

EFECTOS DEL MANEJO HORTÍCOLA INTENSIVO EN LOS NIVELES, DISTRIBUCIÓN Y DISIPACIÓN DE LINDANO EN SUELOS Y PLANTAS DE UNA REGIÓN SEMIÁRIDA (ARGENTINA)

E.F. COVELO; F.A. VEGA; M.L. ANDRADE

Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Las Lagoas. Marcosende. 36310 Vigo. España. e-mail: mandrade@uvigo.es

RESUMEN: Para comprobar si los suelos bajo uso hortícola intensivo desde hace varias décadas muestran los efectos del aporte de pesticidas que contienen lindano, y conocer los niveles en vegetales atacados por una plaga, se analizó el contenido de lindano en suelos de 44 parcelas, situadas en la zona hortícola de Bahía Blanca (Argentina), a distintas profundidades (0-5, 5-10 y 10-20 cm), con distinta antigüedad de manejo hortícola y en vegetales, crecidos en dichos suelos, que fueron fumigados con pesticidas antes del ataque de una plaga. Los resultados obtenidos indican la presencia de concentraciones elevadas (comprendidas entre 59 y 1590 $\mu\text{g g}^{-1}$) sobre todo en la capa superficial de los suelos estudiados, así como en aquellos cuyo uso hortícola es más reciente. Se ha establecido correlación negativa entre el contenido de lindano, la antigüedad del uso hortícola, el contenido de materia orgánica, y el pH para todas las muestras estudiadas. Sin embargo, en las capas más profundas dicho contenido está correlacionado, y positivamente, solamente con la antigüedad de uso hortícola. Dichas relaciones indican que el lindano se inmoviliza en condiciones semiáridas, y es adsorbido por a materia orgánica del suelo.

Las hojas de *Beta vulgaris*, L., muestreadas en estos suelos, y en supermercados abastecidos por los horticultores de la zona, contienen cantidades elevadas de lindano (alcanzando hasta 15 $\mu\text{g g}^{-1}$), aunque las curvas de disipación del lindano, en ellas, lo cual indica el tiempo mínimo de seguridad antes de su comercialización.

Palabras clave: lindano, suelos hortícolas, vegetales, disipación.

ABSTRACT: We checked if soils under intensive horticultural use for several decades show the effects of the input of pesticides containing lindane, and the levels in plants attacked by a plague. For this purpose, we have analyzed the lindane content in soils from 44 sites (located in the Bahía Blanca horticultural area, Argentina), at different depths (0-5, 5-10 and 10-20 cm), with different age in horticultural management, as well as plants grown in these soils that were sprayed with pesticides before the attack a pest. Results indicate high concentrations (between 59 and 1590 $\mu\text{g g}^{-1}$), especially in the surface layer of soils studied, as well as those whose horticultural use is more recent.

For all studied soils, negative correlation has been established between the lindane content, the age of the horticultural use, the organic matter content and pH. However, in the deeper layers that content is correlated, and positively, only with the age of horticultural use. These relationships indicate that lindane is immobilized in semi-arid conditions, and is adsorbed on soil organic matter.

The leaves of *Beta vulgaris*, L., sampled in these soils and in supermarkets supplied by farmers from the area, contain high amounts of lindane (reaching up to 15 $\mu\text{g g}^{-1}$); although the lindane dissipation curves in them indicate that it disappears after 6 days of making the input of pesticides, indicating the minimum security before marketing.

Key words: lindane, horticultural soils, plants, dissipation curves.

INTRODUCCIÓN.

El uso de pesticidas incluyendo herbicidas, fungicidas e insecticidas, es una parte fundamental de la agricultura y horticultura modernas. Sin embargo, hay evidencias crecientes de residuos de pesticidas en suelos, vegetales y aguas freáticas (Wania y Mackay, 1993, Melnikov, 1996; Li y MacDonald, 2005).

La necesidad urgente de un medio ambiente libre de residuos tóxicos hace que el manejo de plaguicidas deba realizarse de modo que proteja al medio y al hombre contra la exposición innecesaria a estos productos. El éxito inicial en el control de plagas mediante productos químicos, durante los últimos treinta años, ha conducido a un período en el que se han producido graves problemas derivados de estos manejos.

La importancia del estudio de los pesticidas en suelos y plantas, se debe al aumento que ha experimentado la incorporación de agroquímicos al suelo, sin haber efectuado previamente estudios de impacto y desconociendo los problemas que esta introducción podría ocasionar no solo a los recursos naturales, sino a la población consumidora y a la que vive en esas zonas (Pimentel y Edwards, 1982).

Debido al uso intensivo de las zonas dedicadas a la producción hortícola en los alrededores de Bahía Blanca, con frecuentes aplicaciones de pesticidas en las últimas décadas, se hace necesario un estudio que permita conocer el contenido de lindano para realizar un diagnóstico de la situación que sirva para mejorar la calidad ambiental, evitar problemas de salud pública y mejorar el proceso de producción.

Este trabajo parte de la hipótesis de que el uso continuado de agroquímicos, con mezclas que contienen lindano, sobre todo después de la prohibición del DDT, ha contaminado, no solo las aguas, sino los suelos porque poseen constituyentes capaces de adsorberlo.

Al caracterizar los suelos del cinturón hortícola de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina), determinar los contenidos de lindano en suelos, con distintos años de uso intensivo por parte de los horticultores, a distintas profundidades, y analizar los niveles en hortalizas atacadas por una plaga, será posible conocer los residuos en suelos, y en plantas comestibles de la zona de Bahía Blanca (Argentina), así como apreciar los aspectos ecotoxicológicos del problema del abuso de este pesticida, a partir del conocimiento de su contenido en los vegetales que abastecen los mercados locales y que constituyen alimento fresco para la mayoría de la población.

Por ello los objetivos de este trabajo fueron: i) comprobar si suelos con distinta antigüedad en su uso hortícola muestran los efectos de la aplicación de lindano, para lo cual se analizó su persistencia a distintas profundidades, y ii) conocer los niveles en vegetales atacados por una plaga para lo cual se analizaron los residuos de pesticidas en hortalizas atacadas por *Epicauta adspersa*, Klug y que han sido sometidas a fumigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio.

El entorno hortícola de Bahía Blanca, se encuentra en las estribaciones de la Sierra de la Ventana (Argentina) y en las llanuras adyacentes. En dichas estribaciones una fina capa de loess cubre un sustrato calcáreo discontinuo, mientras que en las zonas planas el loess es más grueso que en las laderas formando una llanura de transición marino-continental procedente de depósitos fluvio-éolicos.

El entorno de la ciudad de de Bahía Blanca (Argentina) se ha destinado a la producción hortícola desde hace más de 60 años. Hasta hace poco tiempo había escaso conocimiento sobre la calidad de esos suelos y se disponía de muy pocos datos indicativos del grado de contaminación debida al continuo uso de

agroquímicos (Reyzábal et al., 2000; Andrade et al., 2004 y 2005).

La fumigación mecánica, mediante aerosoles ocasiona que más del 20% de la cantidad de pesticidas aplicado se distribuyan en los suelos. Debido a las escasas lluvias, a la escasa pendiente de las áreas cultivadas y al diseño de la red de riego, el transporte de pesticidas por escorrentía superficial es despreciable. Los mecanismos de transporte más importantes en la zona son: percolado en suelos y escorrentía subsuperficial. Ambos reducen el tiempo necesario para que los pesticidas alcancen los drenajes y permitan la degradación química y microbiana.

El clima, semiárido, se caracteriza por una precipitación media anual de 600 mm y temperatura media anual de 15°C. Las principales limitaciones geomorfológicas y climáticas son vientos estacionales, fuertes pendientes, erosión hídrica y eólica e inundaciones en diversos sectores, en los que los suelos no están muy desarrollados o cuando las capas de suelo son muy delgadas.

El riego de las explotaciones se ha llevado a cabo durante muchos años con el agua del río Sauce Chico. Sin embargo, el mal uso del agua y el suelo ha dado lugar a la desertificación de algunas zonas.

El área de estudio está comprendida entre las orillas del río Sauce Chico y la zona urbana de Bahía Blanca (Figura 1), los suelos son Haplustoles fluvénticos en el área mas próxima al río y Paleustoles petrocálcicos en la zona urbana (Soil Survey Staff, 2006). Se han seleccionado ocho fincas (F) de, alrededor de cuatro hectáreas cada una, divididas en diversas parcelas en las que se desarrollan diferentes cultivos (Tabla 1).

Se recogieron muestras de suelo de forma que fuesen representativas de la antigüedad y persistencia en el uso de productos agroquímicos. También se seleccionó una finca (FC), con cuatro parcelas con diferentes cultivos, como control que solamente fue

tratada en los últimos 30 años con los residuos de las cosechas y estiércol, sin ningún tipo de aplicaciones de agroquímicos.

Se han realizado encuestas entre los agricultores, de ellas se ha deducido que están, y han estado utilizando, en las tareas agrícolas pesticidas clasificados como tóxicos, que desconocen la cantidad y calidad de los productos utilizados, que el uso ha sido inadecuado, que las condiciones de almacenamiento y distribución son, y han sido deficientes, y que se han utilizado productos sin número de inscripción, sin etiquetado, con etiqueta no reglamentaria o alterada, productos sin fecha de caducidad, y con fecha de caducidad alterada.

2.2. Métodos.

El muestreo se llevó a cabo en estas zonas a diferentes profundidades del suelo (0-5, 5-10 y 10-20 cm). En cada parcela, se tomaron cinco muestras al azar con un muestreador Eijkelkamp Mod.04.20.SA, se introdujeron en frascos de vidrio y se transportaron al laboratorio en oscuridad a 4°C. En el laboratorio, se secaron al aire, se tamizaron a través de una malla de 2 mm, y con las cinco muestras de cada sitio y profundidad se formó una muestra compuesta, mediante homogeneización con un homogeneizador vibratorio Fritsch Laborette 27.

Seis meses después del muestreo de los suelos, y para el estudio de los residuos de pesticidas en hortalizas se seleccionaron dos fincas (F6 y F8) cuyos cultivos (*Beta vulgaris*, L., variedad cicla) fueron atacadas por *Epicauta adspersa*, Klug. Se realizó una observación exhaustiva de la zona de estudio para determinar el momento del ataque del insecto y, una vez detectado, los agricultores realizaron la fumigación del cultivo.

En los suelos se realizó análisis granulométrico, determinación del pH, contenido de materia orgánica y la conductividad hidráulica. El pH fue

Tabla 1. Identificación de las diferentes fincas, suelos y cultivos

Finca	Parcela	Superficie (ha)	Tipo de suelo	Antigüedad (años)	Cultivo
1	1	4	Haplustol fluvéntico	60	<i>Cichorium endivia</i> L.
1	2	4	Haplustol fluvéntico	60	<i>Brassica oleracea</i> L.
1	3	4	Haplustol fluvéntico	60	<i>Cynara scolymus</i> L.
1	4	4	Haplustol fluvéntico	60	<i>Allium porrum</i> L.
1	5	4	Haplustol fluvéntico	60	<i>Lactuca sativa</i> L.
1	6	4	Haplustol fluvéntico	60	<i>Lactuca sativa</i> L.
1	7	4	Haplustol fluvéntico	60	<i>Lactuca sativa</i> L.
2	1	4	Haplustol fluvéntico	50	<i>Brassica botrytis</i> L.
2	2	4	Haplustol fluvéntico	50	<i>Brassica botrytis</i> L.
2	3	3,8	Haplustol fluvéntico	50	<i>Brassica capitata</i> L.
2	4	3,8	Haplustol fluvéntico	50	<i>Allium cepa</i> L.
2	5	3,8	Haplustol fluvéntico	50	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.
2	6	3,7	Haplustol fluvéntico	50	<i>Allium fistulosum</i> L.
3	1	3,7	Haplustol fluvéntico	40	<i>Brassica capitata</i> L.
3	2	3,7	Haplustol fluvéntico	40	<i>Brassica capitata</i> L.
3	3	4	Haplustol fluvéntico	40	<i>Allium sativum</i> L.
3	4	4	Haplustol fluvéntico	40	<i>Allium cepa</i> L.
3	5	4	Haplustol fluvéntico	40	<i>Vicia faba</i> L.
3	6	4	Haplustol fluvéntico	40	<i>Linum crispum</i> Mill.
3	7	4	Haplustol fluvéntico	40	No cultivado
3	8	3,6	Haplustol fluvéntico	40	<i>Cucurbita pepo</i> L.
4	1	3,6	Haplustol fluvéntico	60	No cultivado
4	2	3,8	Haplustol fluvéntico	60	<i>Lactuca sativa</i> L.
4	3	3,8	Haplustol fluvéntico	60	<i>Beta vulgaris</i> L.
4	4	4,2	Haplustol fluvéntico	60	<i>Cucurbita pepo</i> L.
4	5	4,2	Haplustol fluvéntico	60	<i>Beta vulgaris</i> L.
4	6	4,2	Haplustol fluvéntico	60	<i>Lycopersicon esculentum</i> L.
4	7	3,6	Haplustol fluvéntico	60	<i>Linum crispum</i> Mill.
5	1	4,2	Haplustol fluvéntico	50	<i>Lactuca sativa</i> L.
5	2	4,2	Haplustol fluvéntico	50	<i>Lactuca sativa</i> L.
5	3	4,2	Haplustol fluvéntico	50	<i>Beta vulgaris</i> L.
5	4	4	Haplustol fluvéntico	50	No cultivado
5	5	4	Haplustol fluvéntico	25	No cultivado
6	1	4	Paleustol petrocálcico	25	<i>Allium cepa</i> L.
6	2	3,6	Paleustol petrocálcico	25	<i>Spinacia oleracea</i> L.
6	3	3,6	Paleustol petrocálcico	25	<i>Brassica botrytis</i> L.
6	4	3,6	Paleustol petrocálcico	25	<i>Beta vulgaris</i> L.
7	1	3,6	Paleustol petrocálcico	15	<i>Beta vulgaris</i> L.
7	2	3,8	Paleustol petrocálcico	15	<i>Allium cepa</i> L.
7	3	3,8	Paleustol petrocálcico	15	<i>Brassica capitata</i> L.
8	1	3,8	Paleustol petrocálcico	25	<i>Beta vulgaris</i> L.
8	2	4	Paleustol petrocálcico	25	<i>Spinacia oleracea</i> L.
8	3	4	Paleustol petrocálcico	25	<i>Allium sativum</i> L.
8	4	4	Paleustol petrocálcico	25	<i>Allium fistulosum</i> L.
FC	1	3,5	Haplustol fluvéntico	30	<i>Lactuca sativa</i> L.
FC	2	3,7	Haplustol fluvéntico	30	<i>Beta vulgaris</i> L.
FC	3	4	Paleustol petrocálcico	30	<i>Beta vulgaris</i> L.
FC	4	3,6	Paleustol petrocálcico	30	<i>Cichorium endivia</i> L.

determinado en una relación suelo: agua de 1:10 y un período de equilibrio de 10 minutos (Gutián y Carballas, 1976). Para la realización del análisis granulométrico, después de la oxidación de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno, separando mayor de 50 μm por tamizado y las fracciones finas por el método indicado en Day (1965). La conductividad hidráulica se determinó según el método propuesto por Richards (1973) y el contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black (1934).

Las hojas de acelga se muestrearon durante 6 días cada 24 horas, comenzando inmediatamente antes de la fumigación. Todos los días se recolectaron 100 hojas de acelga en cada una de las parcelas de las fincas fumigadas, efectuando un muestreo al azar, así como otras cien hojas de acelga en una de las parcelas de la finca control (FC).

Asimismo, los mismos días, se muestrearon cien hojas de acelga en dos supermercados abastecidos por esta zona hortícola.

Las 100 hojas de acelga, de cada procedencia y día, se secaron a 30°C, se molieron con molino de bolas de ágata, se homogeneizaron y se tomaron 10 submuestras para posteriormente efectuar la determinación de la concentración de lindano en ellas.

Se analizó el contenido de lindano en suelos y plantas, determinándolo según el método 8081A de la EPA (1996). Las muestras de suelo o planta (20 g) se extrajeron tres veces con 50 mL de hexano / acetona 1:1 mediante ultrasonidos, se mezclaron los extractos y, para eliminar las interferencias, se concentraron, lavaron y purificaron por cromatografía de permeación de gel (GPC) o de exclusión (SEC), utilizando tolueno como eluyente (DFG Pesticide Commission, 1987). Los extractos se secaron mediante una columna de alúmina y el análisis se realizó por cromatografía gas-líquido con un cromatógrafo de reparto gas-líquido provisto

de un detector de ^{63}Ni . La cuantificación se realizó utilizando el programa de adquisición y cálculo Star Chromatography Workstation (Versión 3) de Varian. El nivel de detección fue de 10^{-13} g g $^{-1}$.

La significación estadística de las diferencias entre las medias se estimó mediante análisis de varianza (ANOVA), con los consiguientes tests de mínima diferencia significativa (LSD). La relación entre los contenidos de lindano y las propiedades de los suelos por análisis de correlación y regresión (Neter et al., 1996). Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa estadístico SPSS 16 para Windows.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de los suelos (Tabla 2) pone de manifiesto diferencias sobre todo en los contenidos de arcilla y materia orgánica de los suelos de las diferentes fincas, lo que les confiere diferente potencial de adsorción y fijación de los aportes que reciban. Las diferencias en la textura son, junto con el contenido de materia orgánica, las que más pueden afectar a la movilidad del lindano, a su retención por el complejo adsorbente y a su posible pérdida por drenaje. Sin embargo, las propiedades de los suelos presentan variaciones espaciales que pueden determinar diferencias en el movimiento y acumulación de lindano en ellos.

Los resultados obtenidos muestran que los suelos contienen cantidades muy elevadas de lindano, pesticida que está prohibido para sanidad animal desde 1968 y para sanidad vegetal desde 1971. Este pesticida tiene el inconveniente de acumularse en la capa superficial del suelo, especialmente cuando los tratamientos se repiten año tras año. Además su persistencia es elevada y su presencia ha sido perfectamente comprobada después de años de aportes (Khan, 1980).

Al analizar los resultados obtenidos (Tabla 3 y Figura 2) se aprecia que en los suelos de

Tabla 2. Variación con la profundidad de las características generales de los suelos representativos de las diferentes fincas.

Finca	Profundidad (cm)	Arcilla %	Limo %	Arena %	C H cm.h ⁻¹	pH	M. O. gr.kg ⁻¹
F1	0-5	35,60	26,10	38,30	4	8,5	48
	5-10	32,10	27,10	40,80	3	8,9	31
	10-20	27,90	29,70	42,40	3	8,9	22
F2	0-5	12,50	15,10	72,40	6	8,5	48
	5-10	17,40	15,20	67,40	6	8,6	22
	10-20	10,40	17,30	72,30	12	8,6	15
F3	0-5	35,60	26,10	38,30	4	8,5	28
	5-10	32,10	27,10	40,80	3	8,9	22
	10-20	27,90	29,70	42,40	3	8,9	15
F4	0-5	12,50	15,10	72,40	12	8,5	48
	5-10	17,40	15,20	67,40	6	8,6	27
	10-20	10,40	17,30	72,30	7	8,6	22
F5	0-5	20,59	16,44	62,97	6	8,7	21
	5-10	29,00	21,34	49,66	6	8,8	19
	10-20	20,59	16,44	62,97	5	8,7	21
F6	0-5	17,50	17,40	65,10	5	8,5	15
	5-10	17,50	10,20	72,30	6	7,9	20
	10-20	17,60	14,90	67,50	6	8,5	17
F7	0-5	37,40	27,50	55,10	2	8,1	38
	5-10	34,90	20,20	44,90	0	7,8	31
	10-20	22,50	22,10	55,40	2	7,8	10
F8	0-5	18,60	9,80	71,60	18	7,8	18
	5-10	17,20	10,50	72,30	11	7,6	9
	10-20	17,50	10,90	71,60	17	7,8	8
FC	0-5	8,60	9,80	81,60	21	7,8	48
	5-10	7,20	10,50	82,30	18	7,6	31
	10-20	6,50	10,90	82,60	21	7,8	22

C.H.: conductividad hidráulica; M.O.: Materia Orgánica.

las fincas 3, 6, 7 y 8 es donde se presentan los contenidos más elevados, sobre todo en las capas superficiales, y que éstas son las fincas en las que la implantación hortícola es más reciente.

Los mayores contenidos corresponden a la profundidad comprendida entre 0 y 5 cm; indicando la escasa movilidad del lindano. En todos los suelos el lindano está presente en todas las profundidades estudiadas; sin

embargo, en las parcelas de la finca control, los contenidos de lindano son muy bajos y no se ha detectado en la zona más profunda.

Se ha establecido correlación negativa (Tabla 4), altamente significativa, entre el contenido de lindano y el tiempo de implantación del cultivo para todas las muestras estudiadas, lo cual puede indicar que, aún estando prohibido, lo está desde hace menos tiempo que otros, como el DDT,

Tabla 3. Contenido de lindano ($\mu\text{g kg}^{-1}$) y variación con la profundidad en todas las fincas estudiadas

Finca y parcela	Profundidad (cm)		
	0-5	5-10	10-20
F1P1	210	165	77
F1P2	150	104	45
F1P3	360	287	120
F1P4	125	99	49
F1P5	101	76	37
F1P6	86	57	32
F1P7	385	291	136
F2P1	210	132	nd
F2P2	189	109	nd
F2P3	205	156	nd
F2P4	169	98	nd
F2P5	143	87	nd
F2P6	196	125	nd
F3P1	380	210	182
F3P2	108	50	nd
F3P3	1590	1310	1239
F3P4	1282	1180	1099
F3P5	1125	910	862
F3P6	515	315	252
F3P7	810	665	623
F3P8	565	425	325
F4P1	59	43	nd
F4P2	150	105	57
F4P3	135	115	64
F4P4	166	125	59
F4P5	175	138	73
F4P6	110	95	42
F4P7	113	99	38
F5P1	250	186	107
F5P2	265	201	100
F5P3	166	133	93
F5P4	80	66	40
F5P5	335	289	253
F6P1	450	400	384
F6P2	610	570	557
F6P3	505	460	432
F6P4	702	680	590
F7P1	580	420	386
F7P2	870	730	633
F7P3	695	620	513
F8P1	309	200	160
F8P2	1569	1406	1333
F8P3	250	108	70
F8P4	930	803	715
FCP1	20	4	nd
FCP2	29	8	nd
FCP3	21	5	nd
FCP4	22	7	nd

nd: no detectable

por lo que los agricultores lo han utilizado desde hace menos años y seguirlo usando en las labores de preparación del suelo para el cultivo hortícola.

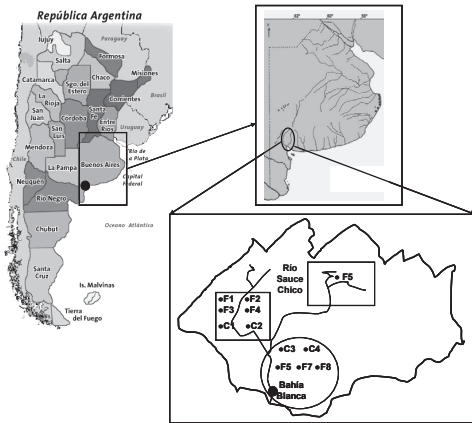


Figura 1. Zona de estudio

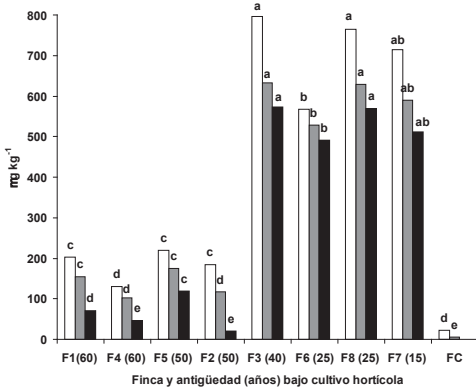


Figura 2. Contenidos medios de lindano ($\mu\text{g kg}^{-1}$) en las diferentes fincas según la antigüedad de suso hortícola. Los valores son la media de cinco medidas en todas las parcelas de cada finca. Para cada profundidad las barras con diferentes letras son estadísticamente diferentes según el test de Duncan de rangos múltiples de medias ($p \leq 0,05$)

También se usa en fincas de más reciente implantación, en tratamientos de semilla debido a su efecto como insecticida del suelo, y en aplicaciones esporádicas cuando

se produce una plaga. Además, como su persistencia es menor que la de otros organoclorados (Andrade et al., 2005), se presenta en cantidades elevadas en los suelos de utilización mas reciente (Figura 2), ya que en los más antiguos ha ido degradándose en mayor o menor proporción.

También, para todas las muestras, se estableció correlación negativa entre el contenido de lindano y el de materia orgánica por lo cual se confirma, de acuerdo con Fall et al. (2000), Poggi-Varaldo et al. (2002 y 2003) e Robles-González et al. (2006), la naturaleza hidrofóbica del insecticida que le confiere afinidad por la materia orgánica del suelo, por lo que tiende a unirse a ella.

La correlación negativa con el pH coincidente con los resultados de Škrbić y Đurišić-Mladenović (2007) y Hao et al. (2008) indica que la histéresis del lindano en suelos agrícolas de carácter alcalino, como los estudiados, es entre moderada y alta, tal como indican Robles-González et al. (2006).

Al analizar las relaciones existentes (Tabla 4) entre el contenido de lindano y las características del suelo para cada una de las profundidades estudiadas se comprobó también la existencia de correlación positiva entre dichos contenidos y el de materia orgánica, debido a la afinidad de ésta por el lindano. Sin embargo se mantiene la correlación negativa con la antigüedad de uso hortícola, excepto en el caso de la capa más profunda donde es positiva y altamente significativa, lo cual indica que la acumulación en esta zona se debe a la persistencia en el uso desde hace muchos años y a su acumulación, debido a la menor de degradación a esta profundidad.

Del análisis de los resultados se deduce que la retención del lindano en estos suelos es alta y que la movilidad está determinada, no solo por las características del suelo, sino también por la naturaleza química del pesticida.

Tabla 4. Matriz de correlación entre las diferentes variables.

Todas las muestras				
	Lindano	M.O.	Antigüedad	pH
Lindano	1,00	0,78**	-0,68**	-0,53*
M.O.	078**	1,00		
Antigüedad	-0,68**		1,00	
pH	-0,53*			1,00
Profundidad: 0 - 5 cm				
	Lindano	M.O.	Antigüedad	
Lindano	1,00	0,85	-0,74*	
M.O.	0,85	1,00		
Antigüedad	-0,74		1,00	
Profundidad: 5 - 10 cm				
	Lindano	M.O.	Antigüedad	
Lindano	1,00	0,61*	-0,76*	
M.O.	0,61*	1,00		
Antigüedad	0,84**		1,00	
Profundidad: 10 - 20 cm				
	M.O.	Antigüedad	Lindano	
	Lindano	0,72**	0,84**	1,00
	Antigüedad	0,88**	1,00	

** significativo al nivel 0,01, * significativo al nivel 0.05.

Los resultados obtenidos muestran el importante nivel de contaminación por lindano en la zona estudiada y los efectos nocivos que pueden ocasionarse por su uso continuado.

La figura 3 muestra los contenidos de lindano en hojas de acelga y su variación a partir del momento de la aplicación del insecticida. Se aprecian contenidos elevados, incluso en las procedentes de la finca control, a las 24 horas de haber realizado la fumigación. Ello indica que la intensidad del viento provoca la dispersión de los pesticidas debido a la proximidad a las fincas tratadas. Las condiciones climatológicas de las fechas de muestreo (Tabla 5) indican valores de velocidad del viento elevados para realizar

el aporte de pesticidas, tal y como indican (Cucchi y Becerra, 1997).

Thompson (1983) indicó que los niveles de pesticidas en las hojas de los vegetales, son el resultado de la absorción del aplicado al suelo, de la translocación de los aplicados a la planta, antes del desarrollo de la parte comestible, o de la adición cuando esta parte está ya desarrollada. Además, diversos autores (Harthey y Graham Bryce, 1980; Mathews, 1989; Coscolla, 1993; Miglioranza, 1999; Willis y Mc Dowell, 1987; Riederer, 2005) han indicado gran variabilidad en la cantidad de fitosanitarios retenidos por las plantas, dependiendo, entre otros factores, de la configuración de la superficie vegetal y de la composición química del fitosanitario.

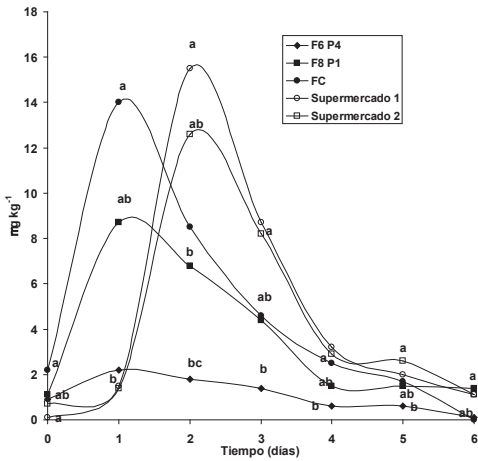


Figura 3. Curvas de disipación de lindano en hojas de *Beta vulgaris* L. (variedad cicla) procedentes de diferentes fincas y supermercados. Los valores son la media de diez réplicas. Para los mismos tiempos, los puntos con diferentes letras son estadísticamente diferentes, según el test de Duncan de rangos múltiples de medias ($p \leq 0,05$)

Coincidiendo con estos trabajos, los resultados obtenidos muestran la gran importancia de la morfología de la planta sobre la cantidad de pesticida depositado, ya que la relación superficie/peso en *Beta vulgaris*, L. es muy elevada y las rugosidades de la hoja pueden acumular cantidades notables de pesticidas. Las curvas de disipación (Figura 3) permiten apreciar que, en general, las

mayores concentraciones se presentan a las 24 horas de haber efectuado la fumigación y decrecen a partir de ese momento, lo cual vuelve a confirmar el efecto de la acción del viento sobre la dispersión. También el mayor contenido en acelgas comercializadas se presenta a las 72 horas de haber efectuado el tratamiento, lo cual pone de manifiesto el traslado casi inmediato desde las fincas a los lugares de comercialización, sin que haya transcurrido el plazo de seguridad, ni se haya evaluado el límite máximo de residuos permitido, ni, en función de éstos, el nivel de ingestión máxima, (NIM), o la IDA (ingestión diaria admisible), para evitar la entrada de pesticidas en la cadena alimentaria, tal y como se indica en Coscolla (1993) y en la Directiva 2002/66/CE de la Comisión Europea de 16 de julio de 2002 (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2002) que indica un máximo permisible de lindano en acelga de $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$.

Por ello la inexistencia de cantidades detectables de cualquier pesticida (nivel de tolerancia cero) es el límite de máxima seguridad para la comercialización o consumo. Este nivel puede conseguirse empleando el pesticida de modo que en el momento de la recolección el producto agrícola no lo contenga, o eliminándolo por lavado, o cepillado, antes de la comercialización (Ekström y Akerblom, 1990).

Tabla 5. Datos climatológicos en los días de fumigación y muestreo de *Beta vulgaris* a las 12 horas, momento de fumigación y/ o recogida de las muestras.

Tiempo transcurrido desde la fumigación (días)	Hora del muestreo	T _{max} °C	T _{min} °C	Humedad relativa _{max} (%)	Humedad relativa _{min} (%)	Dirección y velocidad del viento (km h ⁻¹)	Precipitación (mm)
0	12	25.1	10.4	71	20	NW, 56	0
1	12	28.5	16.6	66	24	NW, 64	0
2	12	24.1	11.6	96	36	NW, 40	3.6
3	12	23	11	94	34	SW, 34	0
4	12	29.5	9	91	21	NW, 22	2
5	12	25.6	15	92	22	W, 78	1
6	12	21.4	9.7	77	24	WSW, 48	0

Las curvas de disipación (Figura 3) muestran diferencias significativas entre los contenidos de pesticidas en las hojas de acelga procedentes de las diferentes fincas al cabo de 24, 48 y 72 horas de la fumigación, atenuándose estas diferencias hasta hacerse prácticamente nulas a los 6 días de haber realizado el aporte de fitosanitarios. Ello es debido al transporte y la volatilización de los pesticidas desde las hojas en las que se han depositado, favorecidos por la acción del viento y por el sistema de aplicación, tal y como ha sido indicado por Matthews (1979), Taylor (1974) y Tomlin (1999) y por fotodegradación (Wild et al., 2005). Por ello se aconseja efectuar la recolección al menos 6 días después de realizada la fumigación, para evitar la comercialización de vegetales con lindano, compuesto peligrosos para la salud de los consumidores.

CONCLUSIONES

Los suelos no presentan diferencias apreciables en sus propiedades por lo que la acumulación selectiva de lindano, se debe principalmente a la cantidad de tiempo que ha sido aplicado el plaguicida, a la escasez de lluvias y a las características del compuesto, entre otros factores.

En la zona hortícola de Bahía Blanca, se aprecia una elevada concentración de residuos de lindano relacionada negativamente con la antigüedad de la explotación agrícola y positivamente con el contenido de materia orgánica de los suelos

La movilidad relativa del lindano está mas afectada por sus propiedades de los pesticidas y por los años que cada finca lleva dedicada al cultivo intensivo hortícola, que por las propiedades fisicoquímicas de los suelos o a la especie cultivada. Las fincas de menor antigüedad presentaron los máximos niveles.

Los mayores contenidos corresponden a la profundidad comprendida entre 0 y 5 cm; indicando su escasa movilidad debido a su

lipofilicidad.

El lindano es poco móvil bajo condiciones semiáridas y presenta una relativa adsorción en la materia orgánica del suelo.

La concentración de lindano en los cultivos analizados es elevada, incluso en los desarrollados en la parcela de la finca control, por lo que es necesario, prescindir de su uso o, en todo caso, estudiar las dosis y formas de aplicación en función de los parámetros climatológicos para evitar riesgos para la salud.

La variabilidad en la concentración de lindano en el cultivo muestra la diversidad de los depósitos, la deficiencia en el uso de los equipos de aplicación del fitosanitario y la carencia de estudios de las variaciones climáticas, sobre todo la intensidad del viento y su dirección.

Los resultados obtenidos permiten recomendar la aplicación de las técnicas del manejo integrado de plagas para reducir significativamente, o evitar, el uso de este pesticida, ya que da lugar a menores efectos sobre el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Andrade, M.L., Reyzábal, M.L., Covelo, E.F., Vega, F.A. (2005): Organochlorine Pesticides Content in Soils from Bahía Blanca Horticultural Belt (Argentina). *Can. J. Soil Sci.* 85, 273-282.
- _____, Marcet, P., Covelo, E.F. Reyzábal, M.L. (2004): Persistence of Malathion and Parathion at different depth in cultivated semiarid soils. *IVth on Irrigation Hort. Crops R.L. Snyder Ed. Acta Horticulturae* 664, 29-38. ISHS.
- Coscolla, R. (1993): Residuos de plaguicidas en alimentos vegetales. Mundi Prensa, Madrid, España.
- Cucchi, N.J.A., Becerra, V.(Eds.)(1997: Manual sobre el uso correcto de pesticidas. INTA, ISCAMEN, FADESS. Mendoza. Argentina.

- Day, P.R. (1965): Particle size analysis. En : Black C.A. (Ed). *Methods of soil analysis*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, USA , pp. 545-567.
- DFG Pesticide Commission (1987): *Manual of pesticide residue analysis*, Method S19, VCH, Weinheim, Germany.
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas (2002): Directiva 2002/66/CE de la Comisión Europea de 16 de julio de 2002 por la que se modifican los anexos de las Directivas 76/895/CEE, 86/362/CEE, 86/363/CEE y 90/642/CEE del Consejo, en lo relativo a la fijación de los límites máximos de residuos de plaguicidas en frutas y hortalizas, cereales, productos alimenticios de origen animal y determinados productos de origen vegetal, incluidas las frutas y hortalizas, respectivamente. L 192/47- L 192/51.
- Ekström, G., Akerblom, M. (1990): Pesticide management and Food and Water Safety. *International Contributions and National Approaches*. *Rev. Env. Cont. Tox.* 114, 23-55
- EPA-608 (1980): *Environmental Protection Agency. Manual of Analytical Methods for the Analysis of Pesticides in Human and Environmental Samples*. Sec 4A (EPA 600/880-038).
- Fall, C., Chaouki, J., Chavarie, C. (2000): Descriptive behavior of pentachlorophenol (PCP) and phenanthrene in soil-water systems. *Water Env. Res.* 72, 162-169.
- Gutián, F., Carballas T. (1976): *Técnicas de análisis de suelos*. Pico Sacro Santiago de Compostela. España.
- Hao, H., Sun, B., Zhao, Z. (2008): Effect of land use change from paddy to vegetable field on the residues of organochlorine pesticides in soils. *Environm. Pollut.* 156, 1046-1052.
- Harthey, G.S., Graham-Bryce, I.J. (1980): *Physical principles of pesticides behavior*, 2 vol. Academic Press, New York, USA.
- Khan, S.U. (1980): *Pesticides in the soil environment*. Elsevier Oxford. U.K.
- Li, Y.F., Macdonald, R.W. (2005): Sources and pathways of selected organochlorine pesticides to the arctic and the effect of pathway divergence on HCH trends in biota: A review. *Sci. Total Environm.* 342, 87-106.
- Matthews, G.A. (1989): *Pesticide application methods*. Longman, New York, USA.
- Melnikov, N.N. (1996): The problem of soil contamination with organochlorine compounds. *Euras. Soil Sci.* 29, 1196-1197.
- Miglioranza, K.S.B., Aizpun de Moreno, J.E., Moreno, V.J., Osterrieth, M.L., Escalante, A.H. (1999): Fate of organochlorine pesticides in soils and terrestrial biota of Los Padres pond watershed, Argentina. *Environm. Pollut.* 105, 91-99.
- Neter J., Wasserman, W., Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J. (1996): *Applied Linear Statistical Models*. 4th Edition, McGraw-Hill Professional Publishing, Irwin, Chicago, USA.
- Pimentel, D., Edwards, C.A. (1982): Pesticides and ecosystems. *Bioscience* 32, 595-600.
- Poggi-Valardo, H.M., Rinderknecht-Seijas, N. (2003): A differential availability enhancement factor for the evaluation of pollutant availability in soil treatments. *Acta Biotechnol.* 23, 271-280.
- _____, Rinderknecht-Seijas, N., Caffarel-Méndez, S. (2002): Irreversibilidad en el comportamiento adsorbtivo-desorbtivo de contaminantes en suelos y sedimentos: evaluación cuantitativa por medio de un coeficiente de histéresis

- diferencial. *Interciencia* 27, 180-185.
- Reyzábal, M.L., Andrade, M.L., Marcet, P., Montero, M.J. (2000): Effect of long-term cultivation on Zinc and Copper contents in soils from the Bahía Blanca horticultural belt (Argentina). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 31, 1155-1167
- Richards, L.A. (Ed.) (1973): *Suelos salinos y sódicos*. Limusa. México.
- Riederer, M. (2005): Uptake and transport of xenobiotics. En: B. Hock y E.F. Elstner, (Eds.), *Plant toxicology*. Marcel Dekker New York, USA, pp. 131-150.
- Robles-González, I.V., Ríos-Leal, R. Galíndez-Mayer, J., Caffarel-Méndez, S., Barrera-Cortés, J., Esparza-García, F., Poggi-Varaldo, H.M. (2006): Comportamiento adsorptivo-desorptivo del lindano en un suelo agrícola. *INCI*, 31, 305-308.
- Singh, G., Kathpal, T.S., Spencer, W. F., Dankhar, J.S. (1991): Dissipation of some organochlorine insecticides in cropped and uncropped soils. *Environm. Pollut.* 70, 219-239.
- Škrbić, B., Đurišić-Mladenović, N. (2007): Distribution of Chlorinated Organic Pollutants in a Wide Variety of Soils from Europe and Asia: A Multivariate Statistical Approach *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 52, 466-474.
- Soil Survey Staff. (2006): *Claves para la Taxonomía de Suelos*. USDA. NRSC 10^a Ed, 331 pp.
- Taylor, A.W. (1974): Post-application volatilization of pesticides under field conditions. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 28, 922-927.
- Thompson, N. (1983): Diffusion and uptake of chemical vapor volatilising from a sprayed target area. *Pesticide Sci.* 14, 33-39.
- Tomlin, C. (1999): *The Pesticide Manual*. British Crop Protection Council: Surrey, UK, The Royal Society of Chemistry. Cambridge, UK.
- Walkley, A.; Black, I.A. (1934): An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. *Soil Sci.* 34, 29-38.
- Wania, F., Mackay, D. (1996): Tracking the distribution of persistent organic pollutants. *Environm. Sci. Technol.* 30, 390A-396A.
- Wild, E., Dent, J., Thomas, G.O., Jones, K.C. (2005): Real-time visualization and quantification of PAH photodegradation on and within plant leaves. *Environm. Sci. Technol.* 39, 268-273.
- Willis, G.H., McDowell, L.L. (1987) : Pesticides persistence on foliage. *Rev. Env. Cont Tox.* 100, 21-73.