

Movimiento en el suelo de un éster del 2,4-D aplicado como herbicida granular*

POR

O. A. FERNANDEZ ** y C. M. SWITZER ***

El movimiento del ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4-D) en el suelo varía considerablemente para las distintas formulaciones del herbicida y las características propias del suelo. Aún cuando el compuesto sea fácilmente soluble en agua, sus moléculas pueden reaccionar químicamente con alguna fracción del suelo y transformarse en un compuesto relativamente insoluble. La adsorción de las moléculas del herbicida por parte del suelo puede limitar la movilidad del compuesto.

El estudio del movimiento del 2,4-D en el suelo preocupó a varios investigadores. Muzik (8) y colab. observaron que la sal sódica del 2,4-D no se movió más allá de los primeros 2,5 cm superficiales independientemente de la cantidad de agua agregada. Los estudios hechos por Nutman (9) y colab. muestran que el agregado de una cantidad equivalente a 3,12 mm de lluvia representó una pérdida en el contenido de 2,4-D en el suelo, pero los agregados de cantidades adicionales de agua no se tradujeron en un suelo libre de toxicidad. Aldrich y Williard (1) demostraron que los ésteres del 2,4-D son lavados con mayor dificultad que las sales sódicas o aminas.

Los suelos que poseen un alto contenido de materia orgánica retienen fácilmente el 2,4-D impidiendo que el mismo sea lavado a horizontes inferiores. El resultado opuesto se observó en suelos con una elevada proporción de arena. (2, 4, 6, 7, 8).

* Trabajo realizado en el Ontario Agricultural College, Guelph, Ontario, Canada.

** Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Buenos Aires.

*** Department of Botany, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.

En general, puede decirse que la extensión del movimiento del 2,4-D en el suelo por acción del agua gravitacional depende principalmente de los siguientes factores: 1) Solubilidad del herbicida en agua; 2) Cantidad de agua que pasa a través del suelo; 3) Retención del herbicida por parte del suelo.

El presente trabajo tiene por finalidad estudiar la forma en que el 2, etil hexil éster del 2,4-D se mueve por acción del agua cuando se lo aplica como herbicida granular ⁴. En un trabajo anterior (3) se observó que los gránulos en contacto con el agua entregan el 2,4-D en forma paulatina, de manera tal que las primeras cantidades de agua en contacto con los mismos son las más tóxicas; también que las partículas portadoras son capaces de retener una elevada proporción de su toxicidad original, la cual no es extraída por el simple agregado de agua. Estas particularidades en el comportamiento del herbicida granular podrían significar un cambio en la forma de distribución del 2,4-D en el suelo.

Como el movimiento del 2,4-D varía para suelos de distintas características, todos los ensayos se hicieron con un suelo franco y otro arenoso ⁵.

MATERIALES Y METODOS

Para el estudio del movimiento del herbicida en el suelo se utilizaron cajas cuadradas de madera de 30 cm. de lado por 12,5 cm. de profundidad. Las cajas se construyeron en forma tal que uno de sus lados podía ser totalmente abierto para permitir la extracción de las muestras de suelo. El fondo de cada caja se perforó abundantemente para asegu-

⁴ El herbicida granular, representado por partículas arcillosas impregnadas con el éster del ácido, fue suministrado por Diamond Alkali Company bajo la denominación de «20 % Terra Granular».

⁵ El suelo franco como «Burford franco» se obtuvo de la localidad de Guelph, el arenoso como «Fox arenoso» de la localidad de Herpeler, Ontario. Las características para cada tipo de suelo se detallan a continuación:

Tipo de suelo	Análisis mecánico ¹ (%)			pH	Mat. org. (%)	Cat. de cambio ²	Humed. equiv.
	arena	limo	arcilla				
Burford franco	49,8	27,4	22,8	7,4	4,81	12-16	23,8
Fox arenoso	70,9	15,7	13,4	6,5	3,16	6-7	15,5

¹ Nouyoucouc, método hidrométrico.

² Miliequivalentes por 100 gr de suelo.

rar un buen drenaje. Para prevenir el taponamiento de los orificios se distribuyó sobre los mismos una capa de grava. Los costados interiores se cubrieron con papel de aluminio para impedir pérdidas de agua por las uniones de las tablas.

Cada caja se llenó con el suelo a estudiar hasta un centímetro de su borde superior. La muestra de suelo se comprimió ligeramente y se saturó con agua. Luego de 24 horas el herbicida granular se distribuyó uniformemente sobre la superficie del suelo.

Las dosis de 2,4-D ensayadas fueron de 1, 2, 4 y 8 libras de 2,4-D ácido equivalente por acre. Cada aplicación fue a su vez lavada con 5, 10, 15 ó 20 mm. de lluvia. Una libra por acre de material activo fue equivalente a 0,0520 gr. de material granular por cada pié cuadrado de superficie. Finalizado el tratamiento el suelo se dejó drenar libremente durante 15 horas.

Posteriormente, el suelo se separó en horizontes, para ello, se retiró el lado móvil de cada caja y se utilizó una lámina metálica de borde filoso que se introdujo horizontalmente a la altura deseada. Partiendo desde la superficie la primera capa de suelo que se aisló fue la superficial hasta una profundidad de 1,25 cm., a dicho nivel se introdujo la hoja metálica quedando el horizonte superior aislado de las regiones inferiores del suelo. Del volumen de suelo aislado se extrajeron dos muestras, pesos iguales de las mismas se colocaron en cajas de petri de 97 x 20 mm.

El mismo procedimiento se repitió para tres horizontes inferiores sucesivos, para cada uno de ellos se fijó un espesor de 2,5 cm.

Cada muestra de suelo se ensayó biológicamente para detectar la presencia del herbicida. Luego de varios ensayos preliminares, se observó que un bioensayo que abarcara en forma combinada tanto el crecimiento de plántulas de maíz como de nabo, daba resultados satisfactorios para establecer valores cuantitativos del 2,4-D en el suelo. En esta forma, una especie tolerante (maíz) y una muy susceptible (nabo) se usaron para detectar concentraciones altas y bajas del herbicida en el suelo.

Si bien es cierto que los métodos químicos se emplean en algunos casos para determinar cuantitativamente concentraciones del 2,4-D, el uso de plantas como indicadores de la presencia del compuesto —además de ser un método sumamente sensible— establece un entendimiento mucho más directo de la relación planta-herbicida que el que pueden ofrecer los análisis químicos.

De las dos muestras de suelo aisladas para cada horizonte, en una se sembraron siete semillas de maíz híbrido de la variedad «Pride of the North». Para asegurar una germinación uniforme, previamente a la

siembra, las semillas se mantuvieron en agua durante 12-14 horas a una temperatura de 10°C. Cada semilla se plantó verticalmente en el suelo en forma tal que la radícula apuntó hacia el fondo de la caja.

En la otra muestra de suelo se sembraron 20 semillas de nabo de la variedad «Laurentian Purple Top», las semillas se colocaron en la superficie y se cubrieron con una capa de suelo de no más de 2 a 3 mm. de espesor. Para ambos ensayos se agregó agua periódicamente, teniendo especial cuidado de no inundar el suelo.

Las plantas se desarrollaron en el laboratorio bajo paneles de luz fluorescente blanca de 40 W colocados a una altura de 30 cm. sobre el nivel de las cajas de petri. El fotoperíodo se fijó en 14 horas.

Las partes aéreas de las plantas de maíz se cosecharon a los siete días y se secaron por un tiempo mínimo de 36 horas a una temperatura de 77-80°C. El conjunto de plantas de cada caja constituyó una muestra. Se tomó como medida de la toxicidad del 2,4-D, el peso seco de las plantas tratadas frente al peso seco correspondiente a testigos creciendo en un suelo tratado en la misma forma que el estudiado, pero sin el agregado del herbicida.

En la parte del bioensayo correspondiente a las semillas de nabo se efectuó el recuento de la germinación a los cinco días de sembradas. Los resultados se expresaron por el número de plántulas que aparecieron sobre la superficie del suelo con hipocotile erecto y cotiledones abiertos. El crecimiento de las plántulas se clasificó en cuatro categorías.

RESULTADOS

Los valores que se incluyen en la Tabla 1 para el bioensayo con maíz en el suelo franco no muestran una diferencia de comportamiento significativa entre los distintos tratamientos, ya sea con respecto a la cantidad de lluvia o a la dosis de herbicida.

La mayor toxicidad se registró en el horizonte superior. Para el segundo, tercer y cuarto horizontes, la concentración del herbicida disminuyó notablemente. El análisis estadístico mostró resultados altamente significativos para esta diferencia. En la Fig. 1 se puede observar la representación gráfica para las concentraciones de 4 y 8 libras por acre.

La parte del ensayo correspondiente a las plántulas de nabo dio los resultados que se hallan expuestos en la Tabla 2. Los valores anotados confirman a grandes rasgos los resultados ya anotados para maíz. Sin embargo, parecería que parte del herbicida fue arrastrado más profundamente que el límite establecido por el horizonte superior: 4 y 8 libras por

acre determinaron cierta inhibición en el desarrollo de las plántulas que crecieron en el suelo proveniente del segundo horizonte.

Los resultados obtenidos para el suelo franco sugieren —que independientemente de la cantidad de agua agregada— El 2,4-D liberado a partir de un portador granular permanecerá predominantemente en el primer centímetro del suelo.

La respuesta de las plántulas de maíz en el suelo arenoso (Tabla 3), mostró un horizonte superior altamente tóxico y una disminución acentuada de la actividad del 2,4-D para las zonas inferiores del suelo.

TABLA 1 — *Crecimiento de plántulas de maíz en un suelo franco tratado con 2,4-D granular.*

Dosis lbs/acre	Precipitación mm	Horizonte ¹			
		1	2	3	4
		peso seco (% del testigo)			
1	5	86	93	100	98
	10	87	91	100	92
	15	88	92	99	93
	20	86	99	104	100
2	5	88	92	99	102
	10	88	100	94	92
	15	78	98	100	95
	20	86	100	93	91
4	5	83	100	94	101
	10	80	97	92	102
	15	82	99	107	103
	20	78	103	96	101
8	5	67	110	110	105
	10	74	100	101	109
	15	74	102	107	103
	20	70	100	103	104

La germinación y desarrollo de las plántulas de nabo demostró nuevamente una zona de marcada toxicidad para la capa superior del suelo. Para los horizontes superiores se observó un grado de inhibición del crecimiento más o menos uniforme a través de todo el perfil estudiado, en la Tabla 4 se exponen los resultados para las concentraciones de 2 y 4 libras de material activo por acre. La mayor susceptibilidad de las plántulas de nabo dio pruebas de la presencia del herbicida que no se puso de manifiesto con las plantas de maíz. Parte del 2,4-D aplicado superficialmente se movió en todo el perfil del suelo arenoso.

¹ Primer horizonte 1,25 cm.; segundo, tercero y cuarto, 2,5 cm.

Cinco milímetros de lluvia fueron suficientes para arrastrar al cuarto horizonte una concentración tal del herbicida como para afectar el crecimiento de las plántulas. La elevada toxicidad que se registró en los primeros 1,25 cm. del suelo arenoso puede atribuirse al hecho de que los gránulos reteniendo una cantidad considerable del herbicida fueron inevitablemente mezclados con el suelo al extraer las muestras (3).

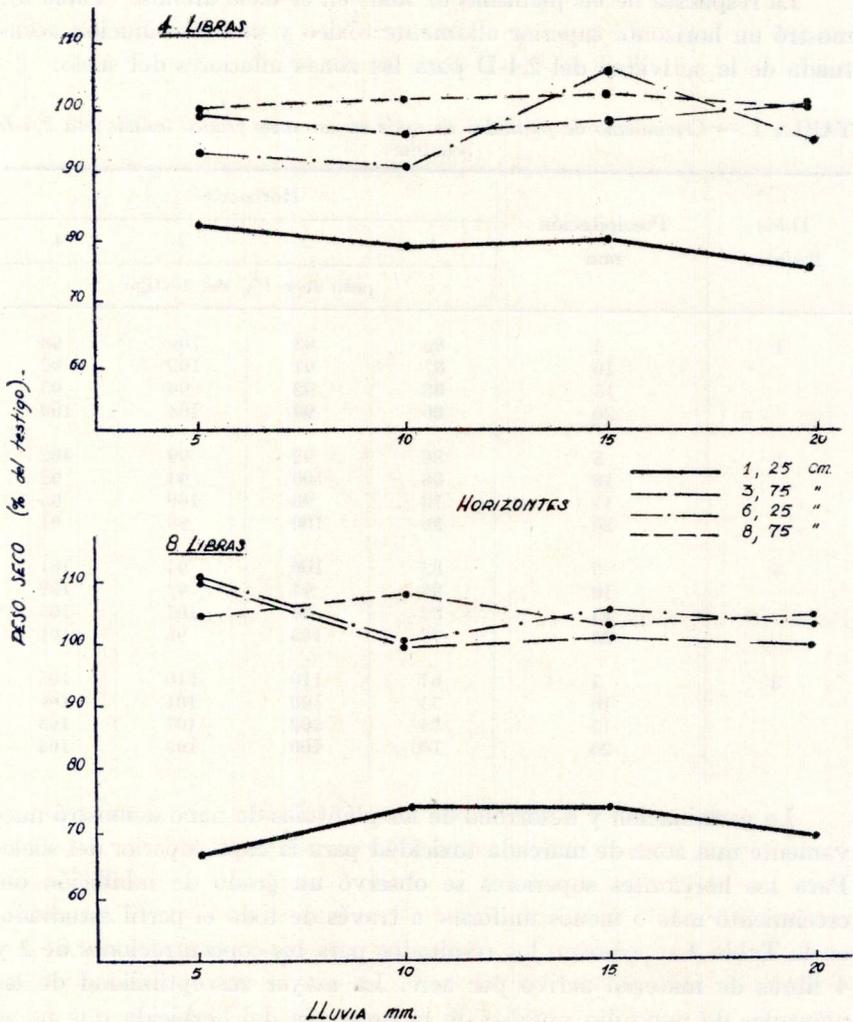


FIGURA 1

Inhibición del crecimiento de plántulas de maíz en un suelo franco tratado con herbicida granular a razón de 4 y 8 libras de material activo por acre y lavado con varias cantidades de agua.

TABLA 2 — Germinación y desarrollo de semillas de nabo en un suelo franco tratado con 2,4-D granular.

Dosis lbs/acre	Precip. mm	HORIZONTE ¹			
		1	2	3	4
NUMERO DE PLANTULAS ²					
1	5	15 +++	20 —	19 —	19 —
	10	7 ++	20 —	20 —	19 —
	15	9 ++	19 —	19 —	19 —
	20	11 +++	20 —	20 —	19 —
2	5	5 +++	19 —	19 —	20 —
	10	2 ++++	17 —	18 —	20 —
	15	3 ++++	19 —	20 —	20 —
	20	2 ++++	15 —	19 —	19 —
4	5	0	17 —	18 —	17 —
	10	0	20 +	18 —	19 —
	15	1 ++++	19 —	19 —	19 —
	20	0	20 +	19 —	20 —
8	5	0	19 —	19 —	19 —
	10	0	18 +	20 —	18 —
	15	0	18 +	20 —	18 —
	20	0	19 +	18 —	20 —

¹ Primer horizonte 1,25 cm.; segundo, tercero y cuarto, 2,5 cm.

² La inhibición del crecimiento de las plántulas se clasificó en cuatro categorías: muy alta ++++, alta ++, media ++, ligera +, ninguna —.

TABLA 3 — Crecimiento de plántulas de maíz en un suelo arenoso tratado con 2,4-D granular.

Dosis lbs/acre	Precip. mm	HORIZONTE ¹			
		1	2	3	4
PESO SECO (% DEL TESTIGO)					
1	5	83	95	100	106
	10	82	86	98	97
	15	81	92	96	95
	20	80	90	89	90
2	5	81	88	89	97
	10	74	92	93	94
	15	83	96	96	98
	20	83	98	98	99
4	5	83	101	100	106
	10	83	100	100	102
	15	83	98	99	101
	20	83	100	101	106
8	5	74	100	103	99
	10	81	99	102	103
	15	82	104	102	100
	20	79	101	103	104

¹ Primer horizonte 1,25 cm.; segundo, tercero y cuarto, 2,5 cm.

TABLA 4 — Germinación y desarrollo de semillas de nabo en un suelo arenoso tratado con 2,4-D granular.

Dosis lbs/acre	Precip. mm	HORIZONTE ¹			
		1	2	3	4
		NUMERO DE PLANTULAS ²			
2	5	6 +++++	18 ++	16 ++	18 ++
	10	4 +++++	19 ++	17 ++++	20 ++
	15	6 +++++	17 ++	19 —	18 +
	20	5 +++++	17 ++	20 —	19 +
4	5	0	18 ++	15 ++	18 ++++
	10	0	19 ++	18 ++	20 ++
	15	2 +++++	19 ++	20 +	19 +
	20	1 +++++	19 ++	10 +	18 ++

(¹) Primer horizonte, 1,25 cm.; segundo, tercero y cuarto, 2,5 cm.

(²) La inhibición del crecimiento de las plántulas se clasificó en cuatro categorías: muy alta +++++, alta +++, media ++, ligera +, ninguna —.

DISCUSIÓN

El movimiento del 2,4-D en el suelo puede determinar la efectividad de un tratamiento. Puede ser responsable de que el mismo sea selectivo (o no selectivo) o que el herbicida se pierda en horizontes inferiores.

La extensión con que el 2,4-D puede ser arrastrado por lavado en un suelo, varía considerablemente para las distintas formulaciones del compuesto. En general, las sales aminas y otras sales, que son solubles en agua, se mueven más fácilmente que los ésteres que son poco solubles (1). Las características propias del suelo son tan importantes como su solubilidad en agua para determinar la intensidad del movimiento del herbicida. Las moléculas de éste pueden ser adsorbidas por ciertas fracciones del suelo, en esta forma resisten las fuerzas que tienden a trasladarlas hacia abajo (1, 8, 9).

Los experimentos mencionados en este trabajo muestran que un suelo franco es capaz de retener el 2,4-D liberado a partir de un portador granular, con mayor tenacidad que un suelo arenoso.

La retención del herbicida por el suelo franco se atribuye a inmovilización del herbicida por los constituyentes del suelo. Los coloides del suelo pueden fijar por adsorción las moléculas del 2,4-D. El suelo franco posee, además, una capacidad de intercambio de cationes elevada cuando se la compara con el suelo arenoso.

Con dosis elevadas del herbicida es probable que se produzca un efecto de acción de masa. Los lugares o puntos de fijación ubicados en la capa superior del suelo se saturarían primero. El exceso de moléculas no retenidas en este horizonte estarían libres para moverse hacia abajo arrastradas por el agua, en donde a su vez podrían ser inmovilizadas.

En el suelo arenoso un porcentaje elevado de las partículas son comparativamente grandes en tamaño, por consiguiente, son relativamente inertes en lo que concierne a su actividad física o química. El agua y las sustancias contenidas en ésta, son fácilmente lavadas a través de su textura abierta. Cuando el agua que percoló a través del suelo arenoso, se ensayó biológicamente, utilizando semillas de pepino, dio pruebas de contener cantidades apreciables del herbicida. (10).

En términos generales, se puede afirmar que los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con los registrados por varios investigadores para las formas convencionales líquidas del 2,4-D (1, 2, 4, 6, 7, 8). Sin embargo, una diferencia importante es la aparición de una zona altamente tóxica en la capa superficial del suelo arenoso, independientemente de la cantidad de agua agregada. Este hecho puede atribuirse a que las partículas portadoras del herbicida permanecen en la superficie del suelo. Estudios anteriores mostraron que estos gránulos son capaces de retener una cantidad apreciable del 2,4-D (3).

Las semillas de malezas germinan preponderantemente en el primer centímetro de suelo. En un tratamiento de pre-emergencia se trata de inhibir la germinación de estas semillas aplicando el herbicida sobre el suelo.

En el caso del 2,4-D granular es probable que, la capa superior del suelo hasta una profundidad aproximada de un centímetro, presente una toxicidad mayor que si se aplica una forma líquida del herbicida.

En un suelo franco, el 2,4-D no se moverá más allá del horizonte superior. En un suelo con elevado contenido de arena podría controlar la germinación de las semillas hasta una profundidad mayor. En este último caso las probabilidades de perjudicar el cultivo son considerablemente mayores.

RESUMEN

El movimiento del 2,4-D en el suelo aplicado como herbicida granular no difiere mayormente del que corresponde a las formas convencionales líquidas. Sin embargo, hay una variación interesante: la acentuada toxicidad que se observa en la capa superficial del suelo arenoso independientemente de la cantidad de agua agregada. Dicha toxicidad

se atribuye a que los gránulos portadores del 2,4-D —que permanecen en la superficie del suelo— retienen una cantidad apreciable del herbicida.

La extensión del movimiento del 2,4-D en un suelo arenoso podría perjudicar la germinación y desarrollo del cultivo.

S U M M A R Y

The pattern of 2,4-D movement in soil from a granular carrier did not appear to differ much from that of the conventional liquid formulations. However, one variation seems to be significant: the considerable toxicity remaining in the surface layer of sandy soil regardless of the applied rainfall. This toxicity was attributed to the fact that the carrier particles remaining on the soil surface still contained a large amount of herbicide.

The extensive 2,4-D movement in the sandy soil suggests that the germination and development of the crop would likely be damaged by the herbicide.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1 ALDRICH, R. J. y WILLIARD, C. J. *Factors affecting the pre-emergence use of 2,4-D in corn.* Weeds 1:338-345. 1952.
- 2 DE ROSE, H. R. *Persistence of some plant regulators when applied to the soil in herbicidal treatments.* Bot. Gaz. 107: 583-589. 1946.
- 3 FERNÁNDEZ, O. A. y SWITZER, C. M. *Liberación de un éster del ácido 2,4-D aplicado en gránulos y toxicidad final de éstos.* Revista de Investigaciones Agropecuarias. Serie 2 — Biología y Producción Vegetal.
- 4 HANKS, R. W. *Removal of 2,4-D acid and its calcium salt from six different soils from leaching.* Bot. Gaz. 108:186-191. 1946.
- 5 HERNÁNDEZ, T. P. y WARREN, G. F. *Some factors affecting the rate of inactivation and leaching of 2,4-D in different soils.* Proc. Am. Soc. Hor. Sci. 56:287-293. 1950.
- 6 KRIES, O. H. *Persistence of 2,4-D in soil in relation to content of water, organic matter and lime.* Bot. Gaz. 108-510-525. 1947.
- 7 MEADOWS, M. W. *Promising new chemicals for weed control.* Proc. N. E. Weed Control Conference. 14:3-6. 1960.
- 8 MUZIK, T. J., LOUSTALOT, A. J. y CRUSADO, H. J. *Movement of 2,4-D in soil.* Agron. Jour. 43:149-150. 1951.
- 9 NUTMAN, P. S., THORTON, H. G. y QUASTEL, N. J. *Inhibition of plant growth by 2,4-D acid and other plant growth substances.* Nature 155:498-500. 1945.
- 10 READY, D. y GRANT, W. Q. *A rapid sensitive method for determination of low concentrations of 2,4-D in aqueous solution.* Bot. Gaz. 109:39-44. 1947.
- 11 SOIL SURVEY SERVICE. *Soil Department. University of Guelph. Guelph, Ontario, Canada.*