

ACUMULACION DE PESTICIDAS EN EL SUELO

EL continuado aumento del uso de pesticidas y, sobre todo, de insecticidas y herbicidas incorporados al suelo plantea el problema de la posible acumulación de residuos que pueden resultar tóxicos para las plantas cultivadas. A continuación se estudia este problema de un modo general, pero basándose, fundamentalmente, en resultados obtenidos con herbicidas.

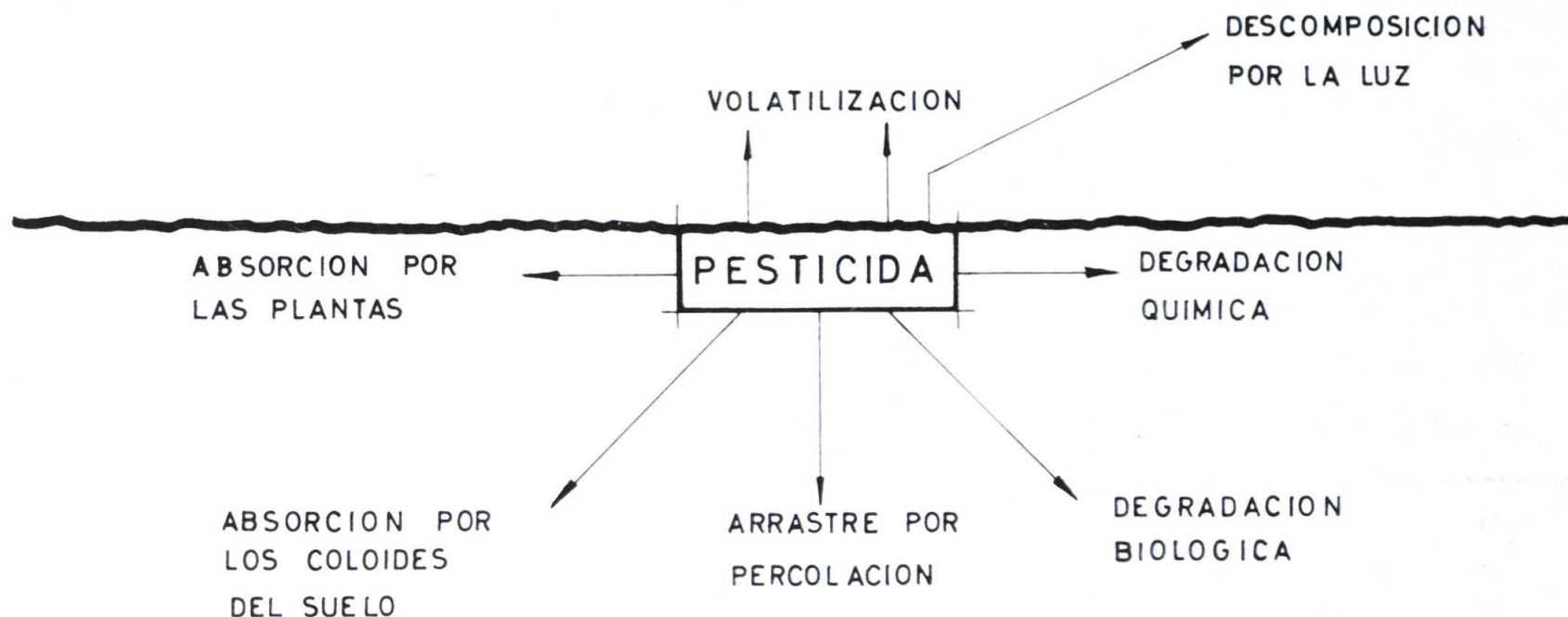
INACTIVACION Y RESIDUOS

Un pesticida puede incorporarse al suelo deliberadamente o a causa de tratamientos a la vegetación. En el suelo, el pesticida queda so-

metido a unos procesos de inactivación, más o menos intensos, que se esquematizan en la figura. A veces la inactivación es rápida; otras veces muy lenta. Ello depende:

- De la naturaleza del pesticida.
- De la naturaleza del suelo.
- Del clima.
- De las labores.

El pesticida incorporado al suelo deja un residuo que, generalmente, está localizado en la capa superior del terreno. Por tanto, el posible efecto tóxico tendrá la mayor probabilidad de manifestarse con ocasión de la próxima siembra.



Procesos de inactivación de un pesticida en el suelo.

CANTIDAD DE RESIDUOS

La cantidad de residuo que queda al cabo de un año es

$$R = \frac{DY}{100} = DX$$

en que:

D = dosis inicial recibida por el suelo en kg./ha.

Y = porcentaje de persistencia al cabo de un año.

$$X = \frac{Y}{100} = \text{Tanto por uno de persistencia anual.}$$

Si no se hace otro tratamiento, al cabo de dos años el residuo es:

$$R = D X^2$$

EJEMPLO

Si se distribuye simazina a 1 kg./ha. y el porcentaje de inactivación ($Z = 100 - Y$) es del 80 por 100, los residuos existentes en el suelo son:

Al cabo de un año 0,200 kg./ha.

Al cabo de dos años 0,040 kg./ha.

Acumulación

Si el tratamiento se hace anualmente, la cantidad de residuos puede ir subiendo constantemente, hasta alcanzar niveles que pueden resultar muy tóxicos para algunas plantas.

La cantidad de residuo acumulada al final de n años es:

$$R = \frac{D X (1 - X^n)}{(1 - X)}$$

en que las letras tienen análogo significado que en el caso anterior, siendo D la dosis repetida anualmente.

La cantidad de residuos deducida de esta fórmula se da en la tabla 1, suponiendo que $D = 1$ kg./ha.

La cifra límite es la que se obtiene cuando el número de años es muy grande.

La tabla permite observar:

a) Para porcentajes de inactivación inferiores al 50 por 100 la acumulación alcanza rápidamente altos niveles.

b) Para porcentajes de inactivación superiores al 50 por 100 la acumulación nunca alcanza el doble de la dosis anual.

c) Para porcentajes de inactivación superiores al 90 por 100 la acumulación es prácticamente despreciable.

Acumulación máxima

Las cifras de la tabla 1 indican los residuos existentes al final de cada ciclo anual. En el momento de hacer un nuevo tratamiento la cantidad existente en el suelo consiste en el residuo más la cantidad añadida. Esto ha de tenerse en cuenta, pues pueden produ-

TABLA 1

Residuo acumulado en kg./ha. para una dosis anual de pesticida de 1 kg./ha. de materia activa

Porcentaje de inactivación anual	Fin del año					
	1	2	3	4	5	Límite
10	0,900	1,710	2,439	3,095	3,685	9
25	0,750	1,310	1,375	2,035	2,275	3
50	0,500	0,750	0,875	0,935	0,970	1
75	0,250	0,310	0,328	0,332	0,333	0,333
80	0,200	0,240	0,248	0,249	0,250	0,250
90	0,100	0,110	0,111	0,111	0,111	0,111
95	0,050	0,052	0,052	0,053	0,053	0,053

TABLA 2

Cifras de acumulación máxima justamente después de cada tratamiento anual para $D = 1 \text{ kg./ha.}$

Porcentaje de inactivación anual	Principio del año						Límite
	1	2	3	4	5	6	
10	1	1,900	2,710	3,439	4,095	4,685	10
25	1	1,750	2,310	2,375	3,035	3,275	4
50	1	1,500	1,750	1,875	1,935	1,970	2
75	1	1,250	1,310	1,328	1,332	1,333	1,333
80	1	1,200	1,240	1,248	1,249	1,250	1,250
90	1	1,100	1,110	1,111	1,111	1,111	1,111
95	1	1,050	1,052	1,052	1,053	1,053	1,053

circunvalar niveles tóxicos incluso para la planta cultivada, para la que el pesticida está recomendado a la dosis normal.

Las cifras de acumulación máxima se indican en la tabla 2, para $D = 1 \text{ kg./ha. m.a.}$

Utilización de las tablas con dosis distintas de la dosis tipo

Si la dosis anual es distinta de 1 kg./ha. , pueden utilizarse las tablas del modo que se indica en la página siguiente.

TABLA 3

Persistencia de herbicidas aplicados al suelo. Ensayos en invernadero (Gran Bretaña)

Herbicida	Kg./ha.	Semanas	Herbicida	Kg./ha.	Semanas
Ametrina	1	4-60	Fluometuron	4	25-60
Ametrina	4	más de 60	Linuron	2	25-60
Atraton	1	más de 60	Linuron	3	más de 60
Atrazina	1	más de 60	Medinoterb	2,5	4-25
Benefin	3	25-60	Metobromuron	3	25-60
Clorbufam	1,5	4-25	Monolinuron	1	4-60
Cloroxuron	10	25-60	Monolinuron	3	25-60
Clortiamida	1,5	25-60	Nitrofen	3	4-25
Cicluron	2	25-60	Nitrofen	9	25-60
Desmetrina	4	más de 60	PEBC	8	hasta 25
Dialato	2	25-60	Prometon	1	más de 60
Diclobenil	1,5	25-60	Prometrina	1	4-25
Difenoxuron	4	4-25	Prometrina	4	más de 60
Difenamida	2	25-60	Propazina	1	25-60
Diuron	1	25-60	Profam	5	menos de 4
Diuron	2	más de 60	Simazina	1	más de 60
Endotal	15	menos de 4	Simeton	1	más de 60
EPTC	8	4-25	Simetrina	1	hasta 25
Fenuron	0,5	4-25	Simetrina	4	más de 60
			Trifuralina	3	25-60

Siendo la dosis D kg./ha.:

A) El residuo acumulado al final de un año determinado es el indicado en la tabla 1 multiplicado por D .

B) La acumulación máxima al principio del año siguiente al considerado se obtiene sumando a la cantidad obtenida en A la cantidad D .

Ejemplo:

Residuo al final del cuarto año y acumulación al principio del quinto año para:

$$D = 2,5 \text{ kg./ha.}$$

$$Z = 80 \text{ por } 100.$$

Residuo al final del cuarto año:

$$0,249 \times 2,5 = 0,623$$

Acumulación al principio del quinto año:

$$0,623 + 2,5 = 3,123$$

Utilización de las tablas para períodos distintos del año

En los herbicidas poco persistentes, un año es un plazo muy largo y, generalmente, no quedan residuos apreciables en el suelo al final de ese período. Pero si se toma este plazo, entonces $Z = 100$, y no se tienen datos para ver los posibles efectos tóxicos en plazos inferiores al año. Frecuentemente el plazo entre la aplicación de un producto y la siembra próxima es inferior al año, lo que hay que tomar en consideración.

La fórmula $R = D X$ sirve igualmente, siendo $X =$ tanto por uno de persistencia en el período considerado.

Si estos períodos son constantes y el herbicida se aplica de manera regular, se pueden

TABLA 4

Plantas indicadoras de la existencia de residuos de herbicidas en el suelo (Gran Bretaña)

<i>Herbicidas</i>	<i>Plantas indicadoras por orden de menor a mayor sensibilidad</i>	<i>Síntomas por orden de menor a mayor efecto sobre la planta</i>
Triazinas, uracilos, ureas y pirazón	Avena, gramíneas pratenses, nabos y crucíferas, flores (gipsofila)	Reducción en altura; amarilleo; quemaduras en el follaje.
Carbamatos, tiocarbamatos, amidas, anilinas y benzonitrilos	Avena, gramíneas pratenses (raygrás)	Reducción en altura; a veces con colores verde-oscuros; reducción en el número de hojas; falta de nascencia
Dalapon, TCA, piclor	Avena, gramíneas pratenses (raygrás)	Reducción en altura de la plántula; clorosis
Aminotriazol	Gramíneas pratenses (raygrás); lechuga	Clorosis progresiva que lleva a la aparición de plántulas blanco-rojizas sin clorofila y colapso de follaje
2'3'6-TBA, clorofenac, picloram y dosis altas de otros herbicidas hormonales	Habas, judías, pepino, tomate	Hojas enrolladas; inhibición del crecimiento del tallo; endurecimiento de las partes aéreas; falta de nascencia

Columnas que contienen muestras de tierra, con 2,4D radiactivo adicionado en superficie y sometidas luego a riegos de distintas intensidades para estudiar la penetración del herbicida.

utilizar directamente las tablas 1 y 2, sustituyendo la palabra «año» por la definidora del período en cuestión, como puede ser «semestre».

Ejemplo: El 2,4 D persiste en el suelo, según los casos, desde 2-3 semanas hasta 6 meses, con una media de 6-8 semanas. Si admi-

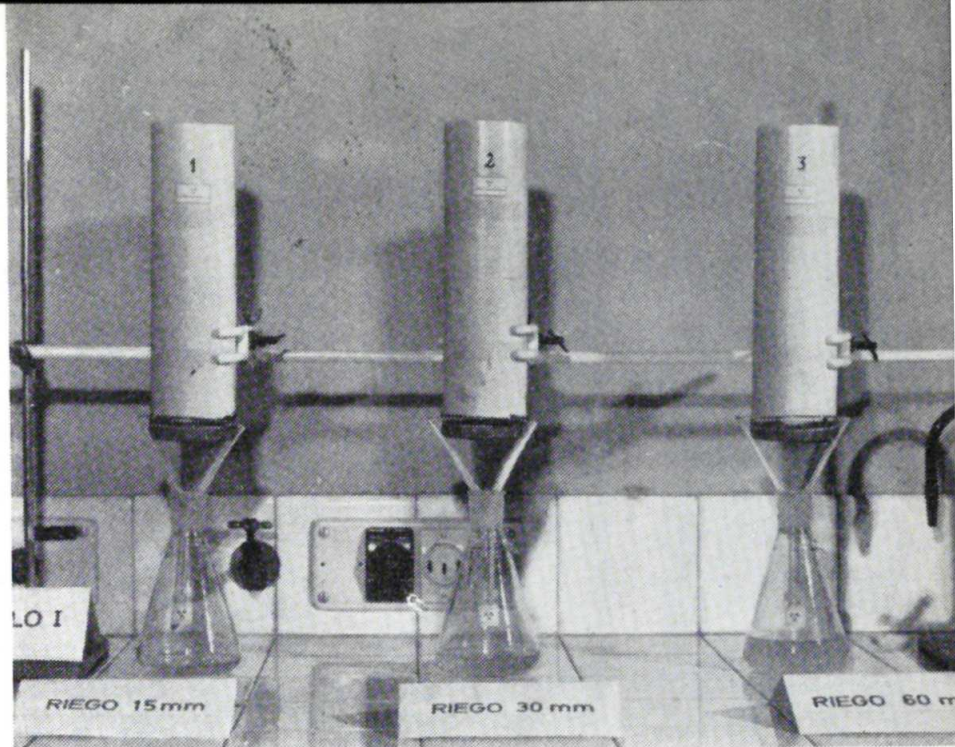


TABLA 5

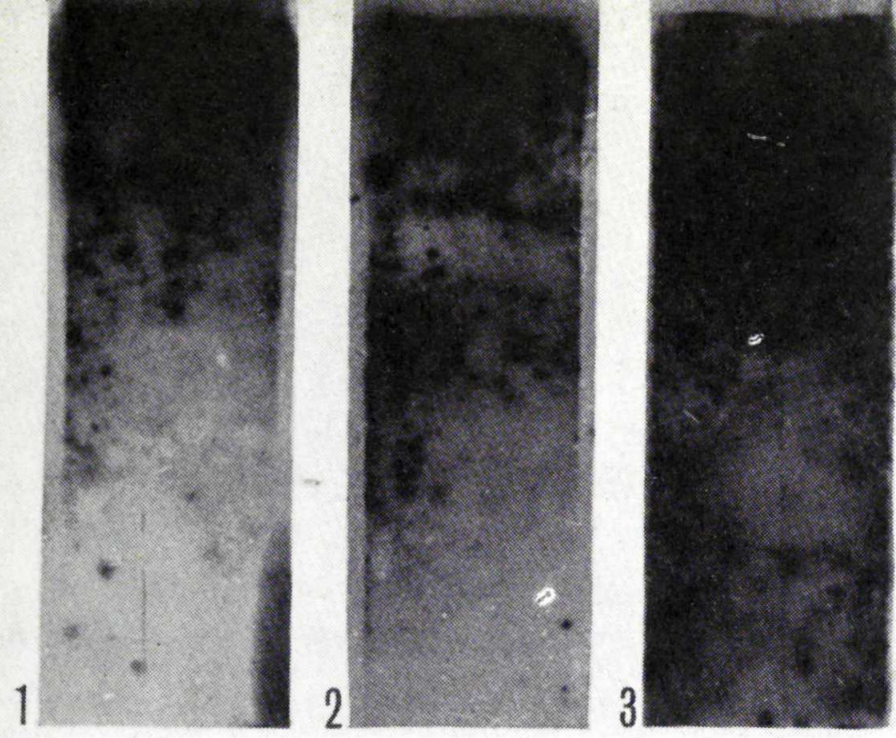
Resistencia relativa a los herbicidas. Fitotoxicidad inicial para las plantas sembradas quince días tras la aplicación del herbicida (California)

Herbicida	Kg./ha. m. a.	Fitotoxicidad media					
		Cebada	Sorgo	Remolacha azucarera	Alfalfa	Tomates	Algodón
Simazina	4	9,1	6,3	9,9	10,0	9,9	7,2
Diuron	4	8,5	9,0	8,5	7,4	9,5	8,5
Prometrina	1	7,5	5,6	8,0	4,5	7,2	4,0
Prometrina	4	9,6	9,8	10,0	8,5	10,0	5,0
Bromacil	1	9,5	8,8	9,8	10,0	10,0	9,2
Bromacil	4	9,9	9,9	10,0	10,0	10,0	10,0
Trifluralina	1	5,2	8,9	8,5	5,0	7,5	3,8
Trifluralina	4	7,2	9,4	9,6	6,3	8,1	6,8
DCPA	8	1,7	7,1	6,1	1,8	5,1	4,0
DCPA	32	2,7	9,8	9,2	4,8	7,0	2,8
Difenamida	4	6,9	7,1	5,5	3,5	3,6	3,8
Difenamida	16	8,7	9,2	7,4	3,0	5,2	4,8
Bensulida	4	2,3	5,3	4,5	2,5	3,3	2,8
Bensulida	16	4,6	8,6	9,2	4,0	5,5	4,0
Pirazón	4	2,7	1,8	1,1	3,8	6,1	3,8
Pirazón	16	7,0	4,7	6,3	7,0	9,6	6,0
FW-925	4	2,1	1,7	1,8	2,0	3,0	2,5
FW-925	16	6,1	5,8	4,2	4,0	6,4	1,8
Dicamba	4	8,7	9,2	9,6	10,0	9,6	10,0
Dicamba	16	9,5	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Picloram	1	5,9	7,9	10,0	9,8	10,0	10,0
Picloram	4	8,6	9,4	10,0	10,0	10,0	10,0
TBA	4	4,6	4,1	6,1	9,0	8,1	1,8
Testigo	—	0,1	2,9	1,0	0,2	1,6	2,8

Clave: 0=sin fitotoxicidad.

5=serios daños (clorosis, achaparramiento, marras).

10=destrucción total.



Autorradiografías de las tres muestras de suelo de la fotografía de la página anterior, mostrando la diferente penetración del herbicida radiactivo (manchas negras) según la intensidad del riego (15 mm., 30 mm. y 60 mm. en las muestras una, dos y tres, respectivamente).

timos que el porcentaje de persistencia «semestral» es del 25 por 100 (como suele suceder en suelos áridos), es decir, un porcentaje «semestral» de inactivación del 75 por 100, las tablas 1 y 2 nos dan, directamente:

Residuos al fin del tercer semestre 0,328
 Acumulación al principio del cuarto semestre 1,328

TABLA 6

Toxicidad residual un año después de la aplicación del herbicida (California)

Herbicida	Kg./ha. m. a.	Fitotoxicidad media					
		Cebada	Sorgo	Remolacha azucarera	Alfalfa	Tomates	Trigo
Simazina	4	3,2	1,8	5,6	9,1	4,7	4,2
Diuron	4	3,6	1,9	3,6	0	4,1	2,6
Prometrina	1	0,9	0	0,6	0	0,3	1,6
Prometrina	4	2,1	1,0	1,5	1,8	3,4	3,4
Bromacil	1	2,5	2,0	3,2	4,6	4,6	4,3
Bromacil	4	4,5	4,2	5,5	10,0	6,0	6,2
Trifluralina	1	0,2	2,1	0,4	0,6	0	0,5
Trifluralina	4	1,4	5,3	4,0	1,1	1,8	0
DCPA	8	1,3	0	0,9	2,0	0,7	1,8
DCPA	32	0,8	3,9	3,0	0	1,3	0,3
Difenamida	4	1,9	1,1	1,9	0	0,7	0,7
Difenamida	16	2,1	1,4	2,0	0,9	1,8	2,0
Bensulida	4	0,6	2,0	2,3	0	1,4	0,2
Bensulida	16	1,4	5,5	3,7	2,0	0,5	1,3
Pirazón	4	1,2	0	0,5	0,4	3,9	0,7
Pirazón	16	2,3	1,4	1,9	0,7	2,8	3,3
FW-925	4	0,4	0	0,5	1,7	0	0
FW-925	16	1,4	1,1	1,5	2,0	1,7	0,8
Dicamba	4	1,1	1,3	0,9	2,4	1,5	0,3
Dicamba	16	1,5	1,9	2,0	2,9	2,4	1,2
Picloram	1	1,4	1,4	4,2	9,6	5,2	1,7
Picloram	4	2,3	2,9	5,3	10,0	5,8	2,5
TBA	4	0,4	0,2	0,7	2,9	0,3	0,5
Nº de localidades		7	5	6	2	3	2

Clave: 0=sin fitotoxicidad.

5=serios daños (clorosis, achaparramiento, marras).

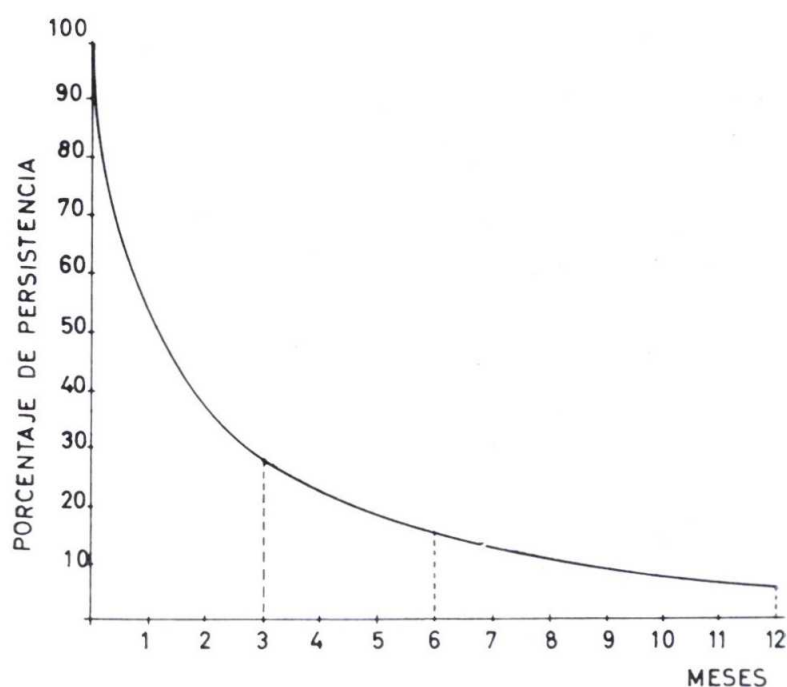
10=destrucción total.

TABLA 7

Existencia de residuos fitotóxicos de herbicidas para plantas susceptibles en 1-5 localidades diferentes (California)

Herbicida	Kg./ha. m.a.	3 meses	12 meses	24 meses	30 meses
Simazina	4	+++++	+++++	++	+
Diuron	4	+++++	-++++	+ -	+
Prometrina	1	-++++	-----+	--	-
Prometrina	4	+++++	-----+	+ -	-
Bromacil	1	+++++	++ - - +	++	+
Bromacil	4	+++++	+++++	++	+
Trifluralina	1	++ - ++	-----+	--	-
Trifluralina	4	+++++	+ - +++	++	-
DCPA	8	+++++	- - - + -	--	-
DCPA	32	+++++	+++++	+ -	-
Difenamida	4	+++++	+ - - - -	--	-
Difenamida	16	+++++	++ - - -	+ -	-
Bensulida	4	+++++	- - - - +	--	-
Bensulida	16	+++++	+ - + - +	++	-
Pirazón	4	++ - ++	- - - + -	+ -	+
Pirazón	16	+++++	++ - + -	+ -	+
FW-925	4	++ o ++	- - - - -	--	-
FW-925	16	++ o ++	- - ++ -	--	-
Dicamba	4	+ - ++ o	- - - - -	--	-
Dicamba	16	++ o ++	+ - - + -	+ -	-
Picloram	1	++ o ++	+ - ++ -	++	+
Picloram	4	++ o ++	+ - +++	++	+
TBA	4	++ o ++	- - - - -	--	-

Clave: + = residuo presente.
 - = residuo no aparente.
 o = sin datos.



Porcentaje de persistencia de un herbicida y relación entre los porcentajes de inactivación anual (95%), semestral (83%) y trimestral (72%).

para D = 1 kg./ha. en tratamientos semestrales.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no es posible deducir los porcentajes de inactivación correspondientes a un período de los de otro. Es decir, el porcentaje de inactivación semestral no es la mitad del porcentaje de inactivación anual, como puede observarse en el dibujo.

En las tablas 3 a 7 se incluyen datos relativos a la persistencia de diversos herbicidas en Gran Bretaña (invernaderos) y California (suelo agrícola), así como una relación de plantas indicadoras de la existencia de residuos de herbicidas.

FERNANDO BESNIER