

## Persistencia del herbicida isoxaben en el suelo

S. NAVARRO, A. BARBA, P. ESCOLAR, M. A. CÁMARA y J. OLIVA

Se estudia la evolución del herbicida isoxaben en el tiempo, aplicado en condiciones de laboratorio, sobre un xerosol cálcico, suelo agrícola constituido por tres horizontes bien diferenciados (Ap1, Ap2 y Ck). Se constata una relación directamente proporcional entre los contenidos en arcillas y carbonato cálcico en los distintos horizontes y la constante de velocidad del proceso de disipación del herbicida e inversamente proporcional en el caso de la materia orgánica. Los tiempos de vida medios ( $t_{1/2}$ ) calculados oscilan entre los 5-7 meses, observándose dos fases claramente diferenciadas en la desaparición del herbicida, antes y después de los 20 días de iniciada la experiencia. En ningún caso se han detectado metabolitos significativos durante los 185 días del experimento.

S. NAVARRO, A. BARBA, P. ESCOLAR, M. A. CÁMARA y J. OLIVA: Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Química. Universidad de Murcia. Espinardo, 30100 Murcia.

**Palabras clave:** Isoxaben, desaparición, persistencia, suelo.

### INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, se ha prestado un interés preferente a conocer la dinámica de los plaguicidas en plantas o animales, pero hay que hacer constar, que de forma paralela y sobre todo en las tres últimas décadas, la investigación se ha orientado en gran parte a conocer también su comportamiento en el suelo, debido a la gran interacción de los productos fitosanitarios con este medio (WALKER, 1974; LEONARD *et al.*, 1976, CAPRIEL *et al.*, 1985; LEISTRA, 1986; SELIM, 1989, FRANK *et al.*, 1990; NAVARRO GARCÍA *et al.*, 1992).

Hay que señalar que la mayor parte de las moléculas con actividad contra malas hierbas se aplican a través del suelo (2/3 del total), en alguna de las épocas de desarrollo del cultivo. De éstas la mitad se aplican en preemergencia; un 20% sólo en presiembra y el 30% restante, de ambas formas.

Desde el punto de vista agronómico es conveniente que los herbicidas persistan lo suficiente para controlar las malas hierbas

durante todo el ciclo del cultivo. Pero desde el ambiental es asimismo importante conocer su comportamiento en el medio, siendo agua, suelo, flora, fauna y en última instancia el hombre, los elementos más afectados.

Diversos procesos físicos, químicos y biológicos, todos ellos relacionados entre sí, se admiten como responsables de la dinámica de los herbicidas en el suelo, siendo los de adsorción y desorción coloidal los que condicionan en gran manera a los demás (BAILEY y WHITE, 1970; CALVET *et al.*, 1980; BOESTEN y VAN DER PAS, 1988; SINGH *et al.*, 1990). En este sentido, la composición coloidal del suelo, arcillas y humus, ejerce un papel preponderante (CLOOS, 1972; KHAN, 1973; SENESI y TESTINI, 1983; MAQUEDA *et al.*, 1989).

De igual forma que el proceso de adsorción es el gran responsable de la permanencia de los herbicidas en el suelo, la degradación, repercute de manera notable en su desaparición (ZIMDAHL *et al.*, 1970; HAMAKER, 1972; GORING *et al.*, 1975; KHAN,

1980). Las transformaciones y degradaciones bioquímicas que los herbicidas sufren en el suelo pueden ser muy diferentes y dependen de numerosos factores como características físicas y químicas del herbicida, textura composición coloidal del suelo, humedad, aireación, presencia y tipos de microorganismos, etc. (KAUFMAN y KEARNEY, 1976; SAVAGE, 1978; HANCE, 1979; BASTIDE *et al.*, 1980; MAMOUMI *et al.*, 1992; ROUCHAUD *et al.*, 1993).

Con la redacción de este trabajo se pretende contribuir al conocimiento de la dinámica ambiental del herbicida isoxaben, de comercialización y uso en España bastante reciente, y del que existe escasa información sobre su comportamiento en suelos. A partir de los datos obtenidos, hemos pretendido por una parte, conseguir una primera aproximación a su comportamiento físico-químico y por otra, conocer su persistencia en un suelo agrícola típico de la Región de Murcia.

## MATERIAL Y MÉTODOS

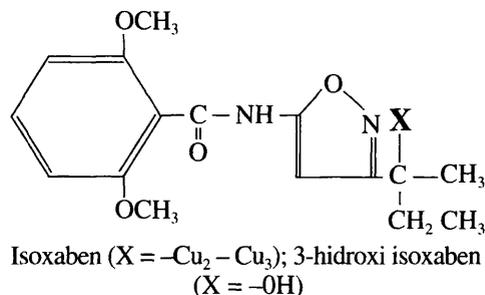
### Suelo

Se trata de un xerosol cálcico, situado en el término municipal de Mazarrón (Murcia). El suelo presenta tres horizontes claramente diferenciados: Ap1 (0-18 cm), franco, muy ca-

lizo y con presencia de raíces finas; Ap2 (18-41 cm), franco, muy calizo y Ck (+41 cm), franco arcilloso (ALÍAS *et al.*, 1989). En el cuadro 1 se exponen las principales características físico-químicas del suelo utilizado.

### Herbicida

El isoxaben, N-[3-(1-etil-1-metilpropil)-5-isoxazolil]-2,6-dimetoxibenzamida, se introdujo en Europa, concretamente en Francia, en 1984 por Eli Lilly & Co. (en la actualidad DowElanco) y posteriormente en EE.UU., resultando efectivo en el control de malas hierbas de hoja ancha en cultivos de cereales, frutales, forestales y ornamentales. Su control incluye a *Chamomilla spp.*, *Stellaria media*, *Bilerdykia*, *Polygonum*, *Verónica* y *Viola spp.* Presenta efectividad incluso a pequeñas concentraciones (10-100 µg/l) gracias a su gran actividad biológica.



Cuadro 1.-Principales características físico-químicas del suelo utilizado

Parámetros químicos							
Horiz.	M.O. (%)	C (%)	N (%)	C/N	CO <sub>3</sub> Ca (%)	pH	
						H <sub>2</sub> O	CIK
Ap1	1,48	0,86	0,0905	9,5	35,2	7,8	7,5
Ap2	0,83	0,48	0,0775	6,2	40,3	8,1	7,7
Ck	0,20	0,12	0,0299	-	57,4	8,1	7,5
Granulometría							
Horiz.	< 2µ	2-20	20-50	50-100	100-250	250-500	>500
Ap1	24,0	17,1	19,0	11,3	12,6	7,8	7,1
Ap2	26,9	18,7	21,2	10,6	11,7	6,2	4,8
Ck	36,3	24,9	16,3	7,4	7,1	4,0	3,5

Según estudios realizados sobre su movilidad en el suelo (JAMET, 1987), la cantidad de isoxaben adsorbida oscila entre el 55-90% en los distintos suelos estudiados, lo cual constituye una reserva importante de materia activa. Esta fracción, liberada progresivamente a la disolución del suelo, prolonga la persistencia del producto, lo cual se traduce en un período de vida media variable entre 5-6 meses (CHARLES y WORTHING, 1991).

### Planteamiento de la experiencia

Con el fin de estudiar la evolución del herbicida con el tiempo, se incubaron en el laboratorio ocho muestras de cada uno de los horizontes objeto de estudio (Ap1, Ap2 y Ck) a una temperatura de  $21 \pm 2$  °C y se introdujeron en recipientes de cristal de 100 ml de volumen, tapándose posteriormente con parafilm. El peso de cada muestra fue de 15 g. El muestreo se realizó a los 0, 2, 5, 9, 19, 43, 87 y 185 días, de iniciado el experimento.

Hay que hacer constar, que la carga microbiana del suelo no fue eliminada, ya que la utilización de técnicas de radiación o esterilización pueden influir por una parte, en determinados sistemas catalíticos que repercuten de manera notable en la degradación y por otra, en la alteración del estado natural del suelo como medio de reacción.

A cada muestra de suelo se le adicionó 3 ml de una disolución de isoxaben (en metanol) conteniendo 11,47 µg/ml, lo cual equivale a 2,29 µg iniciales de isoxaben por gramo de suelo y se añadió el agua suficiente hasta alcanzar una humedad del 11%. En todos los casos se realizaron medidas por triplicado.

### Extracción y purificación del herbicida en el suelo

Cada muestra de suelo, conteniendo 15 g, se homogeneizó con 60 ml de acetato de

etilo mediante agitación magnética durante 1 h y 30 min. Posteriormente, el extracto se centrifuga durante 10 min. a 5.000 r.p.m. Una vez filtrado sobre papel Whatman n.º 1, se evapora a sequedad mediante evaporación rotatoria a vacío y se redisuelve en 8-10 ml de diclorometano. Finalmente, este extracto se purifica en microcolumna de florisil, eluyendo el isoxaben y su metabolito 3-hidroxi-isoxaben con diclorometano/metanol (99:1, y 97:3 v/v, respectivamente). Una vez evaporado el disolvente del eluato obtenido, el extracto se redisuelve en la correspondiente fase móvil, quedando de esta manera preparado para su inyección cromatográfica.

En estas condiciones, se obtienen recuperaciones medias de 92,2 y 83,7% para isoxaben y 3-hidroxi-isoxaben con coeficientes de variabilidad del 3,25 y 4,59%, respectivamente (media de cinco determinaciones).

### Determinación analítica

Para la determinación del compuesto objeto de estudio (RUTHERFORD, 1990) se ha utilizado un cromatógrafo líquido Waters dotado con módulo de datos M-730 y sistema de control programable M-721, equipado a su vez con dos bombas de alta presión modelo 510 y detector espectrofotométrico Max-48 de longitud de onda variable.

La columna utilizada ha sido una Spherisorb ODS-II, de 10 µ de tamaño de partícula, 30 cm de longitud y 0,39 cm de diámetro interno. La fase móvil fue CH<sub>3</sub>OH/H<sub>2</sub>O (70:30 para isoxaben y 60:40 para 3-hidroxi isoxaben); Presión, 1500 psi; Flujo, 1 ml/min; Longitud de onda del detector, 254 nm; Volumen de inyección, 50 µl De esta manera, se obtiene un tiempo de retención de 5,72 min para isoxaben y 3,99 min para su metabolito.

En las condiciones anteriormente descritas, se obtiene una buena linealidad de respuesta del detector en el rango de concentraciones de 0,03-2,81 mg/l (coeficientes de correlación de 0,9998 y 0,9975 para isoxaben y

su metabolito 3-hidroxi). Los límites de detección calculados han sido 2,8 y 1,4 ng para isoxaben y 3-hidroxi isoxaben, respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 2, se exponen las cantidades remanentes de isoxaben encontradas en el

suelo y los correspondientes porcentajes de degradación en función del tiempo transcurrido.

Con el fin de ilustrar gráficamente las pérdidas de isoxaben con el tiempo en los tres horizontes del suelo estudiado, en la figura 1 se representa el porcentaje de isoxaben remanente.

La mayoría de los modelos propuestos para estudiar la desaparición de los plaguici-

Cuadro 2.—Cantidades remanentes de isoxaben y porcentajes de degradación en los tres horizontes del suelo estudiado

Tiempo (días)	Horizontes					
	Ap1		Ap2		Ck	
	µg	% deg.	µg	% deg.	µg	% deg.
0	34,37	0	34,40	0	34,10	0
2	33,03	4	33,37	3	31,65	8
5	31,65	8	30,97	10	32,69	5
9	29,25	15	30,62	11	29,94	13
19	24,77	18	29,59	14	29,59	14
43	19,27	44	24,09	30	26,84	22
87	17,89	48	18,24	47	22,37	35
185	14,80	57	16,86	51	18,29	45

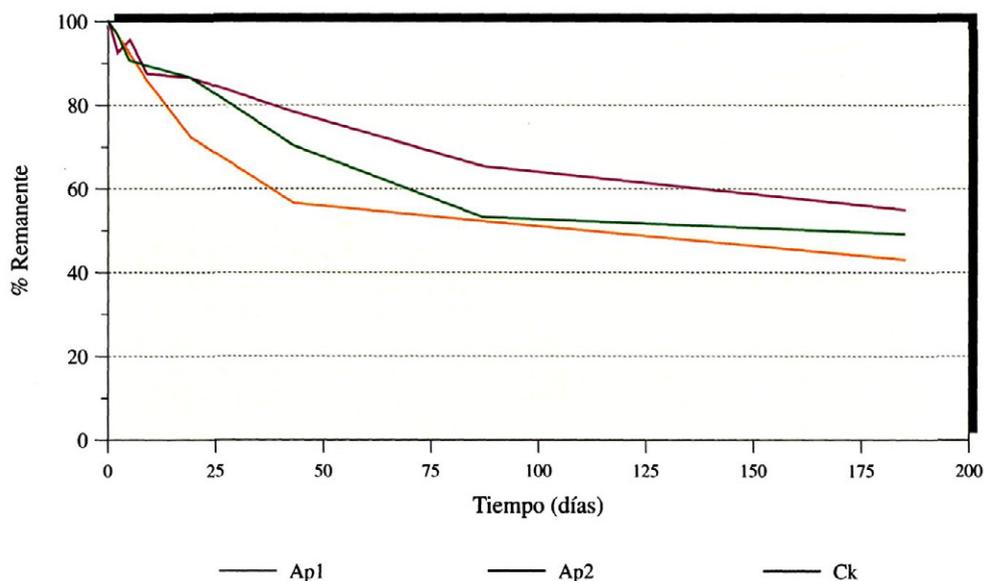


Fig. 1.—Porcentaje remanente de isoxaben con el tiempo para los tres horizontes estudiados

das en el suelo (ZIMDAHL *et al.*, 1970; BASTIDE *et al.*, 1980; KHAN, 1980; LEISTRA, 1986; NAVARRO GARCÍA *et al.*, 1992) se basan en la dependencia de una sola variable, la concentración del plaguicida y establecen como premisa, la dependencia de la velocidad de degradación con la concentración existente en un tiempo determinado:

$$V = dC/dt = -Kc^n$$

Considerando como factor limitante la concentración del plaguicida única y exclusivamente se puede suponer que  $n = 1$ , y por tanto, esta expresión una vez integrada toma la forma:

$$\ln C_0/C = Kt$$

siendo:

$C_0$  = Concentración inicial del plaguicida;

$C$  = Concentración de plaguicida remanente a tiempo  $t$ ;

$K$  = Constante de velocidad del proceso

En nuestro caso, la disipación del herbicida en el suelo se ha estudiado mediante el ajuste de los datos experimentales, por regresión lineal, al modelo anteriormente descrito. La correlación obtenida entre el logaritmo de la concentración del herbicida y el tiempo muestra que la cinética de primer grado es adecuada para describir el proceso

objeto de estudio. En el cuadro 3 se exponen los valores obtenidos en el ajuste de los datos experimentales al modelo propuesto en su forma logarítmica [ $\ln C = \ln C_0 - Kt$ ], encontrando que en todos los casos el ajuste presenta un alto grado de significación estadística.

Aunque el herbicida presenta una buena correlación entre el contenido en materia orgánica y su grado de adsorción al suelo (JAMET, 1987), en nuestro caso, la degradación en los distintos horizontes sigue el orden  $Ck < Ap2 < Ap1$ , el cual se corresponde con un aumento de materia orgánica. Estudios realizados con otras benzamidas (propizamida) muestran resultados similares (BASTIDE *et al.*, 1980).

Existe una significativa correlación lineal de la constante de velocidad,  $K$ , con el contenido en materia orgánica, arcillas y carbonato cálcico, tal y como puede observarse en el cuadro 4 con coeficientes de 0,9832, 0,9926 y 0,9918 respectivamente. Así, en el  $Ck$ , con un contenido de arcilla del 36%, la degradación es menor que en los  $Ap2$  y  $Ap1$ , con contenidos del 27 y 24% respectivamente, lo cual es debido muy probablemente, al fenómeno de adsorción provocado por esta fracción coloidal.

Como se puede apreciar en el cuadro 5, donde se exponen las constantes de velocidad del proceso para los tres horizontes estudiados y la relación existente entre ellas en

Cuadro 3.-Valores estadísticos del ajuste por regresión lineal calculados a partir de los datos experimentales obtenidos en la degradación del isoxaben en el suelo

Parámetros $\ln C = \ln C_0 - kt$	Horizonte		
	Ap1	Ap2	Ck
n	8	8	8
$C_0$	29,86 ± 1	31,47 ± 1,12	31,93 ± 1,06
$K$ (días <sup>-1</sup> )	(4,46 ± 2,2)10 <sup>-3</sup>	(3,98 ± 1,6)10 <sup>-3</sup>	(3,25 ± 0,76)10 <sup>-3</sup>
r	0,8957	0,9276	0,9731
R	0,8024	0,8604	0,9469
$t_{1/2}$ (días)	155,3	173,8	224,15

Intervalos de confianza y significación para  $P = 0,05$ .

Cuadro 4.—Correlación lineal entre la constante de velocidad y el contenido en materia orgánica, arcilla y carbonato cálcico del suelo

	K	M.O.	Arcillas	CaCO <sub>3</sub>
K	1	0,98317	-0,99263	-0,99183
M.O.		1	-0,95831	-0,95186
Arcillas			1	0,99997
CaCO <sub>3</sub>				1

Cuadro 5.—Relación, entre las constantes de velocidad, obtenida al estudiar el proceso en dos períodos temporales en los distintos horizontes del suelo

Horizonte	Período (días)				K <sub>1</sub> /K <sub>2</sub>
	0-19		9-185		
	K <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	r <sub>2</sub>	
Ap1	1.72.10 <sup>-2</sup>	0,9992	3.38.10 <sup>-3</sup>	0,8981	5,09
Ap2	7.40.10 <sup>-3</sup>	0,8870	3.36.10 <sup>-3</sup>	0,9095	2,14
Ck	6.97.10 <sup>-3</sup>	0,8409	2.63.10 <sup>-3</sup>	0,9797	2,65

dos tramos, la correspondiente al primero (0-19 días) es, en todos los casos, mayor que su equivalente en el segundo (9-185 días).

En los horizontes Ap2 y Ck, el valor de K<sub>1</sub> es algo más del doble del que presenta la constante K<sub>2</sub>, en la segunda etapa del proceso. En el caso del Ap1, K<sub>1</sub> ≈ 5K<sub>2</sub>, lo cual puede ser debido a la mayor actividad de los microorganismos en la primera parte del proceso ya que el contenido en materia orgánica de este horizonte y en consecuencia la carga microbiana del mismo, es mayor que en los otros horizontes.

Estos datos nos conducen hacia la delimitación de dos etapas claramente diferenciadas: Una primera fase de disipación, hasta los 20 días aproximadamente, donde el producto se degrada con una cierta rapidez y la segunda, de persistencia, a partir de ese momento, donde la degradación es bastante más lenta, lo cual está de acuerdo con la ley cinética de desaparición de los plaguicidas en el suelo (KHAN, 1980).

En cuanto a la persistencia del isoxaben se refiere, los tiempos de vida media calculados se encuentran en el rango de los aportados por otros autores (WALKER, 1987; CHARLES y WORTHING, 1991) En función de ello y según la clasificación propuesta por KEARNEY *et al.* (1969), podemos catalogar a este compuesto como moderadamente persistente, si bien hay que hacer constar, que este compuesto es bastante fotosensible. Los datos experimentales (NAVARRO GARCÍA *et al.*, 1995) demuestran que sometiendo al horizonte más superficial a la acción de la luz solar, el tiempo de vida media del compuesto disminuye considerablemente, pasando de 5 a 2 meses aproximadamente.

En ninguna de las muestras analizadas se ha detectado la presencia de 3-hidroxi-isoxaben, metabolito mayoritario de este herbicida en el suelo, al menos en el rango establecido como límite de determinación (0,005 ppm).

## ABSTRACT

NAVARRO, S.; BARBA, A.; ESCOLAR, P.; CÁMARA, M. A. y OLIVA, J., 1997: Persistence of the herbicide isoxaben in soil. *Bol. San. Veg. Plagas*, **23**(4): 557-564.

The evolution of the herbicide isoxaben with the time, applied in laboratory conditions on a calcic xerosol, agricultural soil with three different horizons, was studied. On established that the relation between the amount of clays and calcic carbonate is directly proportional and inverse in the organic matter case. That calculated half-life time ( $t_{1/2}$ ) is ranged 5-7 months, founded two different phases in the herbicide disappearance (0-20 days and 20-185 days). In any case, the significative metabolite (3-hydroxy isoxaben) has been detected during the 185 days of the experiment.

**Key words:** Isoxaben, disappearance, persistence, soil.

## REFERENCIAS

- ALIAS, L. J.; ORTIZ, R.; HERNÁNDEZ, J.; LINARES, P.; MARTÍNEZ, J. y MARÍN, P., 1989: Proyecto LUCDEME. Mapa de suelos. Escala E 1:100.000 - Mazarrón - 976. Ed. M.A.P.A. - I.C.O.N.A. - Universidad de Murcia.
- BAILEY, C. W. y WHITE, J. L., 1970: Factors influencing the adsorption, desorption and movement of pesticides in soils. *Residue Rev.*, **32**: 29-92.
- BASTIDE, J.; CANTIER, J. M. y COSTE, C., 1980: Comportement de substances herbicides dans le sol en fonction de leur structure chimique. *Weed Res.*, **21**: 227-231.
- BOESTEN, J. J. y VAN DER PAS, L. J., 1988: Modeling adsorption/desorption kinetics of pesticides in a soil suspension. *Soil Sci.*, **146**: 221-231.
- CALVET, R.; TERCE, M. y ARVIEU, J. C., 1980: Mise en point bibliographique. Adsoption des pesticides par les sols et leurs constituants. 2. Les facteurs de l'adsorption. *Ann. Agron.*, **31**: 125-165.
- CAPRIEL, P.; HAISCH, A. y KHAN, S. U., 1985: Distribution and nature of bound (nonextractable) residues of atrazine in a mineral soil nine years after the herbicide application. *J. Agric. Food Chem.*, **33**: 567-569.
- CHARLES, R. y WORTHING, B., 1991: The pesticide manual. A world compendium. 9th Edition. Ed. British Crop Protection Council. Great Britain.
- CLOOS, P., 1972: Interacciones entre les pesticides et la fraction minerale du sol. *Pedologie*, **XXII**: 148-173.
- FRANK, R.; BRAUN, H. E.; RIPLEY, B. D. y CLEGG, B. S., 1990: Contamination of rural ponds with pesticides, 1971-85. Ontario, Canada. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **44**: 401-409.
- GORING, C. A. I.; LASKOWSKI, D. A.; HAMAKER, J. W. y MEIKLE, R. W., 1975: Principles of pesticide degradation in soil. In: *Environmental Dynamics of Pesticides* (Ed. Haque R. and Freed V. H.), pp. 135-172. Plenum Press, New York and London.
- HAMAKER, J. W., 1972: Decomposition: Quantitative aspects. pp. 253-340. In C. A. Goring and J. W. Hamaker (ed.) *Organic chemicals in the soil environment*. Marcel Dekker Inc., New York.
- HANCE, R. J., 1979: Effect of pH on the degradation of atrazine, dichlorprop, linuron and propyzemide in soil. *Pestic. Sci.*, **10**: 83-86.
- JAMET, P., 1987: Méthode d'étude de la mobilité d'un herbicide dans le sol. Résultats concernant l'isoxaben. *Phytoma-Défense des cultures*, **389**: 14-20.
- KAUFMAN, D. D. y KEARNEY, P. C., 1976: Microbial transformations in the soil. *Herbicides* (Ed. Audus L. J.), pp. 29-64. Academic Press, New York.
- KEARNEY, P. C.; NASCH, R. G. e ISENSEE, A. R., 1969: Chemical fallout: Current research on persistent pesticides. Ed. M. W. Miller y G. G. Berg. T. Springfield, Illinois.
- KHAN, S. U., 1973: Interaction of hunic substances with bipyrilidilium herbicides. *Can. J. Soil Sci.*, **53**: 199-204.
- KHAN, S. U., 1980: Ocurrence and persistence of pesticide residues in soil. pp. 163-197. In: *Pesticides in the soil environment*. Ed. Elsevier, Amsterdam.
- LEISTRA, W., 1986: Modeling the behaviour of organic chemicals in soil and ground water. *Pestic. Sci.*, **17**: 256-264.
- LEONARD, R. A.; BAILEY, G. W. y SWANK JR, R. R., 1976: Transport, detoxification, fate, and effects of pesticides in soil and water environments. In: *Land application of waste materials*. Soil Conservation Society of America. 7515 Northeast Ankeny Road. Ankeny, Iowa, pp. 48-78.
- MAMOUMI, A.; SCHMITT, P.; MANSOUR, M. y SCHIAVON, M., 1992: Abiotic degradation of isoxaben in the environment. *Pestic. Sci.*, **35**: 13-20.
- MAQUEDA, C.; MORILLO, E. y PÉREZ RODRÍGUEZ, J. L., 1989: Interaction in aqueous solution of certain pesticides with fulvic acids from a spodosol soil. *Soil Sci.*, **148**: 336-345.
- NAVARRO GARCÍA, S.; BARBA, A.; CÁMARA, M. A. y NAVARRO, S., 1992: *Persistencia de los plaguicidas en los suelos agrícolas. Procesos y factores condicionantes*. Ed. Secretario de Publicaciones e Intercambio Científico. Universidad de Murcia.
- NAVARRO GARCÍA, S.; ESCOLAR, P.; BARBA, A. y CÁMARA, M. A., 1995: Influencia de la luz solar en la disipación del herbicida isoxaben en el suelo. *Actas del Congreso 1995 de la Sociedad Española de Malherbología*, 189-192.
- ROUCHAUD, J.; GUSTIN, F.; CALLENS, D.; VAN HIMME, M., y BULCKE, R., 1993: Soil metabolism of the her-

- bicide isoxaben in winter wheat crops. *J. Agric. Food. Chem.*, **41**: 2142-2148.
- RUTHERFORD, B. S., 1990: Liquid chromatographic determination of the herbicide isoxaben and its soil metabolite in soil and soil-turf samples. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **73** (2): 287-289.
- SAVAGE, K. E., 1978: Persistence of several dinitroaniline herbicides as affected by soil moisture. *Weed Sci.*, **26**: 265-471.
- SELIM, H. H., 1989: Prediction of contaminant retention and transport in soils using kinetic multireaction models. *Environ. Health Perspec.*, **83**: 69-75.
- SENESI, N. y TESTINI, C., 1983: The environmental fate of herbicides. The role of humic substances. *Environ. Ecol. Bull.*, **35**: 477-490.
- SINGH, G.; SPENCER, W. F.; CLIATH, M. M. y VAN GENUCHTEN, M., 1990: Sorption behaviour of s-triazines and thiocarbamate herbicides on soils. *J. Environ. Qual.*, **19**: 520-525.
- WALKER, A., 1974: A simulation model for prediction of herbicide persistence. *J. Environ. Qual.*, **3**: 396-401.
- WALKER, A., 1987: Evaluation of a simulation model for prediction of herbicide movement and persistence in soil. *Weed Res.*, **27**: 143-152.
- ZIMDAHL, R. R.; FREED, V. H.; MONTGOMERY, M. L. y FURTICK, W. R., 1970: The degradation of triazine and uracil herbicides in soil. *Weed Res.*, **10**: 18-26.

(Aceptado para su publicación: 30 julio 1997).