

Movilidad de trifluralina en laboreo tradicional y de conservación

M. J. Calderón, M. C. Hermosín, J. Cornejo y F. Moreno

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. CSIC. Apartado 1052. 41080 Sevilla.
e-mail: mjcalderon@irnase.csic.es

RESUMEN. Este estudio monitoriza la movilidad de trifluralina mediante su aplicación en columnas inalteradas y el análisis de su distribución a lo largo del perfil y en los lixiviados, después de 1, 16, 40 y 83 días. Los lixiviados en ningún caso registraron la presencia de herbicida, confirmando su baja movilidad. La distribución de residuos en las columnas muestra mayor movilidad en el laboreo tradicional, con presencia del herbicida hasta los 16 cm, mientras que en el laboreo de conservación la máxima penetración de residuos es hasta 12 cm. Las cantidades de trifluralina residuales eran bastante más bajas en laboreo de conservación (71, 40, 24 y 13 %) que en el tradicional (88, 67, 51 y 40%), obteniéndose una vida media de 26 y 40 días, respectivamente. Los procesos de biodegradación y adsorción, más acusados en laboreo de conservación, reducen la persistencia de la trifluralina en el suelo. Los resultados obtenidos en las columnas de suelo concuerdan bastante bien con los residuos medidos en el campo en las parcelas de laboreo de conservación. Este estudio, como otros anteriores con clopiralida y metamitrona, muestra como las dosis mayores de herbicida requeridas en los sistemas de laboreo de conservación no significan necesariamente un aumento del riesgo de la presencia de herbicidas en los acuíferos.

ABSTRACT. The mobility of the herbicide trifluralin in undisturbed soil columns was monitored, analyzing its distribution along the soil profile and leachates, after 1, 16, 40 and 83 days. No trifluralin residues were found in leachates, confirming its low mobility. Residue distribution in soil columns shows higher mobility under conventional tillage. Trifluralin residues were found at 16 cm whereas the maximum depth reached under reduced tillage was 12 cm. Trifluralin residues were higher in conventional tillage (71, 40, 24 and 13% after 1, 16, 40 and 83 days, respectively) than in reduced tillage (88, 67, 51 and 40%), with a half life of 26 and 40 days under conventional and reduced tillage, respectively. Biodegradation and adsorption processes, more noticeable in reduced tillage, decreased the persistence of trifluralin in soil. The results obtained in undisturbed soil columns were similar to that found in field experiment. This study, like previous studies with clopyralid and metamitron, shows that higher trifluralin rates required in reduced tillage do not necessarily imply a higher risk of groundwater contamination by pesticides.

1.- Introducción.

El laboreo de conservación o no laboreo es una práctica cultural cuya implantación en España está creciendo continuamente por dos razones fundamentales: 1) gran ahorro económico ligado al ahorro energético y de agua (Herruzo, 1997; Isensee et al., 1990) y 2) mejora en las propiedades físicas del suelo que contrarrestan la erosión (Giráldez, 1997). Este sistema, que minimiza o elimina las labores repetitivas y profundas con subsolador y vertederas, tiene además efectos beneficiosos sobre la materia orgánica del suelo y su fertilidad (González, 1997) e incluso en la cantidad y distribución de los organismos vivos del suelo (López-Fando y Bello Pérez, 1997). Quizás el único aspecto desfavorable de estos sistemas es que necesitan un mayor empleo de herbicidas para el control de las malas hierbas con las connotaciones medioambientales adversas que ello conlleva, muy especialmente su movilidad horizontal (escorrentía) y vertical (percolación) que producen la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. El sistema de laboreo, al influir en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por otro lado íntimamente ligados a la dinámica de herbicidas en el suelo (Isensee et al., 1990), incide en el comportamiento de estos agroquímicos en el medio natural. Existen opiniones diversas e incluso contradictorias del efecto del tipo de laboreo en la movilidad de herbicidas en el suelo. Por una parte hay quien reporta un aumento de herbicidas en las aguas de percolación debido al flujo preferencial a través de los macroporos abundantes en los sistemas de no laboreo (Helling et al., 1988; Isensee et al., 1988). En otros casos y debido al aumento en materia orgánica y población microbiana del suelo se ha constatado una disminución de la cantidad de herbicida percolada y de su persistencia en el suelo (Levanon et al., 1993; Cox et al., 1999). Estos aspectos dependen mucho de las propias características (adsorbabilidad, degradabilidad) del compuesto en cuestión (Cox et al., 1999).

Uno de los herbicidas más ampliamente usados es la trifluralina, cuyo campo de acción incluye algunas mono- y dicotiledoneas anuales impidiendo su normal crecimiento radicular por inhibición del crecimiento celular. Al igual que la mayoría de herbicidas pertenecientes a esta familia (dinitroanilinas), su principal característica es su alta persistencia en el suelo como consecuencia de su baja movilidad lo que provoca daños en posteriores cultivos,

aunque según algunos autores su fitotoxicidad sólo estará presente durante 18 a 24 meses (Swan, 1972; Wolf y Martin, 1974).

El objetivo de este trabajo es observar e interpretar los efectos del tipo de laboreo en la movilidad del herbicida trifluralina con un diseño experimental a nivel de laboratorio y un estudio de persistencia directamente en el campo.

2.- Materiales y métodos.

2.1.- Herbicida.

Para el estudio de movilidad en el laboratorio se ha utilizado el producto técnico con un 98% de pureza previamente suministrado por Riedel de Häen (Seelze, Alemania). Sin embargo para el estudio de campo la formulación utilizada ha sido el producto comercial, Treflan, con una riqueza del 48% en ingrediente activo. Ambas formulaciones se han mantenido a bajas temperaturas y en la oscuridad para evitar la fotodegradación del mismo. Las principales propiedades del herbicida se encuentran recogidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del herbicida.

Fórmula	P. fusión (°C)	P. vapor (mPa, 25°C)	Solubilidad (mg/l, 27°C)	Kow (pH 7, 25°C)	Pm (g/mol)
C ₁₃ H ₁₆ F ₃ N ₃ O ₄	48,5-49	13,7	< 1	118.000	335.5

2.2.- Suelo.

Tanto el estudio de movilidad como el de persistencia se ha realizado con un suelo perteneciente a una finca experiencial que posee el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS) en la localidad sevillana de Coria del Rio. En la Tabla 2 se muestran las características físico-químicas del suelo. En este suelo se estableció este estudio integral de laboreo tradicional y de conservación en 1991, tal y como han descrito detalladamente Moreno *et al.* (1997) y Murillo *et al.* (1998).

Tabla 2. Propiedades físico-químicas del suelo.

Clasificación	Prof. (cm)	M.O. (%)	C (%)	pH	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
Tipo	0-20	1.25	0.73	7.1	56.6	18.6	24.8
Xerofluent							

Tabla 3. Distribución de la materia orgánica

Profundidad (cm)	1995		1997	
	LC	LT	LC	LT
0-2	1.84	1.45	2.07	1.53
2-10	1.31	1.29	1.30	1.30

En la Tabla 3 se recoge la distribución de la materia orgánica en este suelo en los años en los que se ha realizado el estudio.

El experimento de persistencia se realizó en dicha finca dividiendo la zona de experimentación en dos parcelas de 500 m² cada una. Una de ellas se destinó al laboreo de conservación (LC) y otra al laboreo tradicional (LT). Las labores realizadas consistieron en un pase con arado de vertedera a una profundidad de 35 cm y un pase de grada de disco a una profundidad de 5-10 cm previa quema de rastrojos en el caso de LT. En la zona dedicada a LC se realizó un solo pase con grada de disco dejando los restos de cosechas anteriores sobre el terreno. Ambas parcelas fueron dedicadas a la siembra del trigo los dos años del experimento, aunque en años alternos se dedicaban a la rotación trigo-girasol. El herbicida se aplicó únicamente en la parcela de LC y antes de la siembra.

2.3.- Estudio de movilidad en laboratorio.

Dicho estudio se realizó en 1997 en columnas de suelo inalteradas tanto de LT como de LC. Las columnas consistieron en cilindros de PVC, cuyas dimensiones eran de 20 cm de ϕ y 24 cm de L., y que presentaban el borde inferior viselado con el fin de facilitar su penetración en el terreno. Una vez tomadas las columnas, la parte inferior se cubrió con lana de vidrio y una malla plastificada para evitar la pérdida de partículas de suelo en su transporte y en el posterior experimento de movilidad. La densidad aparente del suelo de las columnas, calculada a partir del peso y volumen de las mismas, presentó diferencias entre ambos tratamientos y fue de 1.65 g cm⁻³ en LC y de 1.54 g cm⁻³ en LT. Una vez en el laboratorio las columnas se dispusieron sobre unas macetas de plástico que facilitaban la recolección de los lixiviados mediante un orificio practicado en la base de las mismas. Previamente a la aplicación del herbicida, las columnas fueron saturadas con agua y una vez drenadas durante 24 h se aplicó el herbicida. Se añadieron, directamente sobre las columnas, 60 ml de trifluralina 150 μ M diluida en metanol coincidiendo con la cantidad de herbicida aplicado en el campo. Después de la adición del herbicida se añadieron difentes volúmenes de agua tal y como se muestra en la Tabla 4. El volumen de agua total aplicada en las columnas fue de 1500 ml. Cada vez que se añadía agua a las columnas se dejaban drenar 24 h para después proceder a la recolección de los lixiviados y realizar la toma de muestra del suelo de cada columna con el consiguiente análisis de los residuos.

Tabla 4. Volúmenes de agua aplicada a las columnas.

Tiempo (días)	LC (ml)				LT (ml)			
	1	300	300	300	300	300	300	300
16		500	500	500		500	500	
40			400	400			400	
83				300			300	
Total	300	800	1200	1500	300	800	1500	

2.4.- Estudio de persistencia en campo.

Se aplicaron 2 l/ha de treflan a la parcela de LC que equivalen a 480 g de trifluralina/ha. Las fechas de aplicación fueron el 22 de Febrero de 1995 y el 3 de Marzo de 1997, un día antes de la siembra en ambos casos. Se realizaron 8 tomas de muestras a lo largo de 110 días a las profundidades de 0-2 y 2-10 cm con una barrena de unos 3 cm de ϕ durante los años 1995 y 1997. Los datos climáticos de los años en los que se realizaron los experimentos se muestran en la Tabla 5. El agua recibida por el suelo en dichos años procedió exclusivamente de la lluvia ya que no se realizó ningún riego. En la fig 1 se ha representado el contenido en humedad del suelo en ambos años. Las muestras una vez tomadas se almacenaron en bolsas de papel a -4°C antes de proceder a su análisis para evitar así su degradación.

Tabla 5. Parámetros climáticos del período experimental (t^{a} máx.= t^{a} máxima media, t^{a} mín.= t^{a} mínima media, Ll= Lluvia, H.= Horas de sol).

Mes	1995				1997			
	t^{a} max (°C)	t^{a} min. (°C)	Ll. (mm)	H.	t^{a} max (°C)	t^{a} min. (°C)	Ll. (mm)	H.
Febrero	19.1	7.4	53.5	210	20.3	8.0	0	202
Marzo	22.6	7.8	4.0	217	25.5	8.7	0	260
Abril	25.5	9.6	17.0	242	26.6	13.0	50.0	223
Mayo	30.1	14.1	4.5	303	26.1	13.4	20	271
Junio	29.5	16.4	26.0	270	28.8	15.7	26.5	289
Julio	35.8	18.5	0	304	31.3	16.7	3.0	323

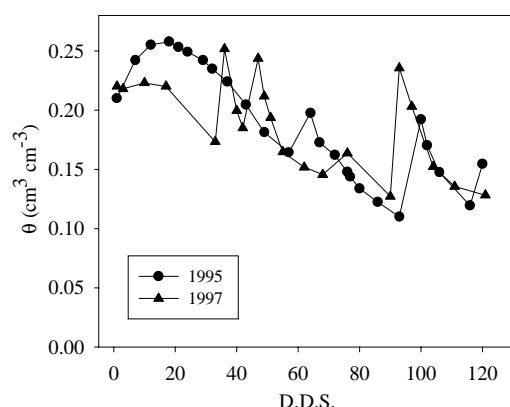


Fig 1. Evolución del contenido de agua en el suelo (θ) en la capa de 0-15 cm en LC, durante los períodos de cultivo de 1995 y 1997. (D.D.S.= días después de la siembra).

2.5.- Extracción y análisis del herbicida.

La extracción del herbicida residual en el suelo se realizó pesando 3 g de suelo en húmedo y añadiendo 16 ml de metanol. La humedad se determinaba en otras alícuotas de muestra y se corregía el peso para referirlo a muestra de suelo seca. Esta suspensión se dejó agitando durante 24 h, después se centrifugó 5 minutos a 5.000 r.p.m. y el

sobrenadante se utilizó para el análisis. Durante la puesta a punto de este método de extracción se comprobó que la recuperación era superior al 97% y que el límite de detección de este herbicida correspondía a una concentración en el suelo de $0.089 \mu\text{g/g}$. El análisis de los extractos se realizó sin filtración ya que se observó que quedaba retenido en los filtros (fibra de vidrio) más de un 20% de la solución inicial. Tanto el análisis de los lixiviados como el de los residuos de trifluralina se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en un sistema Waters con detección UV mediante fotodiodoarray realizando un barrido desde 200 a 400 nm. Este herbicida presentó dos máximos de absorción a 210 nm y a 275 nm eligiéndose éste último para los posteriores análisis. Las condiciones de análisis fueron las siguientes: fase móvil de 70% acetonitrilo y 30% de agua; columna de C18 Nova-Pack; longitud de onda de 275 nm; flujo de análisis de 1 ml/min. Los patrones empleados fueron 1, 0.5 y $0.1 \mu\text{M}$ utilizando un volumen de inyección de 25 μl .

3.- Resultados y discusión.

3.1.- Estudio de movilidad en laboratorio.

En la Tabla 6 se indican los diferentes volúmenes de los percolados recogidos después de 24 h tras la aplicación del agua a las columnas tal y como se indica en la Tabla 4. Los volúmenes recogidos en LC eran siempre menores que en LT en concordancia con la mayor densidad aparente medida para LC (1.65 g/cm^3) que en LT (1.56 g/cm^3).

Tabla 6. Volúmenes recogidos en los percolados de las columnas.

Volumen aplicado (ml)	Volumen recogido (ml)	
	LC	LT
300	183	215
800	464	520
1200	672	708
1500	720	780

Una vez analizados los lixiviados no se han encontrado restos de trifluralina lo que ratifica la baja movilidad de este herbicida después de aplicar diferentes volúmenes de agua. Ni en el caso de las columnas correspondientes a LC, donde era de esperar la ocurrencia de flujo preferencial, se detectó trifluralina en los percolados. Hay que tener en cuenta que los volúmenes de los percolados (Tabla 6) son muy altos y si hubiera algún residuo de trifluralina en ellos podrían estar por debajo del límite de detección del aparato, pero esto supondría menos del 1% del total aplicado.

En la Tabla 7 se encuentran recogidos los resultados de la extracción de las muestras del suelo de las columnas, correspondientes a los distintos tiempos y volúmenes de agua aplicada, así como su distribución a lo largo del perfil del suelo. Se observa que las cantidades de herbicida recuperadas en la totalidad del perfil de la columna son, en todos los tiempos, superiores en LT que en LC. Al cabo de los 83 días del experimento en LT se recuperaba un 40%

mientras que en LC sólo quedaba un 13%, por lo que la persistencia de trifluralina disminuye considerablemente en el sistema de laboreo de conservación.

Tabla 7. Porcentajes recuperados en función del total aplicado en columnas inalteradas

Prof. (cm)	LC				LT			
	1 d	16 d	40 d	83 d	1 d	16 d	40 d	83 d
0-4	47.3	35.0	21.3	12.7	31.4	33.5	24.5	25.6
4-8	23.7	2.5	3.2	0.5	25.5	20.7	19.4	12.9
8-12	-	8.6	-	-	16.1	13.0	7.8	1.9
12-16	-	-	-	-	15.2	-	-	-
16-20	-	-	-	-	-	-	-	-
20-24	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	71.2	40.2	24.4	13.2	88.3	67.4	51.6	40.3

Equivalencia: 1 día= 300 ml; 16 días= 800 ml; 40 días= 1200 ml; 83 días= 1500 ml

También cabe destacar que las máximas profundidades alcanzadas fueron de 8-12 cm en LC y de 12-16 cm en LT, siendo en cualquier caso muy bajas respecto a otros herbicidas clasificados como moderadamente móviles (Cox *et al.*, 1999). El mayor desplazamiento vertical en LT puede explicarse por la mayor existencia de poros pequeños y de longitud mediana producido por las labores que facilitan el movimiento del herbicida con el agua y por el menor contenido en materia orgánica de LT en los primeros centímetros. El hecho de no medirse herbicida en los percolados en ningún caso, indica que la mayor parte se mueve a través de la matriz del suelo, lo que produce un retraso, aumentando en importancia los procesos de adsorción y degradación (Czapar *et al.*, 1992; Rao *et al.*, 1974). Como consecuencia de este retraso el herbicida permanece un mayor tiempo en los primeros y más activos cms de suelo (0-2 cm) siendo en éstos donde existen más diferencias en cuanto a contenido en materia orgánica (Tabla 3) y en actividad microbiana (Blevins *et al.*, 1983) entre ambos tipos de laboreo. De este modo procesos como la adsorción irreversible (*bound residues*) sobre la materia orgánica y la biodegradación, estarían favorecidos en LC y los residuos de herbicida, tanto total como por profundidades, son menores en LC que en LT (Tabla 7). La población microbiana, en el caso de LC, no se ve alterada por las labores ni por la quema de rastrojos como en LT, manteniendo intacta su actividad lo que facilita la biodegradación del herbicida. Este hecho fue también puesto de manifiesto por Cox *et al.* (1999), al obtener similares resultados con los herbicidas metamitrona y clopiralida en columnas inalteradas de LC y LT. El fenómeno de adsorción también explicaría las bajas cantidades recuperadas de trifluralina ya que este herbicida se adsorbe fuertemente al suelo, concretamente a la materia orgánica del mismo (Weber, 1990), de forma que con el paso del tiempo permanece en el suelo como residuo ligado resultando imposible su extracción (Wheeler *et al.*, 1979).

En las Figuras 2 y 3 se muestran las curvas de disipación de trifluralina en las columnas representadas en forma logarítmica frente al tiempo. Estos datos se han ajustado

(ecuación lineal) para el cálculo de la vida media que resultó ser de 26 días en LC y de 40 días en LT. Por tanto los resultados de este estudio de laboratorio indican una menor movilidad y persistencia de la trifluralina en el laboreo de conservación con respecto al tradicional.

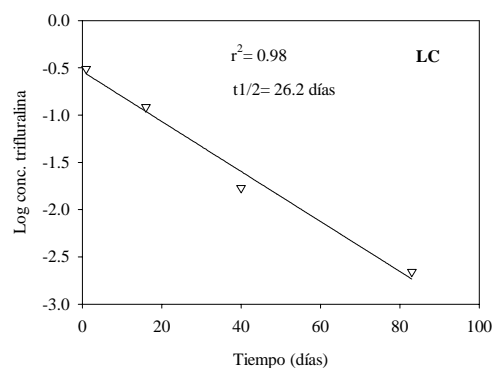


Fig. 2. Disipación de trifluralina en columnas de suelo bajo L.

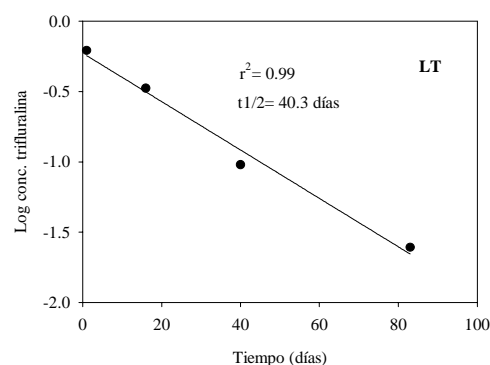


Fig. 3. Disipación de trifluralina en columnas de suelo bajo LT.

3.2.- Estudio de persistencia en campo.

En las Tablas 8 y 9 se encuentran los resultados obtenidos tras la extracción de trifluralina de las muestras de suelo tomadas en el campo en los años 1995 y 1997, respectivamente.

Tabla 8. Porcentajes de trifluralina recuperados en función del total aplicado en el campo (1995).

Prof. (cm)	Días tras la aplicación de trifluralina							
	1	7	12	22	37	69	83	110
0-2	71.4	39.5	38.3	24.7	23.8	23.2	16.2	14.4
2-10	13.7	12.9	12.6	11.1	9.6	8.6	12.6	6.7
Total	85.1	52.5	50.9	35.8	33.4	31.8	28.9	21.2

Tabla 9. Porcentajes de trifluralina recuperados en función del total aplicado en el campo (1997).

Prof. (cm)	Días tras la aplicación de trifluralina							
	1	3	10	17	34	65	85	112
0-2	93.7	85.3	50.5	51.5	41.2	27.0	22.5	10.3
2-10	-	-	18.0	-	3.4	6.4	-	-
Total	93.7	83.5	68.5	51.5	44.7	33.3	22.5	10.3

En primer lugar observamos que las cantidades residuales de herbicida fueron siempre mayores en los primeros 2 cm que en los siguientes 2-10 cm, pero en el segundo año la diferencia fue más acusada, al igual que ocurre con la materia orgánica (Tabla 3) que actúa como adsorbente preferencial de la trifluralina en el suelo. También se observa una mayor penetración de trifluralina de 2-10 cm en el año 1995 que en 1997, debido fundamentalmente al agua caída inmediatamente después de su aplicación en 1998 (Tabla 5). Según los datos de las Tablas 8 y 9 la mayor desaparición de trifluralina se produce en los primeros 15 días (50%). Conviene destacar el hecho de que esta desaparición fue más acusada durante el año 1995 que en el año 1997. Esto posiblemente es debido a una mayor influencia de factores como la volatilización y la fotodegradación, al aumentar la humedad del suelo durante este período en el primer año (fig. 1). Según Ketchersid *et al.* (1969) las pérdidas de trifluralina por volatilización están más influenciadas por la humedad del suelo que por el tipo de suelo. A su vez el fenómeno de fotodegradación estará íntimamente ligado al fenómeno de volatilización ya que la fotodescomposición de la trifluralina se produce una vez que ésta ha alcanzado la atmósfera, es decir, una vez que se ha volatilizado (Parochetti y Hein, 1973). Una vez transcurrida esta primera etapa de rápida desaparición de trifluralina se observa como dicha desaparición se va ralentizando hasta hacerse prácticamente igual, en ambos años, el día 65. Hollingsworth (1980) comprobó que el 75% de las pérdidas producidas por volatilización se producían en los primeros 60 días para después disminuir notablemente o hacerse nula. Sin embargo al final del experimento se comprueba como el porcentaje de trifluralina recuperada es mayor en 1995 que en 1997. Esto es debido a fenómenos de biodegradación y adsorción irreversible, una vez descartada la influencia de otros factores como fotodegradación y volatilización, como consecuencia del aumento en materia orgánica del suelo en 1997 respecto a 1995 (Tabla 3). Tanto la biodegradación como la adsorción irreversible (formación de *bound residues*) son fenómenos que requieren un mayor tiempo de residencia del herbicida en el suelo y por ello podrían ser los responsables de las diferencias observadas durante las últimas semanas de muestreo.

En las Figuras 3 y 4 se han representado las curvas de disipación de trifluralina en el campo de forma logarítmica frente al tiempo y a partir de dicho ajuste se obtuvo una vida media de trifluralina de 90 días en ambos años, resultado parecido al encontrado por Corbin *et al.* (1994) en un experimento llevado a cabo durante 30 meses y en el que al extrapolar la vida media de la trifluralina a los 110 días que duró nuestro experimento, se observaron resultados similares. El hecho de que en nuestra zona durante una larga temporada del año las temperaturas sean altas hace pensar que la vida media de este herbicida debería ser inferior a las obtenidas, aunque los meses de temperaturas más altas (Julio y Agosto) ya no entraron en el periodo de monitorización. Además hay que tener en cuenta que aunque las altas temperaturas del suelo desempeñan un importante papel en la degradación de los herbicidas en

general, existe otro factor importante como la humedad del suelo (Zimdahl y Gwynn, 1977) y que en nuestro caso es bastante baja lo que se traduciría en una menor degradación y por tanto en una vida media superior a la esperada. Este aspecto parece confirmarse por las vidas medias más cortas obtenidas en las columnas inalteradas a nivel de laboratorio donde existe una mayor degradación como consecuencia del más alto contenido en humedad del suelo en las columnas. Al igual que ocurría con el estudio en columnas inalteradas, la degradación de trifluralina va a ir acompañada del fenómeno de adsorción que debido al tiempo de residencia del herbicida en el suelo dará lugar a residuos ligados que serán difíciles de extraer mediante la metodología usada en el presente trabajo.

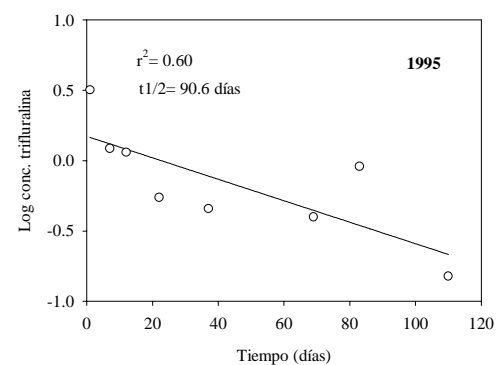


Fig. 4. Disipación de trifluralina en el campo en LC durante 1995.

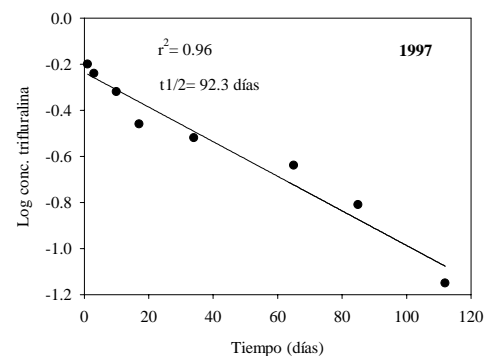


Fig. 5. Disipación de trifluralina en el campo en LC durante 1997.

4.- Conclusión.

La principal conclusión es que las dosis adicionales que deben aplicarse de trifluralina en laboreo de conservación no llevan implícito un aumento de la contaminación de aguas subterráneas sino que existen factores como los procesos de adsorción y degradación que al verse favorecidos, minimizan este riesgo.

Agradecimientos. Este estudio fue financiado por la CICYT con el proyecto AGF 93-0613-CO2-9 y la Junta de Andalucía con los grupos RNM 124 y AGR 151.

Referencias.

- Blevins, R.L., Smith, M.S., Thomas, G.W. y Frye, W.W. (1983). Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil Water Conserv.* 38,301-305.
- Corbin Jr., B.R., McClelland, M., Frans, R.E., Talbert, R.E. y Horton, D. (1994). Dissipation of fluometuron and trifluralin residues after long-term use. *Weed Science.* 42, 438-445.
- Cox, L., Calderón, M.J., Hermosín, M.C. y Cornejo, J. (1999). Leaching of clopyralid and metamitron under conventional and reduced tillage systems. *J. Environ. Qual.* 28, 605-610.
- Czapar, G.F., Horton, R. y Fawcett, R.S. (1992) Herbicide and tracer movement in soil columns containing an artificial macropore. *J. Environ. Qual.* 21, 110-115.
- Giráldez Cervera, J.V. (1997). Efecto de los sistemas de laboreo sobre las propiedades físicas del suelo. *Agricultura de conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos.* L. García Torres y P. Gonzalez Fernández (eds.). pag. 13-40.
- González Fernández, P. (1997). Efecto del laboreo sobre la materia orgánica. *Agricultura de conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos.* L. García Torres y P. Gonzalez Fernández (eds.). pag. 41-50.
- Helling, C.S., Zhueng, W., Gish, T.J., Coffman, C.B., Isensee, A.R., Kearny, P.C., Hoagland, D.R. y Woodward, M.D. (1988) Persistence and leaching of atrazine, alachlor and cyanazine under no-tillage practices. *Chemosphere.* 17, 175-187.
- Hollingsworth, E.B. (1980). Volatility of trifluralin from field soil. *Weed Sci.* 28, 224-228.
- Herruzo Martínez, A.C. (1997) Economía de la conservación del suelo y de los diversos sistemas de laboreo. *Agricultura de conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos.* L. García Torres y P. Gonzalez Fernández (eds.). pag. 259-270.
- Isensee, A.R., Helling, C.S., Gish, T.J., Kearny, P.C., Coffman, C.B. y Zhuang, W. (1988). Groundwater residues of atrazine, alachlor and cyanazine under no-tillage practices. *Chemosphere.* 17, 165-174.
- Isensee, A.R., Nash, R.G. y Helling, C.S. (1990). Effect of conventional vs. No-tillage on pesticide leaching to shallow groundwater. *J. Environ. Qual.* 19, 434-440.
- Ketchersid, M.L., Bovey, R.W. y Merkel, M.G. (1969). The detection of trifluralin vapors in air. *Weed Sci.* 17,484-485.
- Levanon, D., Codling, E.E., Meisinger, J.J. y Starr, J.L. (1993) Mobility of agrochemicals through soil from two tillage systems. *J. Environ. Qual.* 22, 155-161.
- López-Fando, C y Bello Pérez, A. (1997). Efectos de los sistemas de laboreo en la biología del suelo. *Agricultura de conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos.* L. García Torres y P. Gonzalez Fernández (eds.). pag. 201-224.
- Moreno, F., Pelegrín, F., Fernández, J.E. y Murillo, J.M. (1997). Soil Physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research.* 41, 25-42.
- Murillo, J.M., Moreno, F., Pelegrín, F. y Fernández, J.E. (1998). Responses of sunflower to traditional and conservation tillage under rainfed conditions in southern Spain. *Soil and Tillage Research.* 49, 233-241.
- Parochetti, J.V. y Hein, E.R. (1973). Volatility and photodecomposition of trifluralin, benfenin and nitratin. *Weed Sci.* 21, 469-473.
- Rao, P.S.C., Green, R.E., Batasubramanyan, V.Y, Karehiro, Y. (1974) Field study of solute movement in a highly aggregated oxisol with intermittent flooding. II Picloram. *J. Environ. Qual.* 3, 197-202.
- Swan, D.G. (1972). Effect of herbicides on alfalfa and subsequent crops. *Weed Science.* 20, 335-337.
- Weber, J.B. (1990). Behavior of dinitroaniline herbicides in soils. *Weed Technology.* 4, 394-406.
- Wheeler, W.B., Stratton, G.D., Twilley, R.R., Ou, L.T., Carlson, D.A. y Davidson, J.M. (1979). Trifluralin degradation and binding in soil. *J. Agric. Food Chem.* 27, 702-706.
- Wolf, D.C. y Martin, J.P. (1974). Microbial degradation of 2-carbon-14 bromacil and terbacil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38, 921-925.
- Zimdahl, R.L. y Gwynn, S.M. (1977). Soil degradation of three dinitroanilines. *Weed Science.* 25, 247-251.