

HERBICIDAS

AVANCES EN LA TECNOLOGIA DE HERBICIDAS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL

Dr. Marcelo Kogan A.
Ingeniero Agrónomo.
Depto. de Ciencias Vegetales.
Pontificia Universidad Católica de Chile.

Uno de los mayores problemas del mundo actual es la inferioridad del incremento de la producción agropecuaria con respecto al aumento de la población. La producción de alimentos no es suficiente para satisfacer una demanda siempre mayor. Ante este hecho, las pérdidas ocasionadas por malezas en los cultivos adquieren real importancia, ya que es imperativo aumentar la productividad de las zonas de aptitud agrícola. Una de las formas de lograr ese objetivo es mantener un estricto control sobre enfermedades, insectos y malezas, pues constituyen los principales agentes que causan efectos depresivos en los rendimientos de los cultivos.

En países tan avanzados como Estados Unidos, las pérdidas anuales de rendimientos en los cultivos debido a las malezas, en términos económicos, ascienden a 7.5 billones de dólares. A eso habría que agregar el costo de los herbicidas, estimado en 2.1 billones de dólares; el costo de aplicación, de 1.0 billón y unos 3.1 billones por concepto de equipos, mano de obra, etc. Así, el costo anual de las malezas en Estados Unidos es cercano a los 14 billones de dólares.

Desgraciadamente no se cuenta con los estudios necesarios para estimar el costo anual de las malezas en Chile, no obstante se puede señalar que al menos un 20 a 30 por ciento de la producción potencial de trigo y maíz se pierde a causa de la interferencia de las malezas con los cultivos. En el caso de los huertos frutales, en muchos casos las pérdidas son del orden del 20 por ciento o superiores, especialmente cuando el problema lo constituyen las malezas perennes.

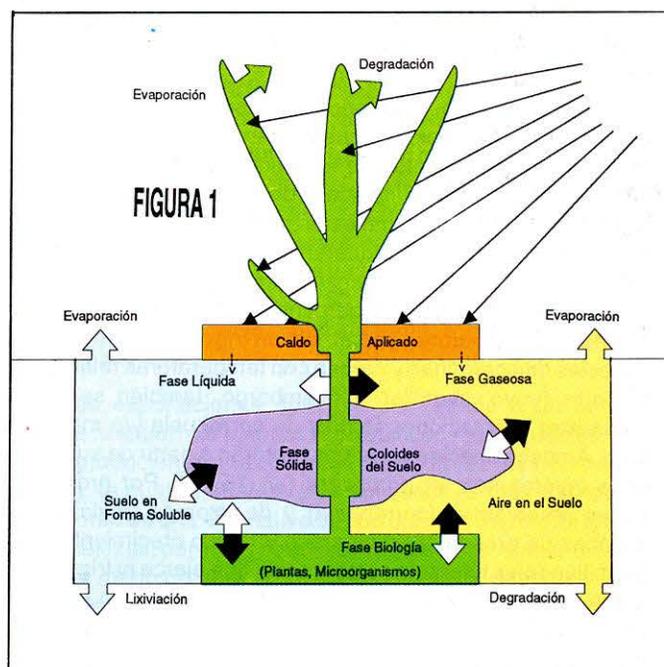
El daño ocasionado por las malezas no sólo comprende la disminución en la producción sino que también tiene una serie de derivaciones, tales como los costos de falso flete, de secado y de limpieza de granos. Además, existen documentados casos en que algunas especies de malezas sirven como huéspedes intermediarios para plagas y enfermedades que atacan a los cultivos. Por otra parte, no se debe olvidar que la presencia de malezas obliga al agricultor a tomar medidas de combate, ya sean mecánicas y/o químicas, lo cual eleva los costos de producción.

MALEZAS

Desde un punto de vista botánico, no se puede clasificar a las plantas como "buenas" o "malas". Al hablar de una mala hierba

o maleza, se emite una opinión que está condicionada a las circunstancias. Una maleza puede, en determinadas condiciones, tener importancia económica. Es decir, una planta puede ser perjudicial en un lugar y deseable en otro. El término maleza no envuelve, por lo tanto, un concepto rígido, ya que se llegará a estimar como maleza a toda planta que crece en un lugar donde el hombre no desea que lo haga. En otras palabras, "toda planta que crece fuera de lugar".

Una definición de maleza, por cierto optimista, "toda planta a la que aún no se le ha encontrado utilidad". Un excelente ejemplo es el caso de la maleza *Oenothera spp*, conocida como "Don Diego de la noche", cuyas semillas -ricas en ácidos grasos esenciales para el hombre- se empezaron a exportar a Europa en 1984. CIDERE Bío-Bío estima que esta "ex maleza" regional



La actividad microbológica del suelo y los procesos físicos son los responsables de la disipación de los herbicidas.

pasará a constituir un nuevo rubro de producción en la región de Los Angeles.

Las malezas se pueden clasificar de acuerdo a diversos aspectos relacionados con el hábitat, ciclo de vida, morfología y fisiología. Desde un punto de vista agronómico aplicado, la clasificación según ciclo de vida es adecuada. Así, las malezas pueden ser consideradas como anuales, bianuales y perennes, si completan su ciclo de vida en uno, dos o se perpetúan a través del tiempo mediante estructuras vegetativas, respectivamente. Las anuales y bianuales se propagan únicamente por semillas. Las perennes pueden ser simples si la propagación por semillas es la más importante, pero también trozos de raíces pueden constituir propágulos cuando son cortados mecánicamente. Las otras especies perennes conocidas como profundizadoras, son las que además de producir semillas producen diversos tipos de propágulos vegetativos, según la especie (Cuadro 1).

Existen cerca de 450 familias de plantas que producen semillas en el mundo, con aproximadamente 250.000 especies. Sólo un 3 por ciento (8000 especies) son reconocidas como malezas en algún lugar del mundo y solamente un 0.1 por ciento (250 especies) son consideradas como problema en la agricultura mundial. En Chile, en la sub-clase de las Monocotiledóneas se ubican familias realmente importantes por su incidencia así como por la agresividad de sus miembros. La familia de las Gramíneas está representada por unas 40 especies, de las cuales la mitad se encuentra interfiriendo con el buen desarrollo de la mayoría de los cultivos. La familia de las Cyperáceas no es numerosa, pero sí de difícil control. Representantes de la familia de las Amarilidáceas son muy escasos y no constituyen en la actualidad un grave problema. La subclase de las Dicotiledóneas comprende aproximadamente 20 familias de malezas y en cada una sobresalen como problema entre 2 a 10 especies. Las familias más representativas son: Crucíferas, Polygonáceas, Solanáceas y Convolvuláceas.

MALEZAS "PROBLEMA" DE CULTIVOS EN CHILE

No existe realmente, para todos los casos, una relación directa entre cultivo y las malezas que crecen asociadas a él. Lógicamente los requerimientos de temperatura y fotoperíodo de un cultivo lo encuadran en una época de siembra determinada y, de la misma manera, las malezas que crezcan serán las que representen los mismos requerimientos. Así, asociadas al maíz crecerán principalmente malezas que requieren de temperaturas relativamente altas para germinar (por ejemplo, *Amaranthus*, *Chenopodium*, *Datura*), en cambio en trigo de invierno lo harán especies que germinan y crecen con temperaturas relativamente bajas (yuyo, avenilla). Sin embargo, también se pueden manifestar infestaciones tardías de correhuela y/o maicillo en trigo. Ambas especies perennes brotarán a partir de sus estructuras invernantes en primavera (± 15 °C). Por provenir de raíces reservantes (correhuela) y de rizomas (maicillo), son capaces de presentar un vigoroso y rápido crecimiento inicial, permitiéndoles tolerar la competencia que ejerce el trigo, cultivo que en ese momento se encuentra en un avanzado estado de desarrollo.

En cultivos perennes como frutales, se presentarán tanto malezas que germinan y crecen típicamente en otoño-invierno y aquellas que lo hacen en primavera-verano. En el caso de praderas artificiales, luego de algunos años prevalecerán male-

zas cuyo hábito de crecimiento más se adapte al manejo de la pradera. Así, por ejemplo, si al establecimiento de una pradera de alfalfa para corte (fardos) se identifican típicas malezas anuales y chéptica, lo más común es que luego de algunos años sea la chéptica la que predomine. La característica de crecimiento rastrero y a través de estolones, le permitirá escapar al corte y propagarse, y desplazar a las especies anuales. Muchas de las malezas anuales serán segadas antes que semillen.

Otro caso importante de mencionar es el arroz, cultivo que en Chile sólo se realiza bajo condiciones de inundación, donde predominarán aquellas especies que son capaces de germinar y crecer en condiciones anaeróbicas. Malezas que crecen en esas condiciones son: ***Alisma plantago*** (hualtata); ***Echinochloa spp.*** (hualcachò) y algunas cyperáceas como ***Cyperus rotundus*** (chufa púrpura), ***Cyperus difformis***, ***Cyperus eragrostis*** (cortadera), además de ***Sagitaria chilensis*** (rosa de agua). Sin embargo especies como hualcachò y chufa púrpura no sólo son problemas en arroz, sino también en una serie de otros cultivos de importancia que, por cierto, no requieren de inundación.

Considerando la discusión anterior, en el Cuadro 2 se presenta una lista parcial de las malezas de mayor incidencia en algunos cultivos.

ESTRATEGIAS DE CONTROL

Las malezas anuales representan el mayor número de especies, crecen en todas las situaciones y épocas, pero son las más fácilmente controlables, sea con las labores de preparación de suelo, control mecánico-manual, cultivadores o herbicidas. Normalmente estas especies se controlan con herbicidas suelo-activos en el momento de la germinación o inmediatamente luego de ella. Cuando se usan herbicidas aplicados al follaje, es normal que la tolerancia aumente con la edad. Como el único medio de perpetuación de las malezas anuales son las semillas, se deberá evitar por cualquier medio la producción de éstas. De no ser así, se agregarán año a año más semillas al "banco de semillas de malezas" del suelo.

En el caso de las especies bianuales, la aplicación de herbicidas se debería realizar en el primer año con productos de translocación (productos que, una vez aplicados al follaje, penetran y se mueven principalmente hacia los puntos de crecimiento).

Las malezas perennes, aunque reducidas en número, son agresivas y de difícil control. Por lo general, el uso de implementos como arados, rastras y cultivadores contribuyen a su diseminación. El control de estas especies debe contemplar un programa de tratamientos, que en ningún caso duraría menos de tres años. Aún más, en muchos casos es necesario combinar los tratamientos químicos con el uso de implementos mecánicos. El principal objetivo de un programa de control de especies perennes es promover la mayor y más uniforme emergencia de plantas a partir de estructuras invernantes para luego, con el uso de herbicidas, evitar que las plantas produzcan nuevas estructuras de reproducción, tanto vegetativas como semillas.

HERBICIDAS

Uno de los primeros compuestos orgánicos usado como herbicida fue el ácido 2,4-dicloro fenoxiacético (2,4-D) ya en 1945.

CUADRO 1

EJEMPLOS DE MALEZAS CON DIFERENTES CICLOS DE VIDA		
Malezas	Nombre vulgar	Nombre científico
ANUALES: DE VERANO	Hualcacho	Echinochloa spp.
	Chamico	Datura spp.
	Quinguilla	Chenopodium album
	Bledo	Amaranthus deflexus
DE INVIERNO	Yuyo	Brassica campestris
	Rábano	Raphanus sativus
	Ballica	Lolium spp.
	Avenilla	Avena fatua
BIANUALES	Zanahoria silvestre	Daucus carota
	Cardo	Cirsium vulgare
PERENNES: SIMPLES	Diente de león	Taraxacum officinalis
	Romaza	Rumex acetosella
	Plantago	Planta lanceolata
PROFUNDIZADORAS:		
RIZOMAS	Maicillo	Sorghum halepense
TUBERCULOS	Chufas	Cyperus spp.
BULBOS	Ajo silvestre	Allium vineale
ESTOLONES Y RIZOMAS	Pasto bermuda	Cynodon dactylon
RAICES	Correhuela	Convolvulus arvensis
RAICES	Cardaria	Cardaria draba
RIZOMAS (tallos bulbosos subterráneos)	Pasto cebolla	Arrhenaterum elatius var. bulbosum
RAICES	Zarzamora	Rubus spp.

CUADRO 2

MALEZAS	TRIGO	MAIZ	R. AZU-CARERA	ARROZ	FRU-TALES	ESPA-RRAGO
Agrotis tenuis	•					
Alisma plantago				•		
Amaranthus deflexus		•	•		•	
Anoda hastata		•				
Arrhenaterum elatius	•					•
Avena fatua	•					
Bidens aurea					•	
Brassica campestris	•				•	•
Bromus spp.					•	
Convolvulus arvensis		•			•	•
Cynodon dactylon		•			•	•
Cyperus difformis				•		
Cyperus eragrostis				•		
Datura stramonium		•				•
Datura ferox		•				•
Echinochloa spp.		•	•	•	•	•
Heleocharis spp.				•		
Chenopodium album		•	•			
Jusseina repens				•		
Lolium perenne					•	
Paspalum spp.			•	•		
Polygonum persicaria	•		•			•
Polygonum aviculare	•		•			•
Polygonum convolvulus			•			
Portulaca oleracea		•	•		•	
Raphanus sativus	•		•			
Rumex acetosella	•					•
Sagitaria chilensis				•		
Solanum nigrum		•	•			•
Sorghum halepense		•			•	•
Spergula arvensis	•					
Thypha angustifolia				•		
Vicia sativa	•					

Luego de este descubrimiento, toda una serie de compuestos derivados del 2,4-D apareció en escena y aún la mayoría de ellos se utiliza con gran entusiasmo por su eficacia y bajo costo.

En la actualidad, existen cientos de productos pertenecientes a diversos grupos químicos, a pesar de lo complejo que es el proceso de desarrollo de un nuevo herbicida, desde la síntesis de la molécula en el laboratorio hasta la preparación de un compuesto apto y seguro para su aplicación eficiente en el campo. En términos generales, el proceso puede dividirse en seis etapas, que podrían ocupar 10 años o más y durante los cuales la empresa invierte, según el tipo de producto, más de 30 millones de dólares. Las etapas en el desarrollo de un nuevo herbicida se ilustran en el Figura 1.

El uso de herbicidas ha aumentado considerablemente en todo el mundo, con un valor de mercado que asciende a 15,9 billones de dólares. Es así como en la actualidad se gasta más dinero en herbicidas que en cualquiera de los otros pesticidas agrícolas (Cuadro 3). En Latinoamérica, el valor del mercado representa aproximadamente un 10 por ciento del total (1,5 billones de dólares), repartido en 550 millones de dólares para herbicidas, igual cifra para in-

secticidas y 250 millones para fungicidas. El resto corresponde a otros productos, en los cuales se incluyen los reguladores de crecimiento.

En Chile, el uso de herbicidas en la actualidad muestra un importante aumento, debido al constante esfuerzo que realizan las instituciones de investigación y docencia, así como también el aporte desplegado por los departamentos técnicos de las empresas tanto nacionales como multinacionales. Hoy en día, el mercado de pesticidas alcanza en nuestro país aproximadamente a 50 millones de dólares, repartidos en 13, 15, 18 y 4 millones para herbicidas, insecticidas, fungicidas y otros, respectivamente.

El auge de las exportaciones agrícolas ha llevado a un notable crecimiento de la superficie plantada con cultivos muy rentables, que día a día está produciendo una competencia cada vez más intensa en mano de obra, la cual -a su vez- está volviéndose más escasa. El hecho de disponer de una alternativa de tipo química (herbicidas) para el control de malezas, permitirá no sólo incrementar rendimientos sino también liberar mano de obra en períodos de crítica demanda. Esto influirá fuertemente, además, en un aumento del empleo de herbicidas como la mejor alternativa para el combate de malezas.

En la próxima década se dispondrá de un arsenal increíble de productos nuevos con los cuales se podrá controlar las malezas, con una selectividad y precisión jamás soñadas. A continuación, se

reseñan algunos avances que ya están disponibles y otros que lo estarán a un corto plazo.

ULTIMOS AVANCES

DOSIS DE APLICACION INCREIBLEMENTE BAJAS: Se han sintetizado nuevas familias de compuestos químicos, algunos de los cuales son muy eficaces contra las malezas en dosis realmente bajas. El herbicida experimental "Classic" (Sulfonilurea) de Du Pont se aplica a razón de 4,4 a 8,8 gramos por hectárea para combatir malezas de hoja ancha en soya, en tratamientos de post-emergencia. Esto significa que con 1 kilo de ese producto se podría tratar entre 133 y 277 hectáreas.

La industria PPG ha estudiado un herbicida experimental (PPG 1013), que en ensayos controla malezas de hoja ancha (dicotiledóneas) a dosis de 0,18 a 0,71 gramos por hectárea.

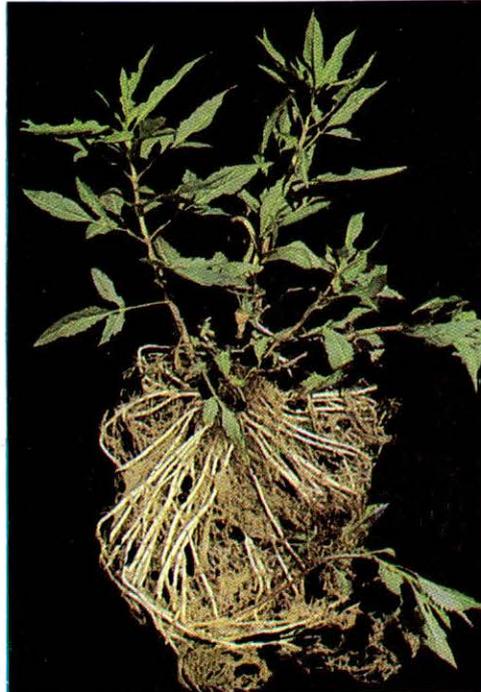
SELECTIVIDAD ESPECIFICA:

Avances científicos en este aspecto se han reflejado a través de la aparición de antidotos, los que han hecho posible la aplicación de productos no selectivos para un determinado cultivo, sin producirle daño. También fue notable la aparición de los productos gramínicidas post-emergentes (Poast, Assure, Galant*, Hache 1 Super**), que controlan selectivamente las malezas de hoja angosta (gramíneas) en cualquier cultivo de hoja ancha (no gramínea). Este tipo de producto ha llenado un gran vacío en el cultivo de la soya a nivel mundial. En Chile, dada la selectividad que ofrecen y el espectro de acción, se están utilizando con éxito en las plantaciones frutales jóvenes y en cultivos hortícolas.

Los avances en la Ingeniería Genética también han llegado al campo de los herbicidas. Es así como varias empresas realizan esfuerzos por introducir, a través de la genética, resistencia a ciertos herbicidas a importantes cultivos como es el caso del maíz.

HERBICIDAS FOTODINAMICOS: En la Universidad de Illinois, Estados Unidos, se encuentra en etapa de investigación un nuevo tipo de producto con propiedades herbicidas. Es el resultado de la investigación básica sobre la producción de la clorofila, efectuada por los Drs. C.A. Rebeiz y H.J. Hopen, de la citada universidad.

El nuevo herbicida experimental, conocido también como "Herbicida Laser", utiliza la luz solar para activar en las malezas una cadena de reacciones químicas que las lleva a la autodestrucción.



Las malezas perennes producen gran cantidad de "propágulos" vegetativos (Rizomas), como se aprecia en la especie "Hierba del té".

CUADRO 3

MERCADO MUNDIAL DE AGROQUIMICOS		
Agroquímicos	US\$ Billones	%
HERBICIDAS	7.07	44,5
INSECTICIDAS	5.05	31,4
FUNGICIDAS	2.80	17,6
OTROS	1.03	6,5
TOTAL	15.95	

Es un producto altamente selectivo en cultivos como maíz, trigo, avena y cebada. Resultados de invernadero han mostrado que

malezas tales como **Chenopodium album** (quingüilla), **Brassica spp** (mostaza), **Amaranthus spp** (bledo) y **Portulaca oleracea** (verdolaga), son destruidas con bajas concentraciones del nuevo producto. Otros cultivos, como soya y algodón, muestran cierta fitotoxicidad foliar, pero se recuperan totalmente.

El herbicida descubierto contiene un componente, que es el aminoácido ácido deltaaminolevulínico (ALA), usado por las plantas para producir tetrapirroles, que son compuestos extremadamente sensibles a la luz. Estos tetrapirroles son los precursores de la clorofila en presencia de la luz solar.

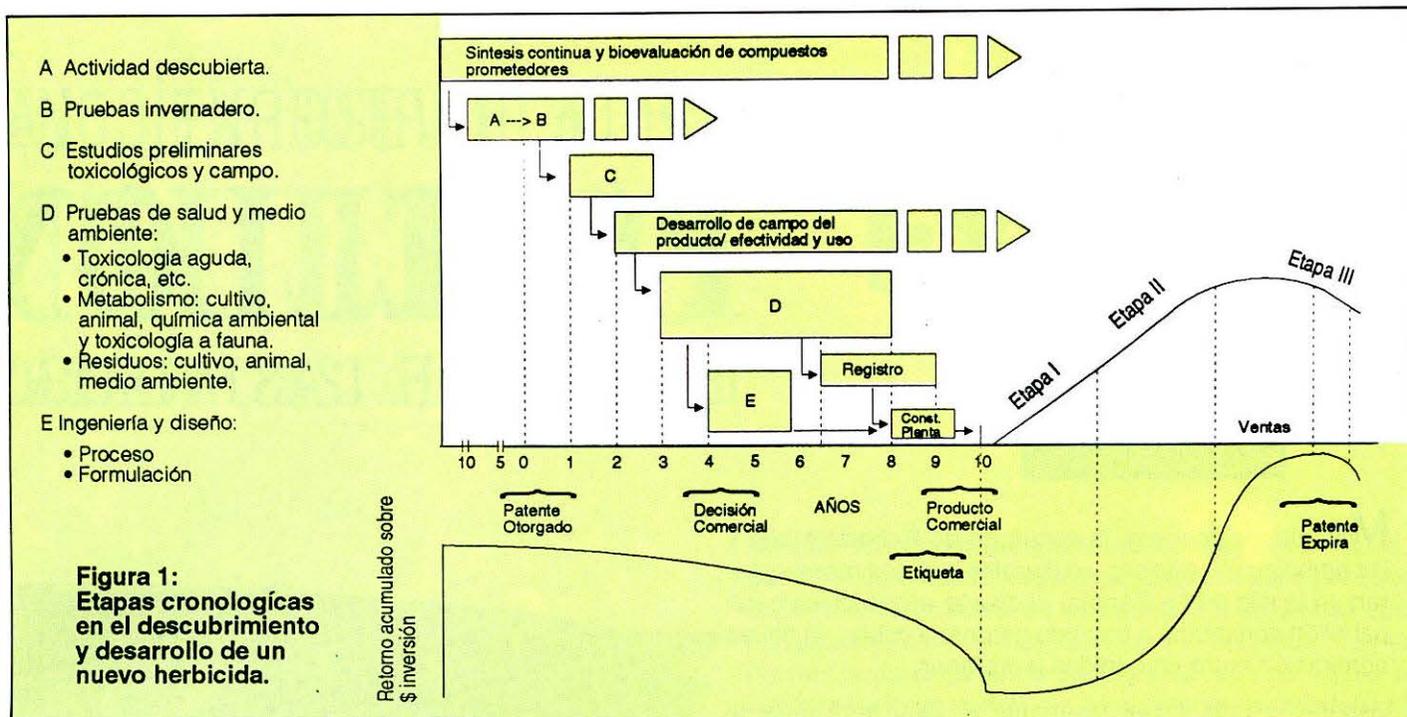
El herbicida basado en ALA se asperja en pequeñas cantidades al anochecer. Así, los tetrapirroles no se transforman en clorofila y se acumulan. Al día siguiente, la luz solar hace que una gran cantidad -fuera de la común- de tetrapirroles reaccionen químicamente, causando la producción de sustancias que destruyen las membranas celulares, produciéndose una muerte de plantas sensibles por rápida

deshidratación. La diferente respuesta que se consigue con diversas especies, se debe al hecho que no todas ellas elaboran clorofila siguiendo la misma secuencia de reacciones. Se han descubierto seis rutas químicas distintas por las cuales las plantas elaboran clorofila, y diferentes especies pueden utilizar una secuencia singular de una o más de esas rutas. Así, cuando ALA es asperjado sobre distintas plantas, ciertas especies acumularán un exceso de pirroles y otras serán capaces de hacer una rápida utilización de ellos.

Esto que parece "ciencia-ficción" es una realidad y se espera que en un futuro cercano este tipo de herbicidas sea usado con fines productivos. En la actualidad, el Departamento de Patente de las universidades en Estados Unidos, se encuentra negociando con varias compañías por los derechos para futuros trabajos de desarrollo a nivel de campo y producción del nuevo herbicida.

* Galant = Veredict.

** Hache 1 Super = Fusilade.



FORMULACIONES: En el campo de las formulaciones, existe un sinnúmero de avances con relación al uso de "coadyuvantes", con el objeto de facilitar la retención de los herbicidas en las hojas y favorecer así la penetración y obtener mayores niveles de translocación.

Sin embargo, algo que ha sido revolucionario lo constituyen las "formulaciones de liberación lenta" (slow release), las que además de mejorar la eficiencia del herbicida, reducen el posible impacto del producto sobre el ambiente. Estas formulaciones consisten en mezclar el principio activo con sustratos como el xantato de almidón y el ureaformaldehído, que liberan el herbicida a través del tiempo. Este tipo de productos microencapsulados, ya ha sido usado intensamente por la industria farmacéutica.

La liberación controlada del herbicida permite que el producto actúe por un período mayor, lo cual se traduce en una mayor persistencia del producto en el suelo, en cantidades letales para las malezas.

MICOHERBICIDAS: Los micoherbicidas son productos vivos que controlan malezas específicas tan efectivamente como los productos químicos. Ellos son asperjados de igual forma que los herbicidas tradicionales.

Los micoherbicidas son un buen ejemplo del control biológico de malezas, logrado con patógenos nativos en vez de organismos introducidos, como han sido empleados en el control biológico clásico. Dos micoherbicidas, DEVINE y COLLEGO, han sido desarrollados comercialmente a partir de hongos patógenos que atacan a malezas. Devine ha sido usado para controlar **Morrenia odorata** en huertos de citrus, y Collego en arroz y soya para combatir **Aeschynome viginica**.

Phytophthora palmivora, parásito facultativo, es el hongo que se desarrolló como micoherbicida Devine, y **Coletotrichum gloeosporioides sp aeschynomene**, saprófito facultativo, es el hongo que se desarrolló como micoherbicida Collego.

Esta nueva tecnología no representa una alternativa a los herbicidas, pero sí un excelente complemento al manejo integral de las malezas.

PRODUCTOS DE OCURRENCIA NATURAL EN PLANTAS Y MICROORGANISMOS COMO HERBICIDAS: Este es un campo en que muchos laboratorios y universidades investigan, tratando de encontrar la forma de desarrollar herbicidas a partir de productos altamente fitotóxicos, que son producidos por las plantas como productos secundarios. Las plantas producen cientos de miles de productos como éstos, que no están relacionados con el metabolismo primario. Muchos de estos compuestos (aleloquímicos) han demostrado poseer una elevada toxicidad cuando son aplicados a otras especies y, en algunos casos, aún sobre la propia especie (auto-toxicidad).

Asimismo, compuestos biactivos (toxinas) son producidos también por microorganismos. Así, "Anisomicin", un producto de **Streptomyces sp.** ha sido identificado por tener actividad herbicida sobre **Echinochloa crusgalli** (hualcacho) y **Digitaria sp.** ("pata de gallina"), sin dañar al tomate.

Otro ejemplo lo constituye el caso de "Bialafos", que ha sido recientemente comercializado como herbicida en Japón. Este producto producido por **Streptomyces viridochromogenes**, controla malezas mono y dicotiledóneas, y es generalmente no selectivo. Actúa más rápido que el glifosato (Roundup) y más lento que el paraquat (Gramoxone). Bialafos presenta una vida media en el suelo de 20 a 30 días. Las plantas transforman bialafos en fosfinotricina, que es el principio activo, siendo éste rápidamente traslocado. La industria Hoechst está desarrollando como herbicida a glufosinate, que no es otra cosa que el producto fosfinotricina sintetizado químicamente.

Estos son buenos ejemplos -dentro de muchos otros- que se pueden citar, que otorgan una idea del esfuerzo científico que actualmente se realiza para lograr el control más eficiente, más económico y seguro de las malezas. ■