

PERSISTENCIA DE HERBICIDAS EN SUELOS TÍPICOS DE LA ESTEPA
CEREALISTA DE CASTILLA Y LEÓN

A. HERGUEDAS, J. ATIENZA y J. ALVAREZ-BENEDÍ

Servicio de Investigación, Desarrollo y Tecnología Agraria.
Consejería de Agricultura y Ganadería. Junta de Castilla y León.

RESUMEN

La utilización de productos fitosanitarios en las estepas cerealistas de Castilla y León ha supuesto una mejora en la cantidad y calidad de los productos aunque posibles incidencias medioambientales como la acumulación de residuos exigen un estudio particular. Uno de los principales parámetros en el diseño de aplicación de un determinado herbicida es precisamente su persistencia en el suelo en función de condiciones climáticas. En este trabajo, se evalúa la persistencia de tres herbicidas utilizados ampliamente en nuestra región. Los experimentos se llevaron a cabo en 18 lisímetros con tres suelos típicos de cultivo de la estepa cerealista Castellana y Leonesa. Se consideró un modelo biexponencial que incluye la representación de procesos de cinéticas de primer y segundo orden. La disipación de Imazametabenz-Metil y Trialato se aproximó a una cinética de segundo orden, mientras que el Clorsulfurón requirió las contribuciones de primer y segundo orden. Las cinéticas de primer orden no representaron satisfactoriamente nuestros experimentos probablemente debido a la confluencia de otros mecanismos como procesos de sorción-desorción, volatilización, etc.

ABSTRACT

The use of herbicides in the cereal croplands in Castilla y León (Spain) has improved quantity and quality of crop production although several environmental problems such as residue accumulation should be evaluated. The persistence of a particular compound as a function of climatic conditions is an interesting parameter in the design of herbicide applications. In this work, the persistence of three herbicides used extensively in our region was evaluated. Experiments were performed in 18 lysimeters with 3 soils representative of cereal croplands. A biexponential model was evaluated which includes first order and second order kinetics. The fate of Imazamethabenz-Methyl and Triallate was close to a second order kinetics, whereas the disappearance of Chlorsulfuron was represented with contribution of both (first and second order) kinetics. First order kinetics did not represent well our experiments probably due to the appearance of several mechanisms other than dissipation (sorption-desorption processes, volatilization, etc.)

1. INTRODUCCIÓN

El paulatino aumento de la concentración de productos potencialmente tóxicos para el ser humano y la naturaleza, hace necesario un conocimiento exhaustivo del comportamiento de estas sustancias en el suelo. La creciente conciencia ecológica de la sociedad y la preocupación por la conservación el medio ambiente han convertido este tema en un asunto objeto de un gran esfuerzo investigador.

Castilla y León es la región más extensa de la UE con una superficie aproximada de 94000Km², estando un 20% de sus tierras destinadas al cultivo de cereales. Considerando esta superficie y las dosis de empleo de los herbicidas aconsejadas por los fabricantes, puede estimarse que se aplican anualmente unas 1500Tm de estos productos en los suelos de nuestra región. Estas prácticas agrícolas, aunque necesarias, pueden suponer graves peligros al suelo de cultivo, que se hacen extensibles a las cuencas acuíferas y por lo tanto al medio ambiente. Por otro lado, la utilización continuada de herbicidas bajo ciertas condiciones puede suponer su acumulación a largo plazo en el medio de cultivo, si estos compuestos no son degradados entre aplicaciones. Esta persistencia puede tener repercusión en cultivos de rotación posterior (1,2,3), traduciéndose principalmente en problemas de nascencia, con las considerables pérdidas económicas que esto ocasiona.

El Imazamethabenz-Metil (ASSERT 30°), el Trialato (AVADEX BW°) y el Clorsulfuron (GLEAN°) son los herbicidas más extensamente utilizados por los agricultores de la región para el control de malas hierbas en cultivos de cereales. Las propiedades de cada uno de ellos aparecen reflejadas en la Tabla 1. Uno de los parámetros más habitualmente disponibles en la biblio-

Tabla 1.
Propiedades de los Herbicidas (Tomlin, The Pesticide Manual, 11th Ed)

	Imazametabenz-Metil	Trihalato	Clorsulfuron
P. de Vapor (mPa)	0.0015	16	0.000005
Solubilidad (mg/L)	857	4	<10000
Octanol/Agua lg (Kow)	1.54	4.29	-1.0
Cte. Disoc. Ac. (pKa)	2.9	**	3.6
Cte. de Henry	5.05.10-7	1.11	6.8.10-6

** No calculada.

grafía y que proporciona una primera idea de la persistencia de un herbicida es el valor de su vida media en los suelos (4,5). Sobre dicho planteamiento se suele aceptar una cinética de desaparición del herbicida de pseudo-orden uno. El valor de la constante de velocidad de orden uno se relaciona directamente con la vida media mediante la relación $K = \ln 2/t^{\circ}$. Dicha constante puede, en una primera aproximación considerarse dependiente de la humedad y la temperatura del suelo (6). Evidentemente, se trata de una visión simplista que engloba efectos de degradación biológica, química, adsorción en componentes orgánicos y minerales, volatilización, etc. Sin embargo, prácticamente nadie duda de la utilidad de este planteamiento a la hora de realizar una primera selección de productos a utilizar. Por otro lado, es bien conocido incluso para alguno de los herbicidas considerados en este trabajo, que la degradación de un herbicida en el suelo está muy estrechamente relacionada con lo regímenes de temperatura y humedad (7), y por lo tanto con las condiciones agrometeorológicas. Estos factores son sin duda cruciales también en los procesos de adsorción y volatilización (8).

En base a lo anterior cabe plantearse dos objeciones al uso del valor de la vida media; por un lado es necesario acotar hasta qué punto es válida la simplificación de cinética de pseudo-orden uno. Por otro lado, parece interesante acotar también hasta que punto los valores de una experiencia bajo una determinada climatología puede ser extrapolada a otras condiciones. O incluso si las diferencias entre tratamientos de primavera y otoño en un mismo lugar pueden tratarse de la misma forma.

Los objetivos de este trabajo fueron por un lado, el seguimiento de la concentración de los tres herbicidas anteriores en suelos de distinta textura y bajo dos tratamientos consecutivos (primavera y otoño respectivamente). Por otro lado, se pretendió evaluar la utilización de una expresión cinética biexponencial (con contribución de cinéticas de 1^{er} y 2^o orden, discutiendo además las diferencias entre herbicidas, tratamientos y tipos de suelo).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental disponía de 18 contenedores de dimensiones 0.60m X 0.44m y de 0.40m de profundidad, que contenían tres suelos de cultivo típicos de la estepa cerealista Castellano y Leonesa. Los herbicidas han estado sometidos a una climatología típica continental caracterizada por cambios bruscos de temperatura y precipitaciones escasas. Las principales propiedades de los suelos se muestran en la tabla 2. Cabe destacar que el pH es muy similar en todos ellos (alrededor de 7.5) así como el contenido en materia orgánica (1-2%). La mayor diferencia reside entonces en el contenido en arcilla. Como cereal de ensayo se escogió cebada (*Hordeum vulgare*). Se realizó un diseño experimental de bloques completo de forma aleatoria con los tres herbicidas en los tres tipos de suelo y dos repeticiones de cada punto del diseño. Se elaboraron además dos tratamientos. La siembra del primer ciclo se efectuó el 8 de Marzo de 1994, el 14 de Abril el primer tratamiento y la recolección en el 8 de Agosto. La segunda siembra se realizó el 29 de octubre de 1994, el tratamiento herbicida el 9 de Diciembre de ese mismo año y la recolección el 12 de Julio de 1995. Las dosis de los procedimientos para cada contenedor fueron: 0.6 ml de Assert 30, 0.9 mL de Avadex BW y 10 mg de Glean. La primera toma de muestra se efectuó dos horas después del tratamiento recogiendo muestras de cada contenedor a intervalos de 15 días. Las muestras fueron escogidas en los primeros 15 cm. de suelo, recogiendo cantidades próximas a los 10 g. El proceso se realizaba por duplicado, señalando en el lisímetro en lugar de la toma, sin rellenar la zona muestreada. Las dos muestras de cada contenedor se mezclaban, se dejaban secar y posteriormente se congelaban en la oscuridad hasta el momento del análisis.

Para el Imazametabenz-Metil, el análisis de los residuos en el suelo se efectuó siguiendo el procedimiento expuesto por Atienza et al (9), consistente en una extracción con una mezcla acuosa a pH básico, limpieza y concentra-

Tabla 2.
Caracterización de los Suelos empleados.

	pH(1)	Textura		M.O.(2) (%)	C. C. C. (3) (meq/100g)
		% Arena	% Arcilla		
(a)	7.76	71.3	9.7	0.6	1.6
(b)	7.84	36.7	28.4	1.1	1.8
(c)	7.98	8.6	56.2	1.5	1.7

(1) En Cl₂Ca.

(2) Materia Orgánica..

(3) Capacidad de Cambio Catiónico.

* Todos los análisis han sido realizados siguiendo Métodos Oficiales de Análisis (Orden 1-XII-81).

ción sobre un cartucho C18 para proceder a su posterior análisis por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Los residuos de Trialato fueron analizados mediante el procedimiento de Bernal et al (10), empleándose la extracción con fluidos supercríticos y posterior determinación por cromatografía de gases con detección por emisión atómica (HRGC-AED). El Clorsulfuron fué analizado por el procedimiento expuesto por Jiménez et al (11), consistente en una extracción con una mezcla tamponada a pH básico, posterior limpieza y concentración sobre un cartucho C18 y por último la determinación por HPLC.

Para poder comparar comportamientos, los datos se ajustaron a un modelo de degradación empírico biexponencial (12). Este modelo posee la siguiente expresión en forma diferencial e integrada

$$-\frac{dC}{dt} = K_1 C + K_2 C^2 \qquad C = \frac{K_1 C_0}{(K_1 + K_2 C_0) e^{K_1 t} - K_2 C_0}$$

donde C representa la concentración en cada momento ($\mu\text{g/g}$) que dependerá del tiempo transcurrido, C_0 la concentración inicial ($\mu\text{g/g}$), t es el tiempo transcurrido desde la contaminación (días) y K_1 y K_2 son constantes cinéticas.

Dependiendo del valor relativo de las constante cinéticas el modelo puede explicar distintas situaciones. Así, cuando $K_1 \gg K_2$ el modelo biexponencial tiende a una cinética de primer orden y puede ser simplificado a este modelo. Si por el contrario, $K_1 \ll K_2$, reproduce una cinética de segundo orden. Cabe destacar el caso especial $K_1 > 0$ y $K_2 < 0$. En estas condiciones se aprecia una evolución tipo sigmoide característica de una degradación microbiana, en la que cada tramo de la curva representa etapas distintas de la degradación. En este tipo de degradación cabe distinguir tres etapas, correspondientes a un periodo de acomodación y adaptación, un periodo de velocidad constante y por último un periodo de finalización (13). En la Fig. 1 se han representado todas las posibilidades comentadas para una mejor comprensión del modelo y las distintas posibilidades que ofrece. No obstante, no hay que olvidar que es un modelo matemático por lo que las anteriores ecuaciones han de tomarse de forma empírica, sin atender al significado físico de las equivalentes cinéticas de reacción homogéneas y mucho menos extraer conclusiones de mecanismos de reacción. La utilidad del modelo reside entonces en que nos permite realizar una comparación de los efectos.

Para la obtención de las correspondientes constantes de velocidad se realizó un ajuste por el método de mínimos cuadrados no lineal Levenberg-Marquardt, mediante cálculo iterativo (14). Se calculó además el coeficiente de correlación r de Pearson entre la matriz de datos experimentales y la de los valores teóricos para tener una idea del grado de ajuste de los modelos y proceder a su comparación.

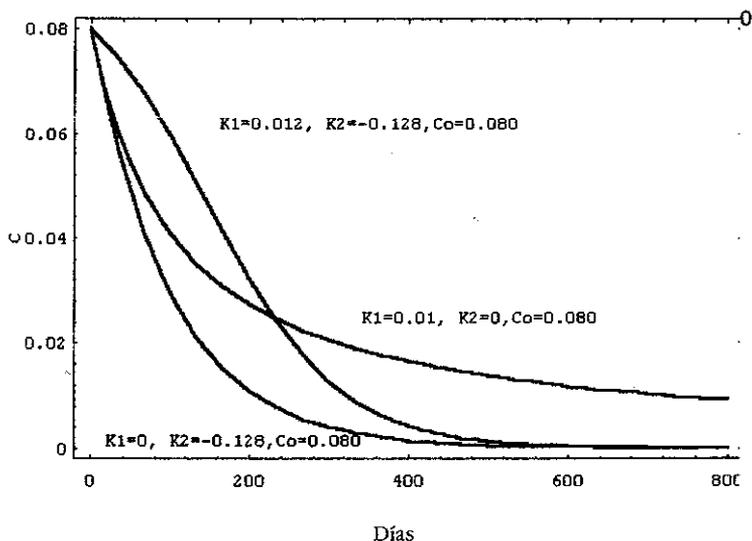


Fig. 1. Evolución de los modelos, dependiendo de los valores de las constantes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

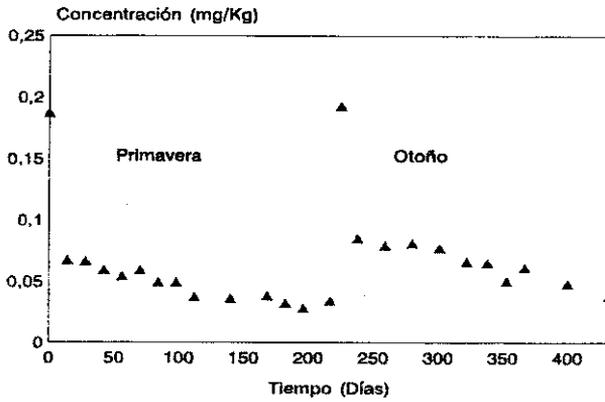
En la Tabla 3 aparecen los resultados de los herbicidas en cada tipo de suelo, y en los dos tratamientos. Se han calculado las varianzas debidas al ajuste y al error experimental (15) y se han comparado en una prueba F (95% de confianza), para confirmar que los ajustes pueden ser aceptados. Con los datos del segundo tratamiento se realizó el mismo estudio estadístico llegando a idénticas conclusiones, es decir, la aceptación del modelo biexponencial para el ajuste de los datos experimentales.

3.1. Diferencias entre herbicidas

En la Fig. 2(a,b,c) se muestran, a modo de ejemplo, los datos experimentales de concentración obtenidos para cada herbicida en el suelo B. A la vista de dichas gráficas, ya se observan dos comportamientos diferentes, que se ponen de manifiesto en el tratamiento matemático de dichos datos. Uno de estos comportamientos, es el mostrado por el Trialato y en menor medida por el Imazametabenz-Metil. Estos dos herbicidas presentan un marcado carácter volátil, con presiones de vapor relativamente elevadas (entre 10^6 y 10^3 respectivamente superiores a las del Clorsulfuron). Esta propiedad queda reflejada en los datos de permanencia en los contenedores durante los primeros 7 días.

Fig. 2. Evolución de la concentración de los Herbicidas estudiados en suelo tipo B . a) Imazametabenz-Metil, b) Trialato y c) Clorsulfuron.

a)



b)

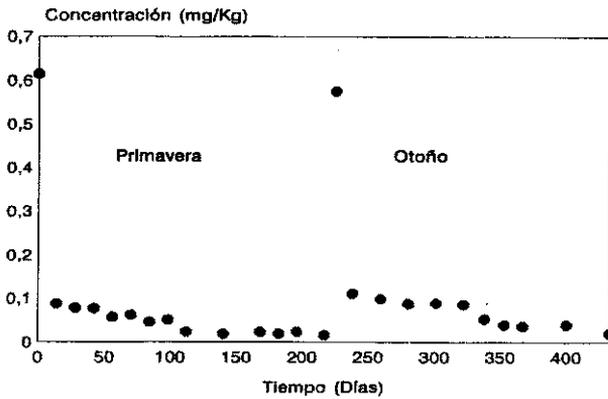
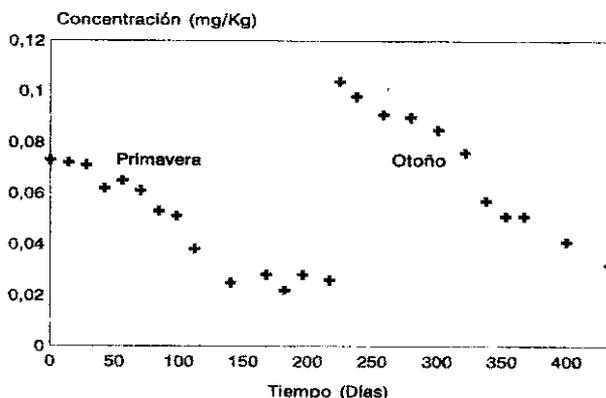


Fig. 2. (Cont.)

b)



De esta forma, se observa una notable pérdida, que para el Trialato llega a ser hasta el 70% de la cantidad aplicada, mientras que para el Imazametabenz-Metil la estimación de la fracción volatilizada es del 45% aprox. Este fenómeno ya había sido observado por Walker (16) en estudios con otros compuestos, en concreto con la nanoproamide.

Para el Imazametabenz-Metil y el Trialato, a partir de los coeficientes del modelo obtenidos en los ajustes (Tabla 3), se observa que en todos los tipos de suelo y tratamientos los valores de K_1 son sensiblemente menores que los de K_2 , lo que nos indica un marcado carácter de la evolución de los residuos a similitud de la cinética de 2º orden. Esto es un punto importante ya que implica que la velocidad de degradación de los herbicidas no sólo depende de las características del producto, sino que además depende de la concentración inicial encontrada en el suelo. Por otro lado el signo negativo de K_1 puede explicarse al evaluar el límite de la expresión cinética $C(t) > l$. En estas condiciones, si calculamos el límite obtenemos que $C_0 = -K_1/K_2$. El modelo tiende a optimizar el valor de K_1 para acomodarse a esta situación. Este valor del límite predice una hipotética concentración residual en el suelo.

Para el Clorsulfuron los resultados experimentales no muestran unas pérdidas iniciales. En ambos tratamientos se observa que la diferencia entre el valor de K_1 y K_2 es sensiblemente menor que en los herbicidas anteriores lo que implica una cinética mixta con contribución de 1º y 2º orden. En cualquiera de los casos se observa que $K_1 < 0$ y $K_2 > 0$. Esto es típico de procesos influenciados por la degradación de origen microbiano como antes se ha comentado.

Tabla 3.
Datos de los ajustes

a) Primer Tratamiento. (Primavera)

	Suelo (a)			Suelo (b)			Suelo (c)		
	K ₂	K ₁	C ₀	K ₂	K ₁	C ₀	K ₂	K ₁	C ₀
Imazametabenz-Metil	1.316	-0.052	0.154	0.726	-0.028	0.187	0.695	-0.025	0.167
Trialato	1.056	-0.030	0.421	0.620	-0.017	0.614	0.544	-0.017	0.700
Clorsulfuron	-0.029	0.004	0.085	-0.128	0.012	0.073	-0.126	0.013	0.087

b) Segundo Tratamiento. (Otoño)

	Suelo (a)			Suelo (b)			Suelo (c)		
	K ₂	K ₁	C ₀	K ₂	K ₁	C ₀	K ₂	K ₁	C ₀
Imazametabenz-Metil	0.751	-0.035	0.149	0.726	-0.028	0.193	0.471	-0.024	0.173
Trialato	0.613	-0.039	0.631	0.600	-0.031	0.575	0.259	-0.027	0.875
Clorsulfuron	-0.156	0.016	0.097	-0.148	0.017	0.104	-0.126	0.016	0.114

3.2. *Diferencias entre tratamientos*

Partiendo de la argumentación anteriormente expuesta para el Imazameta-benz-Metil y Trialato, en la que se expuso la similitud del comportamiento con una cinética de 2º orden, parece razonable plantearse la diferencia entre tratamientos en términos de la variación de K₂ (al menos en una primera aproximación). En este punto se observa, atendiendo a las consideraciones del apartado anterior, una concentración residual en cada aplicación. Otro punto importante para estos herbicidas es que la volatilización durante los primeros días es menor en el tratamiento realizado en otoño que en el correspondiente de primavera, debido posiblemente a las condiciones climáticas habituales de cada época del año (temperatura y velocidad de viento, principalmente). Se observa entonces que en el segundo tratamiento las constantes cinéticas de degradación han disminuido en todos los suelos (Tabla 3), lo que implica una velocidad de degradación menor, unos tiempos de permanencia mayor y unas concentraciones finales por lo tanto también superiores a las del tratamiento anterior. Estas dos consideraciones (concentración residual y volatilización) se muestran como las importantes para el estudio de la persistencia, ya que son la principal causa de la acumulación de residuos en los suelos y la aparición de concentraciones superiores a las esperadas para determinados usos del suelo de cultivo.

Para el caso del Clorsulfuron ya se comentó en el apartado 3.1 un comportamiento distinto, lo que se traduce en unas constantes de velocidad entre los tratamientos mucho más parecidas, e incluso mayores para el trata-

miento de otoño que para el de primavera, sobre todo el valor de K_1 . Si analizamos el modelo biexponencial, en estas condiciones ($K_1 < 0$ y $K_2 > 0$), el valor de K_1 puede interpretarse como una medida de la facilidad de adaptación de los microorganismos. El valor superior de K_1 en el segundo tratamiento implica la existencia de un fenómeno de memoria de por parte de los agentes microbianos que ha sido puesto de manifiesto por Joshi et al (17). El efecto del valor de K_1 puede apreciarse en la fig. 3, donde se muestran distintas cinéticas para distintos valores de dicha constante.

3.3. Diferencias entre los distintos suelos

Para el Imazametabenz-Metil se aprecia en ambos tratamientos, que el valor de las constantes (K_2) disminuye con el porcentaje de arcilla de los suelos (Tabla 3). Este hecho está en concordancia con lo expuesto por Cartón et al (18), que observaban una mayor adsorción de las Imidazolinas en las arcillas en suelos muy similares. Este fenómeno se traduce en una mayor persistencia del herbicida en suelos arcillosos, que habrá de ser tenido en cuenta para la optimización de las dosis de empleo, a la hora de conseguir las

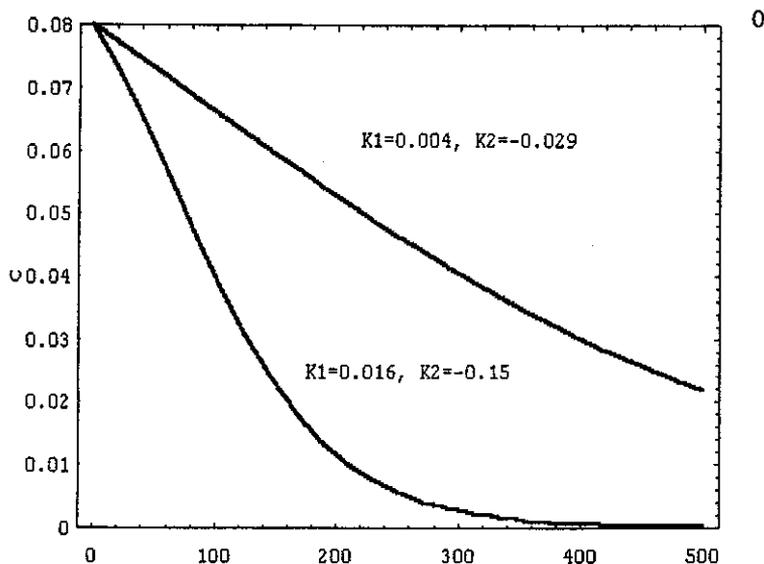


Fig. 3. Diferencias entre los tratamientos de Primavera y Otoño, en la fase de Adaptación. Reproducción a partir de los valores obtenidos para el Suelo Tipo (A)

mejores eficacias de los herbicidas. Además se ha comprobado que no existe una dependencia lineal entre el valor de las constantes y el contenido en arcilla, por lo que para su predicción será necesario la introducción de otros factores adicionales.

En el caso del Trialato, al comparar los valores de las constantes (K_2) de un mismo tratamiento entre distintos suelos, se vuelve a observar como en el caso anterior, la dependencia con la textura del suelo y una clara tendencia a la disminución del dicho valor con el contenido de arcilla. También el porcentaje de volatilización en los primeros días aumenta desde suelos arenosos a los arcillosos, de acuerdo con lo expuesto por Jury et al (19), otra consecuencia de la adsorción del Trialato por las arcillas.

El valor de las constantes de velocidad del Clorsulfuron para un mismo tratamiento en distintos suelos es bastante similar. Los valores de las constantes del modelo responden a la forma ($K_1 > 0$, $K_2 < 0$), típico de una degradación de carácter microbiano, la vía más importante de degradación en suelos con pH neutro (20,21). En este caso, el porcentaje de arcilla no parece ser un factor tan significativo en la persistencia del herbicida.

4. CONCLUSIONES

Se han observado dos comportamientos distintos de disipación para los tres herbicidas estudiados: por un lado, el Imazametabenz-Metil y Trialato exhibieron un proceso de disipación que se asemeja a una cinética de segundo orden, mientras que para el Clorsulfurón se trata de un proceso con contribuciones de primer y segundo orden. La disminución de la concentración en los primeros días, debido posiblemente a fenómenos de volatilización, se ha mostrado como el factor más relevante en la diferenciación de uno u otro comportamiento, bien representados por un modelo biexponencial.

Imazametabenz-Metil y Trialato experimentaron considerables pérdidas durante los primeros días de tratamiento (45 y 70%, respectivamente). Bajo estas condiciones, la concentración en suelos se reduce rápidamente hasta llegar a unos niveles a partir de los cuales la degradación es muy lenta. Este comportamiento es reproducido por el modelo biexponencial tomando valores de $|K_2| \gg |K_1|$ (contribución de cinética de segundo orden) y tendiendo a un valor de la concentración $C_0 = -K_1/K_2$.

El Clorsulfurón no experimenta pérdidas durante los primeros días, observándose en este caso una evolución sigmoidal. El modelo biexponencial reproduce también esta situación típica de procesos cuya contribución principal es la biodegradación. En el segundo tratamiento se observa, apoyando esta hipótesis, una reducción de la etapa de adaptación.

En general, puede concluirse que el uso de expresiones cinéticas de primer orden para la estimación de la persistencia no es satisfactoria para nuestras experiencias. El modelo experimental, a pesar de introducir un nue-

vo parámetro, representa más fielmente los resultados. La estimación de las constantes del modelo correspondientes a tratamientos de primavera y otoño puede ser suficiente para realizar estimaciones previas de la persistencia, si no se pretende realizar un estudio basado en experimentación pormenorizada y utilizando modelos acoplados de degradación, transporte, adsorción, y volatilización.

La textura del suelo, como era de esperar, se ha mostrado como un factor importante. Es necesario tener en cuenta este aspecto en futuros estudios de disipación en suelos de la Estepa Cerealista en Castilla y León, incluso por delante de parámetros tradicionalmente considerados importantes como el contenido en Materia Orgánica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado bajo el proyecto INIA SC-95001-C

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.A. Ivany, J.M. Sadler, E.R. Kimball y K.B. McRae. Atrazine Persistence and Residue Effects on Rotation Crops. *Can. J. Plant Sci.* 1985. 65, 365-368.
- [2] M.A. Peterson y W.E. Arnold. Response of Rotational Crops to Soil Residues of Chlorsulfuron. *Weed Research.* 1985. 34, 131-136.
- [3] J.R. Moyer y R. Esau. Imidazoline Herbicide Effects on Following Rotational Crops in Southern Alberta. *Weed Technology.* 1996. 10, 100-106.
- [4] A. Vicari, P. Catzone y R.L. Zimdahl. Persistence and Mobility of Chlorsulfuron and Metsulfuron under Different Soil and Climatic Conditions. *Weed Research.* 1994. 34, 147-155.
- [5] E. Kotoula-Syka, I.G. Eleftherohorinos, A.A. Gagianas y A.G. Sficas. Phytotoxicity and Persistence of Chlorsulfuron, Metsulfuron-Methyl, Triasulfuron and Tribenuron-Methyl in Three Soils. *Weed Research.* 1993. 33, 355-367.
- [6] A. Walker y P.A. Brown. Measurement and Prediction of Chlorsulfuron Persistence in Soil. *Bull Environ. Contam. Toxicol.* 1983. 30, 365-372.
- [7] G. Singh, W.F. Spencer, M.M. Cliath y M.Th. van Genutchten. Dissipation of s-Triazines and Tiocarbamates from Soil as related to Soil Moisture Content. *Environmental Pollution.* 1990. 66, 253-262.
- [8] M.G. Hayo y van der Werf. Assessing the Impact of Pesticides on the Environment. *Agric. Ecosystems & Environment.* 1996. 60, 81-96
- [9] J. Atienza, J.J. Jimenez, A. Herguedas y J.L. Bernal. Comparative study of three extraction procedures for Imazamethabenz-methyl in agricultural soil. *J. of Chromatography A.* 1996. 71, 113-121.
- [10] J.L. Bernal, J.J. Jimenez, J. Atienza y A. Herguedas. Extraction of Triallate from soil with Supercritical Carbon Dioxide and Determination by GC-AED. Comparison with a solvent extraction procedure. *J. of Chromatography A.* 1996. 754, 257-263
- [11] J.J. Jiménez, J.L. Bernal, A. Herguedas y J. Atienza. Determination of Chlorsulfuron and Tribenuron-Methyl in Agricultural Soils. Aceptada en *J. of Chromatography* (1996).

- [12] P.M.Jardine, F.M. Dunnivat, H.M. Selim y McCarth. Comparison of Models for Describing the Transport of Dissolved Organic Compounds. *Soil Sci.Soc. Am. J.* 1992. 5,393-401.
- [13] G.K. Vasilyava, I.N. Gogotov y E.G. Surovtseva. Adaptation of Microorganisms for pesticide Degradation. En *Fate of Pesticides & Chemicals in the Environment*. J.L. Schnoor Ed. John Willey & Sons, Inc. 1991. 16, 259-276.
- [14] W.H. Press, S.A. Teukolky, W.T. Vettering y B.P. Flannery. Numerical Recipes in C. Cambridge University Press. 1992. 994 pp.
- [15] J.C. Miller y J.N. Miller. *Statistics for Analytical Chemistry*, 2nd Edition. Ellis Horwood Limited Ed. John Willey & Sons. 1988. 223 pp.
- [16] A. Walker. A Simulation Model for Prediction of Herbicide Persistence. *J. Environ. Qual.* 1974. 3, 396-401.
- [17] M.M. Joshi, H.M. Brown y J.A. Romesser. Degradation of Chlorsulfuron by Soil Microorganisms. *Weed Science*. 1985. 33,888-893.
- [18] A. Carton, T. Isla y J. Alvarez-Benedí. Sorption-Desorption of Imazamethabenz on Three Spanish Soils. *J. Agric. Food Chem.* 1997. 45,1454-1458.
- [19] W.A. Jury, R. Grover, W.F. Spencer y W.J. Farmer. Modeling Vapor Losses of Soil-Incorporated Triallate. *Soil Sci. Soc. Am.* 1985. 65, 365-368.
- [20] K. Thirunarayan, R.L. Zimdahl y D.E. Smika. Chlorsulfuron Adsorption and Degradation in Soil. *Weed Sci.* 1985. 33, 558-563.
- [21] A. M. Blair y T.D. Martin. A Review of the Activity, Fate and Mode of Action of Sulfonylurea Herbicides. *Pestic. Sci.* 1988. 22,195-219.