar, pero la mayoría de los agentes tensoactivos no son capaces de reducir la tensión superficial de las soluciones acuosas lo suficientemente como para permitir la entrada de los herbicidas a través de los estomas. Se exceptúan los tensoactivos a base de organo- silicona.

La velocidad de penetración es directamente proporcional a la concentración externa del herbicida y a la velocidad de su movimiento desde la superficie interna de la cutícula hacia el apoplasto.

Los herbicidas solubles en aceite penetran fácilmente la cutícula a través de sus componentes lipofílicos bajo un amplio rango de condiciones climáticas y vegetales, mientras que los compuestos solubles en agua tienden a penetrar más lentamente, por lo que requieren de tensoactivos y de una cutícula hidratada para su penetración. Así, la absorción de herbicidas hidrosolubles aumenta por la alta humedad relativa, adecuada humedad del suelo y temperaturas cálidas (Devine 1988). El rocío o lluvias ligeras (< 0.5 mm/h) pueden aumentar la absorción del herbicida mediante al disolver nuevamente los depósitos del compuesto seco o cristalizado y pueden facilitar la redistribución del herbicida sobre la superficie de la planta, así como su depósito. Por ejemplo, en las gramíneas, la superficie adaxial de la vaina foliar sólo está cubierta ligeramente con cera, la humedad es alta y aquí la absorción es más rápida que sobre las superficies de las láminas foliares (Coupland *et al* 1978).

Disponibilidad y destino de los herbicidas en el suelo

El éxito de un tratamiento de herbicida aplicado al suelo depende de la entrada de concentraciones tóxicas del producto en las raíces o la parte aérea de las malezas. Esto está determinado por la duración de la exposición al herbicida y su concentración en las fases líquida o gaseosa. Los factores que influyen sobre la efectividad de los herbicidas de activos en el suelo son la adsorción, el movimiento y la degradación, pero se debe enfatizar que estos son factores interactuantes. Además, las propiedades químicas y físicas del herbicida también son aquí de importancia clave.

Adsorción. El herbicida al entrar en contacto con el suelo se fracciona y pasa a las fases sólida, líquida y gaseosa. Solo el que llega a las últimas dos fases estará disponible para su absorción por la planta. El grado de adsorción sobre las partículas de suelo depende de su textura, el tipo de arcilla, el contenido de materia orgánica y la humedad del suelo. Los suelos arenosos tienen partículas relativamente grandes con un área superficial pequeña para la adsorción. Las arcillas tienen grandes áreas de superficie y alta capacidad para adsorber los herbicidas, siendo la montmorilonita más adsorptiva que la illita o la caolinita. La materia orgánica es regularmente el factor más importante que determina la adsorción. De esta forma, algunos tipos de herbicidas, como las triazinas, no están disponibles a las plantas en suelos con un alto contenido de materia orgánica. Las dosis de los herbicidas activos en el suelo comúnmente se ajustan de acuerdo al contenido de materia orgánica del suelo.

El agua compite con los herbicidas por los sitios de adsorción, por lo que en suelos húmedos queda una mayor proporción del herbicida en las fases acuosas o gaseosas que en suelos secos. En el caso de herbicidas volátiles, con baja solubilidad en agua, como EPTC, la adsorción sobre los coloides es importante para su retención en el suelo, por lo que la aplicación sobre suelo húmedo conduce a mayores pérdidas hacia la atmósfera. Los herbicidas con presiones de vapor mayores a 15 m Pa, incluyendo triallate, trifluralin, vernolate, butylate y EPTC son comúnmente incorporados mecánicamente al suelo inmediatamente después de la aplicación para reducir las pérdidas de vapor. CDAA y propachlor también tiene altas presiones de vapor, pero no requieren incorporación mecánica, ya que son relativamente solubles en agua y penetran en el suelo con la lluvia o la irrigación. En el caso de herbicidas, como simazina, que se une fuertemente a los coloides del suelo, su aplicación sobre suelos húmedos resulta en una menor adsorción y mayor disponibilidad para su absorción por las plantas que su aplicación sobre suelo seco.

Los herbicidas cargados positivamente, como paraquat, no tienen actividad en el suelo, ya que quedan fijados fuertemente por los coloides de suelo cargados negativamente.

Los herbicidas que son ácidos o bases débiles se ionizan sólo parcialmente. A valores de pH bajos (< 5.0) las triazinas se cargan positivamente y quedan fuertemente unidas a los coloides del suelo, pero bajo condiciones neutras o alcalinas quedan más disponibles en la solución del suelo. Bajo estas condiciones se comportan como moléculas descargadas y la fuerza de enlace dependerá de propiedades como la solubilidad en agua y la presión de vapor.

Los herbicidas de un grupo químico dado tienden a adsorberse al suelo en relación inversa a su solubilidad en el agua. La distribución de los herbicidas entre los coloides del suelo y el agua regularmente se describe mediante el coeficiente de adsorción K_d , el cual se define como:

$$\frac{\text{g de herbicida / g de suelo}}{\text{g de herbicida / ml de agua}}$$

Los valores K_d son mayores para los herbicidas fuertemente adsorbidos.

Movimiento. Independientemente de la incorporación mecánica de los herbicidas, el contacto con las raíces y partes subterráneas de las plantas depende del movimiento vertical en profundidad del herbicida en el perfil del suelo después de lluvias o irrigación. La cantidad de herbicida que se lixivia a través del suelo depende de su solubilidad y persistencia, del volumen de agua que esté pasando a través del suelo y de la relación de adsorción entre el herbicida y el suelo (K_d). A través de los macrosporos, tales como las quebraduras y las galerías hechas por lombrices de tierra, se produce un movimiento más rápido en profundidad del perfil de suelo, donde el herbicida se transporta tanto en solución como unido a partículas finas de suelo.

Cuando la evapotranspiración sobrepasa al movimiento del agua hacia abajo en el perfil del suelo, el herbicida en solución se mueve por capilaridad hacia la superficie del suelo. Este proceso ha conducido a daños por residuos de herbicidas en los cultivos subsiguientes en rotación, sobre todo con compuestos solubles en agua, relativamente móviles, tales como chlorsulfuron.

Durante lluvias intensas se produce el movimiento lateral del herbicida en solución y del que se encuentra unido a las partículas de suelo. Este se puede lavar mediante arrastre en la superficie del suelo, cuya cantidad dependerá de varios factores, como: la pendiente del lugar, el tipo de suelo, la cobertura del suelo, la intensidad y duración de la lluvia, las propiedades químicas y físicas del herbicida. El arrastre superficial es una de las causas principales de la contaminación de las aguas superficiales con herbicidas, que también puede producir una disminución de la eficacia del herbicida.

Degradación. La degradación de los herbicidas puede ser física, química y biológica. Compuestos como trifluralin son susceptibles a la degradación mediante la radiación UV y por esta razón requieren de incorporación mecánica. Algunos herbicidas, como metsulfuron, sufren fácilmente hidrólisis, especialmente a pH bajo.

Las enzimas microbianas (intra y extra-celulares) son responsables de la degradación de muchos compuestos y el uso continuado de algunas clases de plaguicidas, tales como los tiolcarbamatos, conduce a un incremento de la población de organismos degradantes de los herbicidas y a aumentar el nivel de pérdidas de éstos. Tanto los cultivos como las malezas absorben los herbicidas y comúnmente aquellos tolerantes los metabolizan (vea Metabolismo).

Para una información más completa sobre los tópicos abordados en esta sección vea a Hance (1980), Moyer (1987) y Walker (1987).

Translocación del herbicida

Después de la penetración en las hojas y la absorción por las raíces, muchos herbicidas se mueven hacia otras partes de la planta en el apoplasto y el simplasto.

El apoplasto es una red interconectada de tejido no vivo, que incluye las paredes celulares y el xilema conductor del agua. Este está limitado externamente por la cutícula e internamente por la membrana más externa de la célula, el plasmolema. Los herbicidas que entran en la raíz (p.ej. atrazina), se mueven en el xilema con la corriente transpiratoria y siguen el movimiento del agua hasta las puntas de las hojas en las monocotiledóneas, o hasta sus márgenes, en las dicotiledóneas. Los herbicidas se acumulan donde se pierde el agua por evaporación y esto generalmente se refleja en la cronología y localización de los síntomas fitotóxicos.

La pérdida de agua desde una planta está determinada por la luz, la temperatura, la velocidad del viento y la humedad, así como por la disponibilidad de agua en el suelo. Sin embargo, en la medida en que el agua del suelo se hace menos disponible, otros factores pueden desplazar a aquellos más elementales que controlan la transpiración. Bajo condiciones adversas de humedad de suelo puede ocurrir una inversión de la corriente transpiratoria, por lo que el agua presente en las hojas será absorbida y conducida hacia las raíces. Bajo estas condiciones, se ha observado que diquat, aplicado al follaje de la papa como desecante, produce pudrición del extremo del tubérculo (Headford y Douglas 1967).

Un herbicida absorbido por las raíces y distribuido normalmente en el sistema del xilema, será transportado principalmente hacia las hojas abiertas, lo cual es un patrón ideal de distribución para cualquier compuesto inhibidor de la fotosíntesis. Por otra parte, a menos que tenga lugar alguna redistribución posterior dentro de la planta, este patrón no es adecuado para herbicidas, cuyo modo de acción esté asociado con los procesos de crecimiento. En tales casos, se debe producir una redistribución del compuesto hacia los ápices de crecimiento, proceso que involucra también al simplasto. Este último es un sistema vivo interconectado de células vegetales, que incluye al floema, que contiene el citoplasma metabólicamente activo, limitado en su parte externa por el plasmolema y por la parte interna de la membrana vacuolar, el tonoplasto. Este contiene organelos, como los cloroplastos y los mitocondrios. Los puntos de acción de todos los herbicidas están localizados en el simplasto.

Los azúcares producidos por la fotosíntesis en los tejidos verdes de las plantas (fuentes) son conducidos en el simplasto hacia las regiones, donde tiene lugar el crecimiento y el almacenamiento. En la mayoría de las circunstancias los herbicidas se mueven fuera de la hoja tratada solo a través del floema y los herbicidas o componentes de formulación que interfieran con el transporte en el floema limitan la translocación del herbicida. Usualmente el lento desarrollo de los síntomas fitotóxicos, como se observa por ejemplo con glifosato, está asociado a una translocación más efectiva del herbicida. La fuerza de la actividad de fuentes individuales cambian durante el año en respuesta a la senescencia de las hojas y a cambios en el desarrollo de la planta, como la floración, la formación de semillas y el desarrollo de órganos de almacenamiento. Las hojas muy jóvenes se comportan como depósitos, por lo que resultan ser pobres objetivos para la aplicación de herbicidas sistémicos. Las hojas que completan su desarrollo sobre plantas jóvenes tienden a exportar azúcares (y herbicidas) principalmente hacia el ápice del tallo. En la medida que la planta crece, el patrón de exportación se dirige más hacia las raíces y los órganos subterráneos. Es en esta etapa que la aplicación del herbicida generalmente produce buen control sobre especies perennes, como *Imperata cylindrica* (L.) Raeuschel.

Además del estadio de desarrollo de la planta, los factores del ambiente también afectan el flujo de azúcares en el floema. Factores adversos que disminuyen la velocidad de crecimiento de la planta, como las bajas temperaturas y la sequía, reducen el potencial de eliminación o depósito, por lo que menos herbicida tiende a ser translocado. Otros factores, como la baja intensidad de luminosidad, limitan la producción de azúcares en las hojas y reduciendo la actividad de generación, con lo que pueden perjudicar la acción de herbicidas sistémicos. Por estas razones, normalmente se recomienda que los herbicidas sistémicos se deben aplicar cuando las malezas están en una fase de crecimiento activo.

Metabolismo

El metabolismo de los herbicidas en las plantas constituye el mecanismo más importante de selectividad de los herbicidas entre malezas y cultivos o entre malezas susceptibles y tolerantes. Las plantas tolerantes detoxifican al herbicida con suficiente rapidez como para

evitar que cantidades fitotóxicas del ingrediente activo se acumulen en el simplasto. El metabolismo de los herbicidas involucra transformaciones que aumentan la solubilidad en agua y esto regularmente es seguido por la conjugación con azúcares o aminoácidos. Bentazon tiene un margen de selectividad de 200 veces entre el arroz y *Cyperus serotinus* Rottb., debido a su rápida hidroxilación, seguida de su conjugación con glucosa en el arroz (Mine *et al* 1975). El margen de selectividad de muchos herbicidas, como isoproturon en trigo, es mucho más estrecho y la seguridad del cultivo está fuertemente influenciada por la variedad, el estadio de desarrollo y las condiciones climáticas.

La selectividad de algunos herbicidas, como los tiolcarbamatos y las sulfonilureas, se puede aumentar en cultivos gramíneos mediante el uso de sustancias protectoras, que promueven la degradación y conjugación del herbicida en el cultivo, pero no en las malezas. Las sustancias protectoras se usan como coberturas de semillas o en mezclas con el herbicida. Actualmente existen 15 combinaciones de herbicida/sustancia protectora en el mercado y en la Tabla 5 se muestran algunos representantes para los principales cultivos.

Tabla 5. Ejemplos de combinaciones herbicida/sustancia protectora y sus usos, (según Komives 1992).

Cultivo	Herbicida	Sustancia Protect.	Aplicación
Maíz	EPTC	dichlormid	mezcla de tanque
Trigo	fenoxaprop-etil	fenclorazole-etil	mezla de tanque
Arroz	bensulfuron-metil	dimepiperato	mezcla de tanque
Sorgo	metolachlor	cyometrinil	cobertura de semilla

En contraste con las sustancias protectoras, ciertos compuestos sinérgicos aumentan la actividad herbicida mediante la prevención de su metabolismo. Así, aminotriazole se inactiva en algunas malezas por condensación con serina, cuya reacción es inhibida por el tiocianato de amonio, que se incorpora en varias formulaciones de este herbicida.

La inhibición del metabolismo de los herbicidas es deseable en las malezas, pero se debe tener cuidado de no dañar los cultivos. El control de malezas en arroz con propanil puede causar severa fitotoxicidad en el cultivo si se aplican insecticidas carbámicos u organofosforados inmediatamente antes o con el herbicida. Los insecticidas inhiben la hidrólisis del propanil por la aril acrilamilasa, que es la principal vía de detoxificación que aporta tolerancia a este herbicida en el arroz (Matsunaka 1968).

El metabolismo, que confiere tolerancia a los herbicidas en los cultivos, también se presenta en malezas. Por ejemplo, la acción débil de metribuzin contra *Ipomoea hederacea* (L.) Jacq. es debida a una rápida desanimación. El uso repetido de herbicidas con similar composición química puede conducir a la selección de biotipos resistentes a los mismos, con mayor capacidad para degradarlos, como *Alopecurus myosuroides* Huds. resistente a isoproturon (Moss y Cussans 1991).

Se ha estimado que menos del 1% del herbicida que llega a la superficie de la planta interactúa en el punto de acción, por lo que para muchos herbicidas y especies, el metabolismo es la principal causa de pérdidas del ingrediente activo.

Puntos de acción de los herbicidas

La mayoría de los grupos de herbicidas afectan, bien la fotosíntesis o la división celular y el

crecimiento, pero algunos herbicidas parecen afectar más de un punto (Tabla 6). Así, bromoxynil nitrilo inhibe la fotosíntesis y desacopla la fosforilación oxidativa. Los herbicidas de un mismo grupo químico generalmente tienen el mismo sitio de acción, pero esto no siempre es así. Por ejemplo, la anilida propanil inhibe la fotosíntesis, mientras que otro miembro de este grupo, diflufenican, inhibe la biosíntesis de carotenoides.

Herbicidas que interfieren con la fotosíntesis. Alrededor del 35% de todos los herbicidas disponibles comercialmente interfieren con la fotosíntesis, que es el proceso involucrado en la conversión de energía luminosa en energía química, para así producir la liberación de oxígeno y la transformación del CO₂ en azúcares.

Herbicidas del Fotosistema 1 (FS1) (Tablas 6 y 7). Estos son los compuestos bipyridílicos, **diquat y paraquat**, que desvían el flujo de electrones en el extremo terminal del Fotosistema 1. La acción de estos herbicidas es, por lo tanto, dependiente de la luz para promover el flujo de electrones y del oxígeno para producir el superóxido fitotóxico, peróxido de hidrógeno, y el altamente dañino radical libre: hidroxil.

Estos radicales fitotóxicos interactúan rápidamente con los lípidos de las membranas y con los aminoácidos de las proteínas y ácidos nucleicos enzimáticos, produciendo rápida filtración de las membranas y destrucción del tejido foliar, lo que da una apariencia de mojado por agua, que es seguida de necrosis y desecación.

Inhibidores del Fotosistema 2 (FS2) (Tablas 6 y 7). Estos bloquean el transporte de electrones mediante la interacción con un polipéptido en la membrana de los cloroplastos. La especificidad de este sitio de acción requiere del elemento estructural -CO-N< o

-N = C-N< para la acción inhibitoria y éstos se encuentran en la mayoría de los herbicidas de este grupo (Tabla 7).

Cuando la clorofila absorbe la energía luminosa para activar el flujo de electrones desde el agua, ésta se excita hasta un denominado "estado de singlete" (¹C1). Si la energía de excitación no es utilizada porque el flujo de electrones está detenido, puede excitar al oxígeno a un "estado de singlete" (¹O₂). Esta forma altamente dañina de oxígeno puede interactuar con los lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y otras moléculas celulares para causar la desorganización celular y, como consecuencia, la muerte de la planta. Esto se refleja en la aparición de síntomas fitotóxicos, como la clorosis y la necrosis.

Inhibidores de la biosíntesis de pigmentos. La biosíntesis de la clorofila está íntimamente relacionada con el desarrollo de una estructura tilacoidea funcional en el tejido foliar verde y las clorofilas son esenciales para absorber la luz. Además de la absorción de la luz, los carotenoides son agentes protectores importantes para reprimir los dañinos oxígeno singlete (¹O₂) y clorofila tripleta (³Cl), producidos por el exceso de energía de excitación, que es especialmente importante a altas intensidades luminosas. Como regla general, los herbicidas que bloquean la síntesis de pigmentos producen blanqueado o decoloración.

Inhibidores de la biosíntesis de clorofila (Tablas 6 y 7). Se considera que los **difenil- etéres** interactúan con la ácido α-aminolevulínico (ALA) deshidrogenasa y otras enzimas en la senda de la biosíntesis de la clorofila, lo que causa una acumulación anormal de tetrapirrol. Esto produce una acumulación de precursores incapaces de traspasar la energía luminosa absorbida a los centros de reacción del fotosistema. Se producen grandes cantidades de ¹O₂ que reaccionan con los lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, que causa la destrucción de las membranas y una rápida decoloración. Estos precursores, como ALA y tetrapirrol, se

denominan fotosensitizadores. La clorofila también es un fotosensitizador, pero esta disipa la energía de excitación a través de la vía de transporte de electrones.

Inhibidores de la biosíntesis de carotenoides (Tablas 6 y 7). Norflurazon y diflufenican inhiben las "reacciones de desaturación" en la biosíntesis de carotenoides, mientras que el amitrol bloquea otra etapa no identificada en esta senda. En ausencia de la represión del ^3Cl y el $^{10}\text{O}_2$ por el caroteno, los pigmentos de clorofila se blanquean. Este síntoma es especialmente evidente en tejidos recién desarrollados.

Inhibición de la síntesis de lípidos (Tablas 6 y 7). Los ácidos grasos y los ácidos grasos de cadena larga son necesarios en la formación de los componentes lípidos de las membranas y ceras cuticulares, respectivamente. Los herbicidas ariloxifenoxipropiónicos y las oximas inhiben la enzima inicial en la biosíntesis de los ácidos grasos, la acetil Coenzima A carboxilasa, mientras se estima, que los tiolcarbamatos bloquean la formación de ácidos grasos de cadenas muy largas, posteriormente en esta senda. La falta de producción de ácidos grasos conduce rápidamente al desorden de las membranas, lo cual se refleja en el cese de la división celular y la necrosis del tejido meristemático. A dosis sub-letales, se producen hojas con poca cera cuticular, lo que puede afectar su respuesta a los plaguicidas y patógenos. Solamente las especies gramíneas son afectadas por los herbicidas de ésteres de ácidos ariloxifenoxi-alcanoicos y oximas, cuyo mecanismo de selectividad ha sido discutido por Owen (1991).

Inhibición de la división celular (Tablas 6 y 7). Varias clases de herbicidas, como las dinitro-anilinas y los carbamatos, inhiben la división celular mediante su interacción con los microtúbulos. La formación de microtúbulos del huso mitótico es una condición para la separación de nuevos cromosomas. Las puntas de las raíces expuestas a dinitroanilinas y carbamatos se abultan, la mitosis se detiene y un reducido número de microtúbulos usualmente se observan.

Herbicidas que imitan al ácido indolacético (AIA) (Tablas 6 y 7). Casi 50 años después de la introducción de los primeros herbicidas del "tipo auxina u hormonales", su sitio de acción permanece desconocido. No obstante, está ampliamente aceptado que estos actúan como si fueran auxinas persistentes que previenen las fluctuaciones normales de los niveles de la auxina natural, ácido indolacético (ALA), que son necesarias para un crecimiento ordenado. El exceso de ALA se degrada rápidamente en la planta, pero los reguladores sintéticos del crecimiento, como 2, 4-D, no son afectados por los sistemas regulatorios endógenos y, como consecuencia, se desorganiza el crecimiento.

El tratamiento de una planta de hoja ancha en rápido crecimiento puede producir alteración epinástica en unos minutos y el crecimiento puede cesar en unas horas. Después de un período de días, el ácido nucleico y las proteínas se acumulan en el tejido basal inmaduro, como los peciolo, donde la proliferación anormal de células da origen a tumores, callos y raíces adventicias. Mientras tanto, los ápices normales son desprovistos de ácido nucleico y proteínas, por lo que el crecimiento se detiene. La proliferación de tejido vascular evita las funciones normales de translocación, las raíces dejan de absorber agua y nutrientes y finalmente la planta muere. El incremento del nivel de etileno puede estar relacionado con los efectos epinásticos observados en las plantas tratadas. El fundamento de la tolerancia de las gramíneas y la susceptibilidad de las plantas de hoja ancha no se comprende desde el punto de vista fisiológico.

Inhibidores de la biosíntesis de aminoácidos. Los aminoácidos son componentes esenciales de las proteínas. El bloqueo de la síntesis de aminoácidos afecta la biosíntesis enzimática y el metabolismo vegetal en general. Los denominados "aminoácidos esenciales" solamente se encuentran en plantas y microorganismos, por lo que los herbicidas que inhiben

su biosíntesis tienden a ser de baja toxicidad para los mamíferos. Sin embargo, bialafos y glufosinato, herbicidas que inhiben la síntesis de glutamina, un aminoácido importante en los animales, son también de baja toxicidad para mamíferos.

Los microorganismos se han usado ampliamente para evaluar y dilucidar el modo de acción de los herbicidas que inhiben la biosíntesis de los aminoácidos. Las técnicas de biología molecular han permitido el clonaje y sobreproducción de enzimas, que son puntos de acción de los herbicidas, lo que ha facilitado realizar estudios *in vitro* de la acción de estos compuestos. Durante los últimos 20 años, nuevos grupos de herbicidas han sido descubiertos, los que interactúan con las sendas de biosíntesis de tres tipos de aminoácidos: los aromáticos, los de cadena ramificada y la glutamina.

Inhibición de la biosíntesis de aminoácidos aromáticos (Tablas 6 y 7). Glifosato inhibe la vía shikimato y es el único herbicida comercializado que afecta la biosíntesis de los aminoácidos aromáticos. Se trata de uno de los herbicidas más móviles por el floema y es especialmente efectivo contra las malezas perennes, al acumularse en el tejido meristemático de los tallos, raíces y órganos de almacenamiento. Como resultado, la división celular y el crecimiento se detienen y una semana o más después, el follaje se toma clorótico.

Inhibición de la síntesis de glutamato (Tablas 6 y 7). El amoníaco se asimila dentro de los aminoácidos a través de la vía del ciclo de la glutamato- sintetasa.

Los inhibidores de la enzima glutamina sintetasa (GS) están estructurados de modo análogo al ácido glutámico y se cree que ellos se fijan irreversiblemente al sitio catalítico de la enzima, lo cual produce una rápida acumulación de niveles altos de amoníaco y un agotamiento de la glutamina y de varios otros aminoácidos en las plantas. Estos efectos están acompañados de una rápida declinación de la fijación fotosintética de CO₂ y son seguidos por clorosis y desecación de los tejidos de las plantas.

Dos herbicidas comerciales inhiben la glutamina sintetasa: glufosinato y bialafos. Este último es producido por *Streptomyces hygroscopicus* y es un pro-herbicida que requiere someterse a hidrólisis en la planta hasta el inhibidor de la GS, glufosinato. Ambos herbicidas no son selectivos.

Se han producido cultivos transgénicos resistentes a bialafos y a glufosinato. Inhibición

de la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada (Tablas 6 y 7). La acetohidroxi-sintetasa ácida es el primer paso de una senda combinada responsable de la biosíntesis de valina, leucina e isoleucina. Esta enzima se inhibe por varios tipos diferenciados de herbicidas, dentro de las cuales están las sulfonilureas y las imidazolinonas como las más extensamente desarrolladas y comercializadas.

Después de un tratamiento al follaje de plántulas de maíz con chlorsulfuron, el crecimiento de las hojas y la síntesis de ADN se detuvieron dos y diez horas después, respectivamente. La actividad meristemática de los tallos y de las raíces se detuvo rápidamente, pero sobre las hojas maduras solamente se desarrolló clorosis después de varios días. Cultivos transgénicos resistentes a las sulfonilureas y a las imidazolinonas han sido ya producidos.

Selectividad

Los tratamientos selectivos destruyen las malezas con poco o ningún daño al cultivo. La selectividad puede ser a causa de las propiedades del herbicida, de atributos de la planta, del momento de la aplicación del herbicida, de la técnica de aplicación o una combinación de estos factores. Los tratamientos no selectivos o totales persiguen destruir todas las

especies presentes y se usan antes de la siembra del cultivo, inmediatamente antes de la cosecha o en áreas no cultivables. Sin embargo, con frecuencia se observan respuestas diferentes de distintas especies a bajas dosis de los herbicidas.

Selectividad herbicida/cultivo. Un herbicida "selectivo" puede ser aplicado a toda el área cultivable para el control de las malezas, con efecto mínimo sobre el cultivo. Esta fitotoxicidad diferenciada entre las especies de cultivo y de malezas es el resultado de uno o más de los siguientes factores: intercepción, retención, penetración, movilidad, metabolismo y actividad en el punto de acción del herbicida. Ya hemos discutido el papel de cada uno de estos pasos en la actividad herbicida y su potencial para influir sobre la selectividad. El metabolismo del herbicida es el mecanismo de selectividad más generalizado, el cual es dependiente de la dosis en uso. Atrazina a 2-3 kg i.a./ha es selectiva en maíz, pero a 9 kg i.a./ha es un herbicida total. Un grupo de herbicidas que son ésteres, como imazamethabenz-metil, son inactivos a menos que sean hidrolizados a ácidos, que son más móviles en el floema que los ésteres. En el trigo tolerante, la des-esterificación es relativamente lenta, pero en las susceptibles *Avena* spp., el ácido fitotóxico se forma rápidamente. Este tipo de herbicida es a veces conocido como un sustrato suicida. El mayor margen de selectividad se encuentra en herbicidas que son incapaces de interactuar en el punto de acción del cultivo. Los ésteres ariloxi-fenoxialcanoicos, como fluazifop-butil, inhiben la acetil co-enzima A en gramíneas, pero en plantas de hoja ancha la topografía del nicho objeto evita la acción y no se produce efecto herbicida.

Los mecanismos de selectividad de los herbicidas arriba descritos para cultivos, también se detectan en especies de malezas que no mueren con el tratamiento. El desarrollo de biotipos resistentes a herbicidas de especies de malezas se puede reducir mediante la rotación del uso de herbicidas con diferente composición química y modo de acción. La rotación de cultivos, que permita la introducción de otros herbicidas y otras prácticas culturales, como el cultivo mecánico, pueden contribuir a retrasar o evitar el surgimiento de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas.

Tanto las técnicas convencionales de mejoramiento genético vegetal como las de biología molecular se han usado para aportar resistencia a las plantas cultivables, para así explotar el incremento del metabolismo, la modificación de los nichos- objeto de acción y la sobre-abundancia de la enzima objeto. Esto permite que herbicidas no selectivos, como glifosato y glufosinato, sean usados en cultivos como soya y papa, para así aumentar el grupo de cultivos en los cuales se pueden usar herbicidas como las sulfonilureas y las imidazolinonas. Este desarrollo aumenta las opciones de uso de herbicidas, seguros para el operador y benignos en el ambiente, así como disponibles para su inclusión en programas de manejo integrado de malezas.

Momento de aplicación. Tratamientos no selectivos, como glifosato, son ampliamente usados para destruir malezas y plantas de cultivo indeseables, antes de las labranzas y la plantación en los sistemas de labranza mínima. Glifosato también se puede usar en cereales como tratamiento inmediatamente anterior a la cosecha para el control de malezas perennes. Herbicidas de contacto, como paraquat, se pueden usar después de la plantación, por ejemplo en papa, con hasta un 10% de emergencia de la planta cultivable.

Los herbicidas no selectivos también se pueden aplicar cuando los cultivos perennes están latentes, como glifosato en espárrago.

Para muchos cultivos la selectividad es dependiente del estadio de desarrollo. 2, 4-D daña al trigo si se aplica antes del estadio de desarrollo de cuatro hojas o después de la formación de nudos. En este caso la fitotoxicidad herbicida está asociada a una rápida actividad

meristemática.

Aplicación dirigida. El contacto de la aspersión con el cultivo se puede evitar, bien dirigiendo la aspersión sobre el objeto de interés a controlar o mediante el uso de pantallas. De esta forma, se pueden usar herbicidas que normalmente son fitotóxicos a los cultivos. Esta técnica se usa extensamente en árboles, arbustos frutales y viñedos. Sin embargo, con tratamientos post-emergentes, como glifosato, se debe tener gran cuidado de evitar la deriva de la aspersión.

Protección en profundidad. La profundidad de ubicación de las raíces, especialmente de cultivos perennes, contribuye a la selectividad. Ciertos herbicidas, como simazina, permanecen en la capa superficial del suelo y pueden ser usados en cultivos susceptibles de raíces ubicadas profundamente, como los árboles frutales. El mismo principio se aplica a otras situaciones. Los cultivos anuales se pueden sembrar debajo de la capa de suelo alcanzada por el herbicida, con lo que se evita su absorción por las raíces, como en el trigo tratado en pre-emergencia con tri-allate.

En la mayoría de las situaciones la selectividad es relativa y depende de varios mecanismos. Esta es usualmente afectada por la variedad del cultivo, el tipo de suelo, las condiciones climáticas, la dosis del herbicida, su formulación y aplicación. Debido a las complejas interacciones involucradas en la selectividad, es importante evaluar los nuevos herbicidas sobre las nuevas variedades de los cultivos bajo condiciones locales antes de su uso en el campo.

Caracterización de los principales grupos de herbicidas

Desviadores del fotosistema 1: Bipiridilos

Características generales. Diquat y paraquat son herbicidas de contacto, no selectivos, de acción rápida, con una limitada movilidad en el apoplasto. Estos son menos móviles cuando se aplican bajo radiación solar intensa y en los trópicos se obtiene un control más prolongado de las perennes mediante aplicación al atardecer. Dosis muy bajas de bromacil o diuron, que bloquean el flujo de electrones en el fotosistema (FS) 2, previenen una rápida acción de los bipiridilos bajo radiación solar intensa, lo que sinergiza la actividad de diquat y paraquat (Headford 1967). Ambos herbicidas penetran al follaje muy rápidamente y son resistentes a la lluvia dentro de 10 minutos después de la aplicación en la mayoría de las situaciones. Los bipiridilos son cationes que se fijan fuertemente a los coloides del suelo, por lo que no manifiestan actividad a través del mismo.

Diquat y paraquat se usan en sistemas de labranza mínima para el control de malezas antes o después de la plantación, pero generalmente antes de un 10% de emergencia del cultivo. Estos se aplican como aspersiones dirigidas o protegidas con pantallas en muchos cultivos perennes templados y tropicales. Ambos se usan como desecantes para facilitar las cosechas y diquat se puede usar en ciertas situaciones de malezas acuáticas. Paraquat tiende a ser más activo contra gramíneas y diquat contra especies de hoja ancha.

Problemas. Paraquat posee una alta toxicidad para los mamíferos (DL50 oral para ratas es de 120 mg de ión paraquat/kg de peso corporal) y su uso ha sido prohibido en un grupo de países. Para reducir el riesgo de ingestión accidental comúnmente se formula con un agente emético y un tinte de coloración brillante. El concentrado se debe almacenar y manipular con gran cuidado y la solución diluída se debe aplicar con seguridad, siempre siguiendo las instrucciones de la etiqueta y usando ropa protectora. La toxicidad para mamíferos de diquat es menor (DL50 oral para ratas es de 230 mg

de ión diquat/kg de peso corporal) y cuando se diluye para control de malezas acuáticas tiene una toxicidad inferior, tanto para los peces como para los mamíferos.

El uso repetido de los bipiridilos en cultivos perennes ha conducido al desarrollo de biotipos tolerantes de 13 especies de malezas (LeBaron 1991).

Inhibidores del fotosistema 2: Triazinas

Características generales. Las triazinas tienen relativamente baja solubilidad en agua y se formulan como polvos humedecibles, concentrados suspensibles y granulados. Su volatilidad y fotodescomposición son bajas, siendo estables sobre las superficies de las plantas y el suelo. Comúnmente se aplican al suelo, donde son absorbidos por las raíces y, en menor medida, por las partes subterráneas de la planta, donde se mueven con la corriente transpiratoria del apoplasto. Generalmente requieren de lluvia o irrigación para su movilidad en el suelo y son más efectivas cuando se aplican sobre suelo húmedo comparado con suelo seco. Cuando se aplican con coadyuvantes, la mayoría de las triazinas pueden ser absorbidas foliarmente. Estos herbicidas son activos contra un amplio espectro de malezas de hoja ancha y gramíneas. La selectividad puede deberse a la protección en profundidad, ya que el herbicida puede permanecer por encima de las raíces del cultivo; al metabolismo del herbicida en el cultivo o a una combinación de ambos. La movilidad hacia abajo en el suelo depende de las propiedades químicas del herbicida, como son la solubilidad en agua, la capacidad para ser adsorbido por los coloides del suelo y las propiedades del suelo, tales como el contenido de materia orgánica, de arcilla y de agua.

Con la excepción de cyanazina, la toxicidad para mamíferos es baja (Tabla 2).

La afinidad de **atrazina** para ser adsorbida por los coloides del suelo es de moderada a alta por lo que las dosis se deben ajustar según el tipo de suelo. En suelos de alto contenido de materia orgánica, este herbicida solo debe usarse en post-emergencia. Su efecto generalmente brinda control de las malezas durante todo el ciclo del cultivo. Atrazina es el inhibidor del Fotosistema 2 más extensamente usado. Su uso se extiende a más de 7 millones de ha de maíz a nivel mundial anualmente. Sorgo, caña de azúcar y piña son otros cultivos beneficiados con este herbicida. Generalmente se aplica en PPI, en pre y post-emergencia temprana (acompañado de un coadyuvante oleoso) y controla muchas especies anuales gramíneas y de hoja ancha, pero su efecto es pobre sobre *Digitaria spp.*, *Panicum dichotomiflorum* Michx. A dosis altas se utiliza para el control total de malezas en áreas no cultivables.

Cianazina se enlaza con menor fuerza a los coloides del suelo que la atrazina y la tolerancia del maíz es limitada en suelos degradados, con bajo contenido de materia orgánica. Es más activa contra gramíneas problemáticas que atrazina, pero más débil contra *Amaranthus spp.* y *Abutilon theophrasti* Medic.. Se aplica como PPI, en pre y postemergencia temprana en maíz y, en menor grado, en colza y trigo. En el maíz, su vida corta en el suelo, de 7-10 semanas, le convierten en una opción ideal para reemplazar a atrazina y simazina, sobre todo cuando le seguirán cultivos susceptibles a estos herbicidas en la rotación.

Metribuzin. Esta triazina asimétrica posee una alta solubilidad en agua (1200 ppm), es relativamente móvil en el suelo, donde persiste durante todo el ciclo de desarrollo de la mayoría de los cultivos anuales. Metribuzin se usa en PPI y pre-emergencia para eliminar malezas de hoja ancha y gramíneas en soya, papa, tomate, alfalfa y caña de azúcar. También se usa en post-emergencia temprana en papa y tomate.

Prometrina se fija fuertemente a los coloides del suelo, con muy limitada movilidad y persistencia en el suelo: de 1 a 3 meses. Se usa en PPI y pre-emergencia para el control de malezas gramíneas y de hoja ancha en algodón.

Propazina. El comportamiento en el suelo es como el de prometrina, excepto que persiste durante 12-18 meses. Se usa en PPI y pre-emergencia para el control de malezas gramíneas y de hoja ancha en sorgo.

Simazina se fija fuertemente a los coloides del suelo, con limitada movilidad en el suelo y sus dosis se ajustan de acuerdo con el contenido de materia orgánica y de arcilla del suelo. Simazina brinda control de malezas durante la mayor parte del ciclo de desarrollo de los cultivos y sus residuos pueden dañar a cultivos susceptibles subsiguientes en la rotación, este herbicida no se absorbe foliarmente, solo lo hace a través de las raíces y se aplica en pre-emergencia o en post-emergencia de las malezas en combinación con un herbicida de contacto, como paraquat. Simazina controla malezas anuales de hoja ancha y gramíneas, incluyendo a algunas especies tolerantes a atrazina. Simazina se usa en PPI y pre-emergencia en maíz y en cultivos perennes establecidos, p.ej. alfalfa, caña de azúcar y especies leñosas. Se usa a dosis altas para el control total de malezas en áreas no cultivables.

Problemas. En climas áridos y en suelos de pH altos, la residualidad y el daño a los cultivos subsiguientes pueden ser un problema, sobre todo con atrazina y simazina.

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas con atrazina y, en menor grado, por simazina, ha conducido a la prohibición o a restricciones de su uso en algunos países, especialmente para el control total de malezas en áreas no cultivables, donde suelen aplicarse a dosis superiores a 9 kg de i.a./ha. El uso repetido de triazinas, especialmente en maíz y sorgo, ha conducido al desarrollo de biotipos resistentes de 40 especies de malezas de hoja ancha con puntos de acción de tipo Fotosistema 2 modificado, así como 17 especies gramíneas, en los que la resistencia se debe principalmente a un aumento del metabolismo del herbicida (LeBaron 1991).

Inhibidores del fotosistema 2: Ureas sustituidas y uracilos

Características generales. La mayoría de las ureas sustituidas tienen muchas características en común con las triazinas, pero su persistencia en el suelo, a dosis selectivas en los cultivos, tiende a ser menor (3 a 6 meses). Su solubilidad en agua y adsorción a los coloides del suelo están influenciados por el número de átomos de cloro en la molécula. Fenuron no tiene cloro alguno, por lo que es soluble en agua y fácilmente lixiviable en el suelo, mientras que diuron, con dos átomos de cloro, se fija fuertemente a los coloides y se puede usar en cultivos de con raíces profundas e incapaces de metabolizar al herbicida. El espectro de selectividad basado en el metabolismo es amplio, tales como chlorotoluron e isoproturon en trigo y cebada; diuron y fluometuron en algodón y linuron en papa. La actividad foliar se aumenta con el uso de tensoactivos. La mayoría de las ureas no son selectivas a dosis altas y pueden usarse para el control de vegetación en general, donde la persistencia debe ser de hasta dos años.

Los uracilos tienen propiedades similares a las ureas sustituidas, pero tienden a ser lixiviados más fácilmente y son menos selectivos. Estos se usan principalmente en cultivos perennes, como cítricos y para el control total de malezas, especialmente de especies perennes con raíces profundas.

Diuron se fija fuertemente a los coloides del suelo y resiste la lixiviación, por lo que se puede usar en cultivos de raíces profundas, como caña de azúcar, piña y cítricos. Este herbicida controla malezas gramíneas y de hoja ancha, se aplica en pre-plantación o pre-emergencia en el algodón. Se usa extensamente, a dosis altas, para el control total de malezas.

Isoproturon tiene limitada movilidad en el suelo y se usa para el control de malezas de hoja ancha y también gramíneas en pre y post-emergencia temprana en trigo, cebada y centeno. Su selectividad es limitada en algunas variedades.

Linuron se fija fuertemente a la materia orgánica, pero menos a las arcillas y su dosis de uso se ajusta de acuerdo al contenido de materia orgánica del suelo. Lluvias intensas son necesarias para lograr su actividad en el suelo. Linuron se usa en pre-emergencia en maíz, sorgo, zanahoria, nabo, acelga, papa y soya. Posee más actividad foliar que el diuron y su actividad pos-emergente se eleva con el uso de tensoactivos. Sin embargo, se debe aplicar de forma dirigida para mantener la selectividad en maíz, sorgo, algodón y soya. La zanahoria y la acelga toleran aplicaciones sobre todo el área de linuron, pero sin añadir coadyuvante.

Linuron se usa con tensoactivo o en mezcla con glifosato o paraquat sobre malezas emergidas antes de la plantación de soya en lechos de siembra preparados por labranza mínima o convencional.

Fluometuron es muy similar a linuron, pero solo persiste en el suelo por alrededor de dos meses. Se usa en pre y post-emergencia en algodón y caña de azúcar.

Terbacil, un herbicida uracilo, tiene una solubilidad en agua de 710 ppm y es relativamente móvil en el suelo, donde persiste hasta un año después de la aplicación con dosis altas. Se usa para controlar gramíneas anuales y perennes en cítricos y otros cultivos arbóreos, donde la selectividad dependerá de la profundidad de las raíces del cultivo. A dosis bajas controla selectivamente malezas anuales en alfalfa y es altamente selectivo en menta y menta piperita. El control post-emergente de malezas es superior con el uso de tensoactivos.

Problemas. Contaminación del agua subterránea ha tenido lugar cuando se ha usado intensiva y repetidamente (p.ej. isoproturon en el norte de Europa). Resistencia a las ureas sustituidas de una especie gramínea y cinco de hoja ancha, así como a bromacil de dos especies de hoja ancha ha sido objeto de comunicación (LeBaron 1991).

Inhibidores del fotosistema 2: Miscelaneos de acción foliar.

Bentazon es un herbicida de contacto que controla muchas malezas gramíneas, ciperáceas y de hoja ancha en soya, frijol mungo y guisantes. Es más efectivo sobre malezas en rápido crecimiento, en estadios jóvenes y su actividad se aumenta con la adición de tensoactivos o concentrados de aceite vegetal. No tiene actividad en el suelo y se degrada por los microorganismos del suelo en 1-2 meses.

Bromoxynil, un herbicida del grupo de los nitrilos, se usa en post-emergencia en trigo, cebada, avena, y centeno para controlar malezas anuales de hoja ancha, especialmente aquellas especies no controladas por 2, 4-D, MCPA ni mecoprop, con los cuales regularmente se suele mezclar. Bromoxynil tiene una toxicidad para mamíferos relativamente alta y su uso está restringido en muchos países.

Propanil, un herbicida del grupo de las anilidas, se usa en post-emergencia para el control de *Echinochloa* spp. y otras malezas gramíneas en arroz. Es un herbicida de contacto que se degrada rápidamente en la planta y en el suelo. El uso repetido de propanil ha conducido a la selección de algunos biotipos resistentes de *Echinochloa colona* (L.) Link (Garro et al 1991).

Inhibidores de la síntesis de clorofila: Difenil éteres

Características generales. Estos compuestos tienen poca solubilidad en agua, se fijan fuertemente a los coloides del suelo y no se lixivian. Tienen una persistencia en el suelo relativamente corta, de uno a tres meses y se usan en pre y post-emergencia para controlar principalmente malezas anuales de hoja ancha. La luz es requisito para su actividad y los síntomas de decoloración sólo son evidentes después de la emergencia de las plántulas y de su aplicación al suelo. Estos compuestos tienden a ser susceptibles a la fotodegradación y, aplicados en pre-emergencia, requieren de abundante lluvia para su incorporación en el suelo. La incorporación mecánica generalmente produce una excesiva dilución. Estos herbicidas poseen acción post-emergente de contacto y su selectividad se debe al metabolismo de las plantas, una restringida absorción o su ubicación. Se usan en un rango amplio de cultivos, como maíz, arroz, soya, algodón, hortalizas y frutales.

Acifluorfen se usa principalmente como tratamiento de contacto, de pos-emergencia temprana, contra malezas jóvenes en crecimiento activo, así como algunas gramíneas en soya y cacahuete.

Bifenox es activo bajo un amplio rango de condiciones climáticas y se usa en pre-emergencia para controlar principalmente malezas de hoja ancha en soya y sorgo granífero.

Oxyfluorfen se usa en pre-emergencia en soya, cacahuete y arroz y en post-emergencia dirigida en soya, maíz, algodón, frutales y nueces.

Inhibidores de la síntesis de carotenoides.

Características generales. Estos compuestos, de varias familias químicas, que incluye la piridazinona, norflurazon; la anilida, diflufenican y el compuesto amitrol, bloquean la síntesis de carotenoides. Todos causan decoloración de las partes aéreas nuevas del tallo emergente.

Amitrol. Este herbicida no es selectivo, de aplicación foliar, se mueve en el apoplasto y en el simplasto, se usa para controlar malezas anuales y perennes en áreas no cultivables. La muerte de la planta se produce lentamente y su actividad se eleva con la adición de tiocianato de amonio, lo cual reduce el metabolismo de amitrol en la planta. El herbicida persiste en el suelo de 2 a 4 semanas.

Diflufenican se aplica en pre o post-emergencia temprana en trigo y cebada para controlar especies de hoja ancha. Este se fija fuertemente a los coloides del suelo y se lixivia moderadamente. Se usa ampliamente en mezcla con isoproturon.

Norflurazon también se fija fuertemente a los coloides del suelo y se lixivia moderadamente. La dosis se ajusta de acuerdo al contenido de materia orgánica y de arcilla del suelo. El herbicida se disipa mediante volatilización, fotodescomposición y degradación microbiana, pero puede persistir en el suelo hasta un año. Se aplica en PPI o pre-emergencia para controlar gramíneas, ciperáceas y algunas malezas de hoja ancha en alfalfa, algodón, cacahuete, soya, frutales y viña.

Inhibidores de la biosíntesis de lípidos: Derivados clorados de ácidos alcanoicos.

Características generales. Dalapon y TCA son compuestos de vieja promoción, usados a dosis relativamente altas, para controlar gramíneas anuales e inhibir las

perennes. Ambos se lixivian fácilmente en el suelo, donde persisten de uno a tres meses.

Dalapon se aplica al follaje, pero también se absorbe en la planta por las raíces, donde se mueve a través del apoplasto y el simplasto. Se usa como tratamiento foliar previo a la siembra de un amplio grupo de cultivos de plantación y hortalizas, así como aspersión dirigida en frutales. Se usa a dosis altas para el control de gramíneas en áreas no cultivables. Los cultivos que crecen sobre suelo tratado con dalapon o TCA pueden sufrir reducción de la cera cuticular y entonces ser más susceptibles a herbicidas de aplicación foliar.

Inhibidores de la biosíntesis de lípidos: Oximas

Características generales. Los herbicidas de esta familia se conocen comúnmente como "dims" e incluyen a **alloxydim, clethodim, cycloxydim, sethoxydim y tralkoxydim**. Todos se aplican en post-emergencia, controlan muchas gramíneas anuales y perennes en la mayoría de los cultivos de hoja ancha. La absorción foliar es relativamente rápida con resistencia a las lluvias que ocurren una hora después de la aplicación. La persistencia en el suelo es relativamente corta, pero poco después de la aplicación del herbicida las gramíneas en germinación son controladas. La selectividad se debe a la ausencia de acción del herbicida en el punto de acción en los cultivos de hoja ancha. El metabolismo tiende a ser rápido en los cultivos y en el suelo.

Tralkoxydim es selectivo en trigo y cebada, controla *Avena fatua* L., *Setaria viridis* L. Beauv, *Lolium* spp. y otras malezas gramíneas en cereales.

Problemas. Se han informado poblaciones de *Loiium rigidum* Gaudich. resistentes a herbicidas oximas y con resistencia cruzada a los herbicidas ariloxifenoxi-alcanoicos (Heap 1991). Estos herbicidas son antagonistas de los del "tipo hormonal". El control de *Poa* spp. es usualmente débil.

Inhibidores de la biosíntesis de lípidos: Ésteres de ácidos ariloxi-fenoxialcanoicos.

Características generales. Los herbicidas de esta familia química se conocen comúnmente como los "fops", como **diclofop-metil, fluazifop-butil, fenoxaprop-etil, fenthiaprop-etil, haloxyfop-metil y quizalofop-etil**. Ellos comparten muchas características comunes con las oximas, que incluye la selectividad en cultivos de hoja ancha. Los herbicidas individualmente difieren en las dosis requeridas para destruir especies de gramíneas específicas. El primer "fop" comercializado, diclofop-metil, se usa a una dosis diez veces mayor que la de fenoxaprop-etil para el control de *Avena* spp. Además de la selectividad en cultivos de hoja ancha, fenoxaprop-etil está aprobado para su uso en trigo y arroz. Para lograr un buen margen de selectividad en el trigo, éste se formula con una sustancia protectora: **fenchlorazol, y clodinafop- propargyl** con la protectora **cloquintocet**.

Problemas. Igual que las oximas.

Inhibidores de la biosíntesis de lípidos: Tiolcarbamatos

Características generales. Estos herbicidas de aplicación al suelo tienen alta presión de vapor y deben ser incorporados al suelo inmediatamente después de la aplicación para evitar la pérdida de vapor. Las malezas anuales gramíneas y algunas de hoja ancha son controladas, mientras que algunas gramíneas perennes son inhibidas. Los meristemos de los tallos se inhiben y las hojas emergentes de plántulas de gramíneas se enrollan, surgen débiles y toman una coloración verde- oscura, que indica la ausencia de cera epicuticular. Las especies de hoja ancha susceptibles también emergen, pero no se desarrollan más allá del

estadio de plántulas. EPTC, butylate y vernolate tienen un margen de selectividad estrecho en maíz a dosis altas requeridas para eliminar gramíneas perennes. Debido a esto se recomienda el uso de formulaciones que poseen una sustancia protectora incorporada. Estos herbicidas se metabolizan rápidamente en las plantas y en el suelo, con una persistencia de alrededor de uno a tres meses.

EPTC se halla disponible como concentrado emulsionable y como granulado. Es uno de los herbicidas más volátiles (presión de vapor de 4.5 Pa), por lo que debe ser incorporado en el suelo. Se aplica sobre suelo seco para su inmediata incorporación mecánica. Alternativamente, como su solubilidad en agua es de 370 ppm, se puede usar el riego por aspersión para introducir el producto químico en el suelo. EPTC se fija débilmente a los coloides del suelo y abundantes lluvias pueden lixiviarlo fuera de la zona de germinación de las semillas. Su persistencia en el suelo es de dos a seis semanas. Se usa en PPI en un grupo amplio de cultivos, como maíz, leguminosas de semilla pequeña, frijoles, lino, papa, cártamo y girasol. Se aplica en post-emergencia para limpiar el suelo cultivado en frijoles, papa y cítricos establecidos. Las formulaciones que contienen la sustancia protectora, dichlormid, se pueden usar a dosis más altas en maíz para el control de gramíneas perennes y ciperáceas, las que se controlan mejor cuando los rizomas y tubérculos son fragmentados mediante la labranza para estimular la emergencia de las yemas.

Butylate. Este tiolcarbamato se usa en maíz y su acción es similar a EPTC, excepto que se lixivia menos en el suelo.

Pebulate se lixivia menos que EPTC y se usa antes del trasplante en tabaco, y en PPI y después del trasplante, incorporado, en tomates.

Triallate tiene baja solubilidad en agua, limitada lixiviación en el suelo y persiste hasta seis semanas. Se usa en PPI para el control de avena silvestre, muchas gramíneas anuales y algunas malezas de hoja ancha en trigo, cebada, guisantes, frijoles y lentejas. Además de la formulación de concentrado emulsionable para incorporación al suelo, existen granulados que no requieren incorporación.

Vernolate persiste en el suelo durante alrededor de dos semanas y se usa en PPI en maíz, soya y cacahuete.

Problemas. Los microorganismos del suelo que descomponen los tiolcarbamatos se multiplican en el suelo tratado, por lo que tratamientos sucesivos pueden tener una menor vida media, lo cual reduce su eficacia en el control de malezas. Algunas formulaciones de estos herbicidas incorporan un inhibidor microbiano para extender la persistencia en el suelo. Este problema puede ser resuelto, preferiblemente, mediante el uso de otros herbicidas con diferente composición química, durante dos o más años.

Inhibidores de la división celular: Cloroacetamidas.

Características generales. Estos herbicidas de aplicación al suelo controlan gramíneas anuales en germinación y algunas malezas de hoja ancha en un amplio grupo de cultivos. En las plántulas en germinación se absorben fácilmente por la parte aérea y las raíces, pero su movilidad dentro de la planta es limitada. La actividad meristemática se detiene en las puntas de las raíces y tallos, mientras que en las gramíneas generalmente se inhibe la emergencia de las hojas a partir de la vaina foliar, por lo que las malezas no emergen.

Alachlor es relativamente no-volátil, ligeramente soluble en agua y tiene una baja a moderada afinidad por los coloides del suelo. Se requiere su incorporación al suelo bajo

condiciones secas para el control de *Cyperus esculentus* L.. Alachlor se metaboliza rápidamente en los cultivos y persiste en el suelo de 6 a 15 semanas. Se usa en PPI en maíz, soya y cacahuete y en pre-emergencia en estos cultivos más frijol, algodón y papa.

Butachlor tiene una baja solubilidad en agua, se fija fuertemente a los coloides del suelo y requiere de la incorporación bajo condiciones secas. Se usa en PPI y en pre-emergencia de las malezas en arroz de siembra directa o trasplantado, y persiste en el suelo de 5 a 12 semanas.

CDA. Este compuesto relativamente volátil, normalmente no requiere incorporación al suelo, ya que tiene una solubilidad en agua de 2000 ppm y se introduce fácilmente en el suelo mediante la lluvia. No se fija fuertemente a los coloides del suelo y es efectivo en suelos de alto contenido de materia orgánica y arcilla, aún bajo condiciones secas. Persiste en el suelo alrededor de 4 a 9 semanas. Los cultivos en los que se usa en pre-emergencia son: maíz, sorgo, soya, patata dulce, caña de azúcar, frijoles, guisantes o arvejas, repollo, tomate y cebolla. Es extremadamente irritante a la piel y los ojos.

Metolachlor tiene usos similares a alachlor, pero es más móvil en el suelo y se puede usar en el sorgo granífero con una sustancia protectora.

Propachlor es efectivo en suelos de alto contenido de materia orgánica y bajo condiciones secas. Se usa en pre-emergencia en maíz, sorgo granífero, soya, repollo y cebolla.

Inhibidores de la división celular: Dinitroanilinas

Características generales. Estos herbicidas de aplicación al suelo controlan plántulas gramíneas y algunas especies de hoja ancha en un amplio grupo de cultivos. Todos tienen baja solubilidad en agua y se adsorben a los coloides del suelo. Varían en volatilidad y susceptibilidad a la fotodegradación desde trifluralin, que requiere de la incorporación al suelo, hasta oryzalin, que puede permanecer sobre la superficie del suelo sin pérdidas apreciables de eficacia. Las dinitroanilinas que no se incorporan mecánicamente requieren de lluvia para su lixiviación hacia la zona de germinación de las semillas en el suelo. Ninguno de estos herbicidas tiene actividad foliar, pero se absorben fácilmente por las raíces de las plántulas en germinación e inhiben el crecimiento de la raíz, a la vez que interfieren con la mitosis. Las plántulas tratadas desarrollan un abultamiento de la punta de las raíces y el desarrollo de raíces laterales también es inhibido. Inicialmente las plantas tienden a desarrollarse, pero la falta de desarrollo radical conduce a la muerte. La selectividad se logra mediante la ubicación del herbicida en el suelo, como una incorporación poco profunda por encima de un cultivo sembrado profundamente, así como mediante el metabolismo del herbicida en la planta. Las dinitroanilinas brindan un período largo de control.

Trifluralin. Para evitar degradación por volatilización y radiación UV, trifluralin generalmente se incorpora mecánicamente en el suelo, pero en países fríos, donde prevalece la neblina y las lluvias frecuentes, la aplicación superficial es satisfactoria, por lo que se utiliza de esta manera en cereales en el norte de Europa. En un amplio grupo de cultivos, como frijoles, soya, algodón, zanahoria, repollo, guisantes, cártamo y girasol se aplica en PPI. En algodón, papa y caña de azúcar se usa después de la plantación en pre-emergencia incorporada. También se utiliza en post-emergencia dirigida de los cultivos y pre-emergencia incorporada de las malezas, en maíz, algodón, cucurbitáceas, tomate, caña de azúcar y frutales. Dosis dobles se usan a veces en algodón y soya para el control de *Sorghum halepense*. Los residuos en el suelo, especialmente después de usar dosis elevadas, pueden dañar los cultivos subsiguientes en rotación, trifluralin es tóxico a los peces cuando se aplica directamente al agua, pero la incorporación al suelo no representa riesgos cuando se usa de

acuerdo a las recomendaciones de la etiqueta.

Benéfín se usa en pre o post-plantación incorporada en lechuga, cacahuete, leguminosas de grano pequeño y tabaco trasplantado.

Oryzalin es más lixiviable que trifluralin y se usa en pre-emergencia en soya y algodón; en pre-emergencia dirigida en frutales y viñas.

Pendimetalin no es fácilmente lixiviable y sus usos incluyen la aplicación PPI en algodón y soya; en pre-emergencia en maíz, especialmente para el control de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.), en trigo, cebada y girasol.

Inhibidores de la división celular: Carbamatos.

Características generales. Los herbicidas carbamícos tienen corta persistencia en el suelo por lo que protham y chlorprotham, de aplicación al suelo, son usados en climas más fríos, donde la degradación en el suelo es más lenta. Estos controlan plántulas anuales gramíneas y de hoja ancha. Asulam se absorbe en la planta a través de las partes aéreas y las raíces. Su mayor uso es en post-emergencia.

Asulam. Este carbamato se aplica en post-emergencia para el control de gramíneas anuales y perennes, así como para controlar el helecho *Pteridium aquilinum* L.. Su translocación tiene lugar en el apoplasto y el simplasto. Se usa en caña de azúcar, lino, alfalfa y áreas de bosques.

Protham es más volátil y lixiviable que chlorprotham y se usa bajo condiciones frías, donde persiste en el suelo durante 5-20 días. Se usa en PPI y pre-emergencia en alfalfa, trébol, lechuga, guisantes, lentejas, remolacha azucarera y gramíneas perennes establecidas.

Herbicidas de tipo auxina: Ácidos ariloxi-alcanoicos

Características generales. Estos herbicidas se introdujeron a mediados de los años cuarenta y son los más extensamente usados a nivel mundial. Son aplicados principalmente al follaje, pero también pueden ser absorbidos por las raíces, mientras que el ingrediente activo se transloca a través del apoplasto y el simplasto. Estos herbicidas controlan muchas malezas de hoja ancha en cultivos gramíneos, como maíz, sorgo, trigo, cebada, avena, centeno, arroz, caña de azúcar y pastos. También se usan para controlar plantas leñosas de hoja ancha en áreas cultivadas y no cultivadas, plantas acuáticas en algunas situaciones. Estos compuestos son degradados por los microorganismos del suelo y tienen una persistencia relativamente breve en el suelo. A continuación del tratamiento en plantas susceptibles, se produce epinastia, seguida de torción de la planta dentro de pocas horas, pero la muerte puede demorar varias semanas. Existen muchas formulaciones de estos herbicidas, sea solos o en mezclas con otros herbicidas.

2,4-D, primer herbicida "fenoxi" introducido, es disponible en formulaciones de sal amina, éster y granulado (vea formulación de herbicida). Las dosis requeridas para controlar plántulas de malezas de hoja ancha son selectivas en granos pequeños, maíz y sorgo de grano, pero el cultivo debe tener al menos cuatro hojas para evitar la fitotoxicidad del herbicida. Fitotoxicidad en el cultivo puede tener lugar con la aplicación de las dosis requeridas para controlar malezas de alto porte, anuales y perennes. Generalmente la actividad a través del suelo es menor que la que se logra mediante la aplicación foliar. No obstante 2, 4-D se usa en pre-emergencia, después de la siembra y antes de la emergencia del maíz, en suelos de alto contenido de materia orgánica. La deriva de las gotas de la aspersión y los vapores pueden dañar especies susceptibles no objeto de la aplicación. Los problemas de deriva de vapores son mayores con los ésteres, que deben ser sustituidos por sales amina o sódica cuando estén presentes

especies susceptibles no objeto del tratamiento.

2, 4-DB solamente se aplica en post-emergencia y es selectivo en plántulas o cultivos establecidos de leguminosas.

Dichlorprop brinda un mejor control en comparación con 2, 4-D de algunas malezas, como *Stellaria media* y *Polygonum* spp.. Es selectivo en post-emergencia en trigo, cebada y avena y se usa para el control de malezas arbustivas en áreas no cultivables.

MCPA se usa en post-emergencia y es más selectivo que 2, 4-D a dosis equivalentes en cereales, leguminosas y lino. Persiste en suelo cálido y húmedo durante un mes aproximadamente y hasta seis meses en situaciones secas.

MCPB, comparado con el MCPA, es más selectivo en cereales y es particularmente selectivo en leguminosas, como guisantes y trébol. MCPB brinda buen control de *Cirsium arvense*.

Mecoprop se aplica en post-emergencia en trigo, cebada y avena. Controla efectivamente muchas malezas problemáticas de hoja ancha, como *Galium aparine*, *Stellaria media* y *Polygonum* spp.

Herbicidas de tipo auxina: Ácidos aril-carboxílicos

Características generales. Estos herbicidas se formulan como sales aminas, de amonio o potásicas y se absorben en la planta a través del follaje y las raíces, produciendo síntomas similares a los ácidos ariloxi-alcanoicos. No son adsorbidos por los coloides del suelo y son móviles en el suelo. Todos, excepto chloramben y chlorthal-dimetil, se usan en pos-emergencia, aunque poseen actividad en el suelo. Comúnmente se usan en mezclas con otros herbicidas.

Dicamba es útil para controlar algunas especies anuales y perennes de hoja ancha no controladas por los herbicidas ariloxi-alcanoicos, en maíz, sorgo granífero, cereales de grano pequeño, caña de azúcar y espárrago. También se usa en el control de especies de arbustos leñosos, enredaderas en pastos y sabanas. Se degrada rápidamente en el suelo. Muchos cultivos de hoja ancha, como soya, algodón, viñas y árboles frutales, son altamente susceptibles a la deriva de gotas y vapores de dicamba, que tiende a ser más fitotóxico que de 2, 4-D y otros herbicidas ariloxi-alcanoicos.

2, 3, 6 TBA se usa en combinación con otros herbicidas de tipo auxina en el control de malezas anuales y perennes de hoja ancha, como *Convolvulus* spp. Se usa sólo como tratamiento sobre manchas de malezas perennes y especies leñosas. Tiene larga persistencia en el suelo, desde pocos meses hasta más de un año, dependiendo del suelo y las condiciones climáticas. Los residuos permanecen en la paja de los cereales, la cual no se puede usar en compostes ni como acolchado en cultivos susceptibles.

Chloramben se aplica al suelo y tiene limitada movilidad en las plantas, donde inhibe el desarrollo de las raíces de las plántulas. Se mueve fácilmente y es lixiviado en el suelo, donde persiste de 6 a 10 semanas. Se usa en PPI y en pre-emergencia en maíz, soya, cacahuete, cucurbitáceas, pimienta y girasol.

Chlorpyralid. Este herbicida de aplicación pos-emergente es efectivo contra malezas difíciles de controlar, como *Cirsium arvense*, en áreas de cereales de grano pequeño. Se usa en mezclas en cereales de grano pequeño, así como sólo en crucíferas, remolacha y lino.

Herbicidas de tipo auxina: Ácidos quinolino carboxílicos

Quinmerac tiene actividad pre y post-emergente contra varias malezas importantes de hoja ancha, como *Galium aparine*, *Veronica hederaefolia* L. y *Lamium purpureum* L.. A las dosis de uso en trigo, cebada, colza y remolacha azucarera, se fija moderadamente a los coloides del suelo, donde persiste hasta seis meses. Se absorbe en la planta a través de la parte aérea y las raíces, produciendo los síntomas clásicos de tipo auxina.

Quinclorac, por el contrario, se usa para el control post-emergente de *Echinochloa* spp. en arroz de siembra directa o trasplantado.

Inhibidores de la síntesis de aminoácidos aromáticos: Glifosato

Características generales. A pesar de la intensa investigación, glifosato es el único herbicida que bloquea la síntesis de aminoácidos aromáticos y es el herbicida de postemergencia no selectivo más extensamente usado. Comúnmente es disponible en formulaciones líquidas solubles de la sal isopropilamina que contienen diferentes tensoactivos y cantidades de ingrediente activo. Glifosato solamente entra en la planta a través de los tejidos verdes de las plantas para moverse en el apoplasto y en el simplasto rápidamente hacia los meristemos, donde detiene el crecimiento, apareciendo los síntomas foliares de clorosis y necrosis entre pocos días y una semana. Se fija moderadamente a los coloides del suelo y se degrada microbiológicamente en un plazo de uno a cuatro meses. Controla la mayoría de las malezas anuales y perennes, así como algunas especies leñosas. El momento de la aplicación es importante para el control de las malezas perennes, ya que el control de las yemas en los propágulos subterráneos dependerá de que glifosato se mueva con los productos de la fotosíntesis desde el follaje hacia los órganos de almacenamiento. Como regla general, se aplica sobre especies perennes en crecimiento activo, con varias hojas recién abiertas, pero antes de la floración. Se usa extensamente antes de la plantación del cultivo, pero de existir malezas perennes, se deberá dejar de tres a cuatro días entre la aplicación y la labranza para permitir el máximo de acción sistémica del herbicida. Glifosato se usa de esta forma para casi todos los cultivos anuales y en los sistemas de labranza mínima. En algunos países se aplica para controlar focos aislados de malezas perennes, inmediatamente antes de la cosecha, en cereales de grano pequeño. Se usa en aspersión dirigida o con pantalla en muchos cultivos perennes. La ubicación selectiva del herbicida se logra mediante tratamientos dirigidos sobre los focos y mediante el uso de tubos con cordones, brochas, rodillos, mojadores por frotación y otros dispositivos. Se usa extensamente en áreas no cultivadas para el control total de malezas y es de uso seguro en lugares cercanos al agua.

Problemas. Glifosato penetra el follaje con relativa lentitud y es vulnerable al lavado por lluvia. Normalmente se requiere un período de seis horas sin lluvia después de la aspersión para asegurar un efecto fitotóxico óptimo. Con dosis reducidas se requerirá un período más largo sin lluvia. Cuando las dosis son reducidas es importante agregar un agente tensoactivo apropiado. En los cultivos perennes se debe tener cuidado de evitar el contacto de la aspersión con los tejidos verdes de la planta, ya que aún a dosis muy bajas el desarrollo de los tallos y flores será afectado por vía sistémica. Bajo condiciones húmedas, las posturas para el trasplante y las plántulas de semillas son dañadas a veces por el contacto con el follaje de malezas tratadas con glifosato.

Para información detallada sobre el modo de acción y uso de este importante herbicida vea a Grossbard y Atkinson (1985).

Inhibidores de la síntesis de glutamina: Glufosinato

Glufosinato-amónico es un herbicida de post-emergencia, no selectivo, que se absorbe por el follaje, pero tiene acción sistémica limitada. Se usa después de la cosecha para el control de malezas, en áreas de barbecho y como aspersión dirigida en algunos cultivos perennes. Se usa como desecante para facilitar la cosecha en colza y algunas variedades de papa. Es resistente a las lluvias después de cuatro a seis horas.

Bialaphos se metaboliza a glufosinato en la planta y tiene características similares.

Inhibidores de la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada: Sulfonilureas.

Características generales. Estos herbicidas desarrollados durante los años ochenta inhiben la acetolactato sintetasa y tienen dosis de aplicación muy bajas: de 2 a 75 g i.a./ha. Se ha detectado selectividad basada en una rápida inactivación metabólica en varios cultivos, como trigo, cebada, maíz, arroz, soya y colza. Las sulfonilureas tienen muy baja toxicidad para los mamíferos, bajo riesgo al ambiente, se hidrolizan y se degradan por los microorganismos del suelo. Estos herbicidas son ácidos débiles y se ionizan a pH alto; la forma neutra es más lipofílica y menos soluble en agua que la forma amónica. La solubilidad en agua del chlorosulfuron aumenta desde 60 ppm a pH

5 hasta 7000 ppm a pH 7. A pH bajo tienden a fijarse más fuertemente a los coloides del suelo y a ser menos móviles. La hidrólisis de estos herbicidas es mucho más rápida a pH bajo que a pH alto y la vida media por hidrólisis de metsulfurón-metil es de 2.1

días a pH 5 y de 33 días a pH 7. Así, la degradación microbiana es más importante a pH neutro y alcalino. Las sulfonilureas se absorben bien a través de las hojas y las raíces, se mueven fácilmente en el apoplasto y el simplasto para acumularse en los meristemas. A sólo pocas horas de la aplicación el crecimiento de los tallos y raíces se detiene, pero los síntomas fitotóxicos, como la clorosis del follaje, se desarrollan en un plazo de cuatro a diez días después de la aplicación. Se aplican en pre y post-emergencia para controlar varias malezas de hoja ancha y algunas gramíneas. La actividad residual depende del pH del suelo y de las características de los compuestos individualmente. El modo de acción, la selectividad en los cultivos y el comportamiento en el suelo de las sulfonilureas han sido analizados por Brown (1990). Varias nuevas sulfonilureas, con selectividad en un mayor número de cultivos, están cercanos a su comercialización.

Bensulfuron-metil. Este herbicida es usado a veces en mezcla con una sustancia protectora, dimepiperato, para el control principalmente de malezas de hoja ancha y de algunas ciperáceas en arroz.

Chlorimuron se usa para controlar muchas malezas de hoja ancha y ciperáceas en soya.

Chlorsulfurón es activo, principalmente, contra malezas de hoja ancha y algunas gramíneas en trigo, cebada y lino. Es una de las sulfonilureas más persistentes en el suelo. Controla ciertas malezas perennes, como *Cirsium arvense*.

Metsulfuron-metil, usado principalmente en trigo, cebada, avena y maíz, tiene una persistencia más corta en el suelo y se usa como alternativa preferencial al chlorsulfuron en muchas situaciones.

Primisulfuron-metil se usa para controlar *Sorghum* spp. y *Elytrigia repens* (L.) Nevski en post-emergencia en maíz. También elimina a un número de malezas de hoja ancha. Es moderadamente persistente y el riesgo de daños por residualidad a los cultivos subsiguientes

es bajo.

Sulfometuron-metil es un herbicida no selectivo usado en áreas no cultivadas.

Thifensulfuron tiene una persistencia en el suelo relativamente corta y muy bajo riesgo de problemas de daños por residualidad en el suelo. Controla malezas de hoja ancha en soya, trigo y cebada. En cereales de grano pequeño a menudo se usa en combinación con metsulfuron-metil.

Trisulfuron tiene selectividad en los cultivos y actividad de control de malezas bastante similar a metsulfuron. Se usa en pre y post-emergencia para el control de malezas de hoja ancha, como *Viola tricolor*, L. en cereales de grano pequeño.

Problemas. La persistencia en el suelo depende del compuesto específico, del pH del suelo, la temperatura y del momento de aplicación. Bajo condiciones de alto pH, temperaturas frías y abundante lluvia, donde la lixiviación en el suelo excede la evapotranspiración, algunas sulfonilureas, como chlorsulfuron, pueden persistir en el suelo y afectar el cultivo subsiguiente en rotación, de ser éste último muy susceptible. Por ejemplo, la remolacha azucarera es dañada por 0.1 ppb de chlorsulfuron, mientras que el arroz y el sorgo son afectados por la misma concentración de chlorimuron. Por lo tanto, se deben seguir las recomendaciones sobre rotación de cultivos indicadas en las etiquetas de los envases. Alternativamente, existen sulfonilureas disponibles para cultivos de cereales, con persistencia en el suelo bastante breve. Debido a esta alta residualidad, es importante lavar minuciosamente las asperjadoras con el uso de un agente de lavado de alto pH para aumentar la solubilidad del compuesto. Varios biotipos de malezas, resistentes a las sulfonilureas han sido identificados, en algunos casos, con resistencia cruzada a las imidazolinonas. La resistencia se debe a una modificación del punto de acción (Thill *et al.* 1991).

Inhibidores de aminoácidos de cadena ramificada: Imidazolinonas.

Características generales. Las imidazolinonas, aunque químicamente diferentes de las sulfonilureas, comparten el mismo sitio de acción y muchas propiedades, como es el comportamiento en el suelo y muy baja toxicidad en los mamíferos. Estos herbicidas se absorben foliarmente y a través del suelo. Poseen actividad residual. Para una reseña detallada sobre los herbicidas imidazolinonas vea a Shaner y O'Connor (1991).

Imazapyr. Este es un herbicida de amplio espectro que controla la mayoría de las malezas gramíneas y de hoja ancha anuales y perennes, incluyendo arbustos leñosos y árboles decíduos en áreas no cultivables. Se usa también en algunos cultivos de plantación, como caña de azúcar, caucho y palma de aceite. A las dosis usadas en áreas no cultivadas, puede persistir en el suelo durante más de un año.

Imazamethabenz-metil controla *Avena spp.*, *Apera spica-venti*, varias gramíneas y especies de hoja ancha en cebada y trigo. Se aplica en post-emergencia y tiene actividad en el suelo, por lo que controla las malezas que germinan después de su aplicación.

Imazaquin se usa en soya y se aplica en PPI, pre y post-emergencia para controlar muchas malezas de hoja ancha y *Setaria spp.* Se metaboliza rápidamente en la soya. Es persistente en el suelo y en la etiqueta están indicadas las restricciones sobre la rotación de varios cultivos susceptibles, como maíz y sorgo.

Imazethapyr también se usa ampliamente en soya y otras leguminosas, como cacahuete, guisantes, frijol y alfalfa. Un extenso número de malezas son controladas, como muchas gramíneas. Restricciones rotacionales se aplican a varios cultivos, como sorgo, algodón y

arroz.

Los **problemas** son en general similares a los asociados a las sulfonilureas.

La información en esta sección está basada en información del Manual de Herbicidas de la Sociedad de Ciencia de Malezas de EE.UU. (Herbicide Handbook of the WSSA), 6ta. edición, 1989 (Anon.1989); El Manual de Plaguicidas (The Pesticide Manual) 9na. edición, 1991 (Worthington y Hance 1991) y literatura de firmas productoras.

Referencias

Anon 1988. *BCPC Nozzle Selection Handbook*. British Crop Protection Council, Farnham, U.K. 40 pp.

Anon 1989. *Herbicide Handbook of the Weed Science Society of America*. 6th Edition. Champaign, Illinois, EE.UU. 301 pp.

Caseley, J.C., B.J. Wilson, E. Watson y G. Arnold 1993. Enhancement of mechanical weed control by sub-lethal doses of herbicide. *Proceedings European Weed Research Society Symposium Braunschweig*, en imprenta.

Coupland D., W.A. Taylor y J.C. Caseley 1978. The effect of site of application on the performance of glyphosate on *Agropyron repens* and barban, benzoilprop-ethyl and difenzoquat on *Avena fatua*. *Weed Research* **18**: 123-128.

Devine M.D. 1988. Environmental influences on herbicide performance: a critical evaluation of experimental techniques. *Proceedings EWRS Symposium 'Factors affecting herbicidal activity and selectivity'*. Wageningen, Holanda. pp 219-226.

Devine, M.D., S.O. Duke y C. Fedtke 1993. *Physiology of herbicide action*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ., EE.UU. 441 pp.

Finney J.R. 1988. World crop protection prospects: demisting the crystal ball. *Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases* **1**: 3-14.

Garro J.E., R. de la Cruz y P.J. Shannon 1991. Propanil resistance in *Echinochloa colona* populations with different herbicide use histories. *Brighton Crop Protection Conference - Weeds*, pp 1079-1083.

Graham-Bryce I.J. 1989. Environmental impact - putting pesticides into perspective. *Brighton Crop Protection Conference - Weeds*, pp 3-20.

Green M.B., G.S. Hartley y T.F. West 1987. *Chemicals for crop improvement and pest management*. 3ra edición. Pergamon, Oxford. Reino Unido, 370 pp.

Grossbard E. y D. Atkinson 1985. The herbicide glyphosate. Butterworths, Londres, Reino Unido, 490 pp.

Hance R.J. 1980. *Interactions between herbicides and the soil*. Academic Press,

Londres, Reino Unido, 349 pp.

Hance R.J. y K. Holly 1990. *Weed control handbook: principles*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, R.U. 582 pp.

Headford D.W.R. y G. Douglas 1967. Tuber necrosis following the desiccation of potato foliage with diquat. *Weed Research* **7**: 131-144.

Headford D.W.R. 1979. Influence of light on paraquat activity in the tropics. *Pesticide Science* **1**: 41-42.

Heap I.M. 1991. Resistance to herbicides in annual ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. En: J.C. Caseley, G.W. Cussans y R.K. Atkin (Eds.). *Herbicide resistance in weeds and crops*. Butterworth-Heinemann, Oxford, R.U. pp 57-66.

Holloway P.J. 1993. *Adjuvants for agrochemicals: why do we need them?* Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen. Rijksuniversiteit Gent (en imprenta).

Komives T. 1992. Herbicide safeners: chemistry, mode of action, application. *Weed Abstracts* **41**: 553-560.

Kudsk P. 1989. Experiences with reduced herbicide doses in Denmark and the development of the concept of factor-adjusted doses. *Brighton Crop Protection Conference - Weeds*, pp 545-554.

LeBaron H.M. 1991. Distribution and seriousness of herbicide-resistant weed infestations worldwide. En: J.C. Caseley, G.W. Cussans y R.K. Atkin (Eds.). *Herbicide resistance in weeds and crops*. Butterworth-Heinemann, Oxford pp 27-44.

Matsunaka S. 1968. Propanil hydrolysis: inhibition in rice plants by insecticides. *Science* **60**: 1360-1361.

Matthews G.A. 1992. *Pesticide application methods*. 2da edición. Longman, Harlow, R.U.. 405 pp.

Mine A., M. Miyakado y S. Matsunaka 1975. The mechanism of bentazon selectivity. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **5**: 566-576.

Moss S.R. y G.W. Cussans 1991. The development of herbicide-resistant populations of *Alopecurus myosuroides* (black-grass) in England. En: J.C. Caseley, G.W. Cussans y R.K. Atkin (Eds.). *Herbicide resistance in weeds and crops*. Butterworth Heinemann, Oxford, pp. 45-57.

Moyer J.R. 1987. Effect of soil moisture on the efficacy and selectivity of soil-applied herbicides. *Reviews of Weed Science* **3**: 19-34.

Owen, W.J. 1991. Differential inhibition of plant acetyl CoA carboxylase - the biochemical basis for the selectivity of the aryloxyphenoxypropanoate and cyclohexanedione herbicides. En: J.C. Caseley, G.W. Cussans y R.K. Atkin (Eds.). *Herbicide resistance in weeds and crops*. Butterworth-Heinemann, Oxford R.U. pp 199-212.

Parry K.P. 1989. Herbicide use and invention. En: A.D. Dodge (Ed.). *Herbicides and plant metabolism*. Cambridge University Press, Cambridge, R.U. pp 1-20.

Shaner D.L. y S.L. O'Connor 1991. The imidazolinone herbicides. CRC Press, Boca Raton, Florida, EE.UU., 289 pp.

Suwunnamek U. y C. Parker 1975. Control of *Cyperus rotundus* with glyphosate: the influence of ammonium sulphate and other additives. *Weed Research* **15**: 13-19.

Thill D.C., C.A. Mallory-Smith, L.L. Saari, J.C. Cotterman y M.M. Primiani 1991. Sulfonylurea herbicide-resistant weeds: discovery, distribution, biology, mechanism and management. En: J.C. Caseley, G.W. Cussans y R.K. Atkin (Eds.). *Herbicide resistance in weeds and crops*. Butterworth-Heinemann, Oxford, R.U. pp 115-128.

Walker A. 1987. Herbicide persistence in soil. *Reviews of Weed Science* **3**: 1-17.

Worthington C.R. y R.J. Hance 1991. *The Pesticide Manual 9th Edition*. The British Crop Protection Council, Farnham, R.U. 1141 pp.
