

Movilidad de los plaguicidas carbofuran e imidacloprid en un suelo Typic Humitropept

Mobility of pesticides carbofurane and imidacloprid in Typic Humitropept soil

Héctor Mario Gutiérrez¹, Luz Edith Barba² y Hernán Materón³

Resumen: La movilidad de los plaguicidas carbofuran e imidacloprid se estudió en un suelo tipo Typic Humitropept de la serie Meléndez, Cali, Valle del Cauca, usando columnas empaquetadas con un diámetro interno de 5,4 cm y 30 cm de altura, que se encontraban en capacidad de campo y que fueron expuestas a una precipitación simulada de 300 mm/48 horas; se obtuvo un Coeficiente de Retardo para el imidacloprid de 4,29 y para el carbofuran de 6,05. Los resultados de los anteriores ensayos fueron contrastados con los resultados de movilidad de los plaguicidas en lisímetros de campo que fueron operados bajo una simulación de lluvia de 300 mm/mes; se obtuvo que la mayor parte del imidacloprid eluyó entre los días 36,5 y 43,5, con un porcentaje de recuperación de 39,75%; el carbofuran eluyó entre los días 30 y 36,5, con un porcentaje promedio de recuperación de 46,4%. Estos resultados se obtuvieron en sistemas los cuales están sujetos a los efectos de advección, dispersión y adsorción; por tanto, se puede concluir que el imidacloprid es menos móvil que el carbofuran en el tipo de suelo evaluado.

Palabras clave: columnas de suelo, Coeficiente de Retardo, lisímetro, plaguicidas, lixiviación, fluorescencia, imidacloprid, carbofuran.

Abstract: Laboratory studies were conducted in order to determine mobility of the pesticides carbofuran and imidacloprid in a soil type Typical Humitropept of Melendez, Cali, Valle del Cauca series. The packed columns with 5.4 cm internal diameter and 30 cm of height, soil water contents of field capacity, and feigned precipitation 300 mm in a period of 48 hours were used in order to obtain a Factor of Retard 4.29 for imidacloprid and 6.05 for carbofuran. The results of the previous assays were compared with the results of pesticide mobility in field lysimeters that were operated under a simulation of rain 300 mm/month. It was found that the most of imidacloprid was leached during the days 36.5 and 43.5, with a percentage of recovery 39.75%, whereas carbofuran was leached during the days 30-36.5 with an average percentage of recovery 46.4%. These results were obtained in systems that included the effects of advection, dispersion, and adsorption. Therefore, they allow concluding that imidacloprid was the less mobile pesticide than carbofuran in the evaluated soil.

Key words: soil column, Retardation Coefficient, lysimeter, pesticides, leaching, fluorescence, imidacloprid, carbofuran.

Introducción

LOS XENOBIÓTICOS (herbicidas, insecticidas, fungicidas, policlorobifenilos, etc.) pueden acumularse en el ambiente y, adicionalmente, pueden ser transportados a través

del suelo llegando a contaminar aguas subterráneas, lo que genera un alto riesgo al ambiente y a la salud del ser humano, todo esto debido a la exposición a trazas de estas sustancias a través de los alimentos y el agua potable (Margni *et al*, 2002; Nemeth-Konda *et al*, 2002).

Fecha de recepción: 17 de mayo de 2006
Aceptado para publicación: 06 de junio de 2007

¹ Profesor, Universidad del Valle, Cali. e-mail: hegutier@univalle.edu.co
² Profesora, Universidad del Valle, Cali. e-mail: luebarba@univalle.edu.co
³ Profesor, Universidad del Valle, Cali. e-mail: materon@univalle.edu.co

El potencial de lixiviación de los plaguicidas en los suelos está estrechamente relacionado con el grado de afinidad con la materia orgánica presente en el suelo, los tipos de arcillas presentes y las características hidráulicas del mismo (Ndongo *et al.*, 2000; Capri, 2000; Granada *et al.*, 1998).

El comportamiento de movilidad puede ser seguido mediante el uso de columnas de suelo perturbadas (Peck *et al.*, 1995; Ndongo *et al.*, 1998; Cogger *et al.*, 1998; Flores *et al.*, 2002) y bloques de suelo sin perturbar (Cogger *et al.*, 1998; Alphen *et al.*, 2000; Roy *et al.*, 2001; Perfect *et al.*, 2002) permitiendo evaluar el potencial de lixiviación de un plaguicida en un suelo.

Ndongo *et al.* (2000) estudiaron el transporte del linuron, imidacloprid a través de columnas de suelo sin perturbar en invernadero; se simularon dos precipitaciones (288 mm y 496 mm) distribuidas sobre un período y fueron estudiados dos modos de aplicación, individual o combinado (Ndongo *et al.*, 2000).

Castillo *et al.* (2003), usando la metodología de columnas de suelo perturbada, determinaron la movilidad del carbofuran en dos tipos de suelo con contenidos de materia orgánica de 3% y 5%, respectivamente y se determinó que en el tratamiento con menor nivel de materia orgánica el carbofuran fue arrastrado en el agua percolada rápidamente, mientras que el tratamiento con mayor contenido de materia el arrastre fue más lento (Castillo *et al.*, 2003).

La movilidad de los plaguicidas en los suelos puede generar problemas de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Esto puede ser determinado por medio de ensayos de laboratorio, hallando la relación adsorción:desorción en el suelo y la velocidad de lixiviación (Cox *et al.*, 1997).

El Coeficiente de Retardo (la relación entre la velocidad del agua en los poros del suelo y la velocidad con que se transporta el plaguicida) puede ser calculado mediante mediciones en columnas de suelo; este factor permite calcular la velocidad de viaje de los contaminantes en un determinado tipo de suelo (Eweis *et al.*, 1999; Flores *et al.*, 2002; Perfect *et al.*, 2002). Los factores que afectan al flujo de plaguicidas en la zona no saturada son el contenido en arcillas, materia orgánica, textura, estructura y porosidad, grado de humedad, así como la temperatura y pH (Eweis *et al.*, 1999), factores que están incluidos en el Coeficiente de Retardo.

Se han realizado una serie de ensayos tendientes a evaluar los efectos de la materia orgánica disuelta sobre la movilidad del imidacloprid en un suelo calcáreo; los resultados evidenciaron el incremento de la velocidad de lixiviación del imidacloprid al aumentar el contenido de materia orgánica en solución (Flores *et al.*, 2002).

Adicionalmente se han desarrollado modelos matemáticos que permiten la predicción de la lixiviación de los agroquímicos, considerando el transporte del contaminante con los flujos advectivos y dispersivos (Suzuki *et al.*, 1998; Perfect *et al.*, 2002). Adicionalmente se han propuesto índices que permiten predecir el riesgo de contaminación de un acuífero subterráneo (Alister *et al.*, 2005).

El objetivo de este estudio fue evaluar en un suelo Typic Humitropept del conjunto Melendez, en el Valle del Cauca, la movilidad del imidacloprid (1-(6-cloro-3-pyridil-methyl-2(nitroimino)-3,4 hidroimidazolideno) y el carbofuran (2,3- dihidro- 2,2- dimetilbenzofuran-7 -il metilcarbamato) los cuales son plaguicidas usados en el Valle del Cauca para controlar la mosca blanca en cultivos de yuca.

Materiales y métodos

Los solventes usados fueron metanol grado pesticida Mallincrodt® y acetonitrilo grado pesticida Mallincrodt®. Respecto de los equipos utilizados, se contó con un espectrofotómetro u.v.-visible Shimadzu UV-160A® y un fluorómetro Shimadzu RF-1501®. Las muestras de suelos se recolectaron en Meléndez (Cali) y su clasificación taxonómica, que fue realizada por Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año de 1970 (IGAC, 1970), indica que corresponde a un suelo Typic Humitropept de textura franco-arcillosa.

Caracterización del suelo

Se analizó el contenido de materia orgánica (MO), la capacidad de intercambio cationico (CIC), la granulometría, pH, conductividad hidráulica y humedad, de muestras de un suelo tomado en Meléndez (Cali, Valle).

Columnas empacadas de suelo

Ensayo de movilidad. En los ensayos de movilidad en columnas de suelo empacadas con suelo disturbado se siguieron las condiciones y procedimientos de la guía OECD 106 (OECD, 1999), usando una columna de suelo de 30 cm de alto y 5,2 cm de ancho, y simulando

una lluvia de 300 mm en 48 horas (687 mL/48 horas), se adicionaron 3,4 mg de cada plaguicida.

Toma de muestras. Se determinó la concentración de los plaguicidas en secciones de 6 cm de altura en la columna de lixiviación de 30 cm de altura.

Procedimientos analíticos usados. Se efectuaron limpieza (*clean-up*) y una cuantificación, así:

Limpieza (*clean-up*).

- Extracción en fase sólida de imidacloprid: se pesaron 2,5 g del suelo y se adicionaron 10 mL de acetato de etilo; a continuación se llevó a ultrasonido por media hora, luego se filtró el extracto y el solvente fue evaporado; posteriormente, el extracto de la muestra se disolvió en agua. La activación de los cartuchos de C-18 se realizó con 5 mL de acetonitrilo (ACN) y 5 mL de agua, pasando gota a gota. Posteriormente se dejaron secar los cartuchos por 20 min y se inició el paso de las muestras, con flujo de 5 a 10 mL por min, se eluyó con 5 mL de metanol (MeOH) y se evaporó el solvente; el eluato se aforó con agua destilada a 10 mL y se filtró en papel de fibra de vidrio whatman GF/A; esta solución se analizó por la técnica de fluorescencia para determinar la concentración del plaguicida.
- Extracción en fase sólida de carbofuran : se pesaron 2,5 g de suelo y se adicionó 25 mL de acetonitrilo para llevar a ultrasonido por media hora; el solvente fue evaporado hasta ± 15 mL y el extracto se aforó con agua a 100 mL. El extracto se extrajo por extracción mediante fase sólida de igual manera que el imidacloprid. La activación de los cartuchos de C-18 y la extracción se realizaron igual al procedimiento anterior: posteriormente se eluyó con 5 mL de acetonitrilo. El eluato se aforó con agua destilada a 10 mL y, posteriormente, se actuó igual que en el procedimiento anterior.

Cuantificación. Las mediciones de la concentración de imidacloprid (Vilchez *et al.*, 1998) y carbofuran se realizaron por el método de fluorescencia, así:

- Imidacloprid: se tomaron alícuotas de las soluciones de tal forma que las concentraciones en los balones aforados estuvieran entre 0,05 y 1,0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, se adicionaron 15 mL de la Buffer 0,04M Britton Robinson de pH 11,8 Unidades a cada uno de ellos, se agitaron y se aforaron a 25 mL con agua desionizada. Poste-

riormente se colocaron 3 mL de la solución en una celda de cuarzo y se irradió por tres minutos a una longitud de onda de 335 nm; finalmente, se leyeron las máximas Intensidades de Fluorescencia a una longitud de onda de 376 nm.

- Carbofuran: se realizaron diluciones de las muestras problema de tal forma que la concentración de carbofuran en el balón aforado estuviera entre 0,2 y 1,0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, se colocaron 3 mL de la solución en una celda de cuarzo que se irradió con una longitud onda de excitación de 276 nm; a continuación se leyeron las máximas Intensidades de Fluorescencia a una longitud de onda de emisión de 303 nm. Posteriormente se realizó el cálculo de la concentración usando la curva de calibración.

Lisímetro de campo

Ensayo de movilidad en campo. Los recipientes usados fueron de un diámetro de 0,4 m y altura de 0,25 m, con una forma circular y con un lecho poroso para recolectar el lixiviado en un recipiente. A cada uno de estos cilindros se les colocó un bloque de suelo de las mismas medidas del recipiente y los vacíos laterales se llenaron con suelo que se compactó; se llevó el suelo a la capacidad de campo y se adicionó el plaguicida en cada lisímetro en una dosis de 15 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; luego éstos se cubrieron con plástico para evitar efectos de evapotranspiración o disolución por lluvia. Posteriormente a la aplicación del plaguicida se realizó una aspersión diaria de 1,38 L de agua en dos aplicaciones a cada lisímetro durante el periodo de ensayo; el total de estas adiciones de agua permitió simular una precipitación mensual de 300 mm. Se registró el volumen de las muestras lixiviadas y se tomaron muestras dos veces por semana, las cuales se preservaron en frascos ámbar a 4°C para su posterior análisis.

Procedimientos analíticos usados. Se efectuaron una limpieza (*clean-up*) y una cuantificación, tanto para el imidacloprid, como para el carbofuran, así:

- Extracción en fase sólida: se filtraron ± 400 mL de muestra y se realizó la extracción en fase sólida. Se activaron los cartuchos de C-18 con 5 mL de agua, 5 mL de ACN, pasando gota a gota; luego se dejó secar los cartuchos por 20 min y se inició el paso de las muestras, con flujo de 5 a 10 mL por minuto. Posteriormente se dejaron secar los cartuchos y se eluyeron con 5 mL de metanol para el imidacloprid y 5 mL de

acetonitrilo para el carbofuran, despues de lo cual se evaporó el solvente. El eluato se aforó con agua destilada a 10 mL, solución que se filtró y posteriormente se analizó por la técnica de fluorescencia, como se describió en el anterior procedimiento.

Tiempo de monitoreo. El monitoreo de los ensayos de lixiviación en los lisímetros de campo se realizó durante 45 días para el Confidor® y Furadan®, presentaciones comerciales de imidacloprid y carbofuran, respectivamente. Se colectaron muestras del lixiviado en el instante cero y los días 0, 4, 7, 11, 14, 18, 21, 25, 28, 32, 35, 38, 42 y 45. Se registró el volumen de las muestras y se preservaron en frascos ámbar a 4°C.

Resultados y discusión

Se realizó un perfil del suelo de 0-15 cm, 15-30 cm y 30-45 cm en un área de trabajo de 80 m²; los resultados de la caracterización del suelo se presentan en la tabla 1.

La evaluación de los resultados mostró que las características fisicoquímicas del suelo corresponden a un sustrato con buenas características para el tipo agrícola Typic Humitropept; sin embargo, el suelo posiblemente presentaba un estado de compactación.

Movilidad en columnas empacadas de suelo

Cada plaguicida se aplicó a tres columnas usando una dosis del ingrediente activo (i.a.) de 15 kg · ha⁻¹ (equivalente

a la adición de 3,24 mg de plaguicida por columna) y una columna se utilizó como blanco. Posteriormente se inició la simulación de lluvia por 48 horas. Los resultados de la cuantificación del plaguicida en el lixiviado se presentan en la tabla 2: muestran una mayor recuperación de carbofuran en los lixiviados que de imidacloprid, lo que indica que el carbofuran tiene una tasa de retención menor que el imidacloprid en este tipo de suelos.

Cada columna con suelo perturbado de se dividió en cinco secciones, las cuales fueron pesadas y luego se realizó la extracción y cuantificación del plaguicida en cada una. La tabla 3 resume el valor de la concentración del carbofuran en cada una de las secciones (la columna 3

Tabla 1. Caracterización del suelo Typic Humitropept.

Parámetro	Profundidad (cm)			
	0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	
pH (unidades)	6,9	7,04	6,92	
Humedad (%)	4,8	5,28	5,19	
Materia Orgánica (%)	3,02	2,99	2,28	
C.I.C. (me·100 g ⁻¹) método del acetato de amonio	39,82	30,31	36,18	
Densidad aparente (g·cm ⁻³)	1,69	1,75	1,73	
Porosidad (%)	35,2	32,6	34,8	
Humedad a capacidad de campo (%)	42	44	43	
Conductividad hidráulica (mm/día)	496	499	512	
% Granulometría	Arena	32,38	29,51	29,53
	Limo	29,45	33,99	29,78
	Arcilla	38,16	36,5	40,69
	Textura	Franco - Arcilloso	Franco - Arcilloso	Franco - Arcilloso

Tabla 2. Cuantificación de plaguicida en el lixiviado.

Concentración carbofuran mg·L ⁻¹	Columna 1	Columna 2 (blanco)	Columna 3	Columna 4	Promedio	Desviación estándar
	0,91	0,00	0,63	0,59	0,71	0,06
Concentración imidacloprid mg·L ⁻¹	Columna 1	Columna 2	Columna 3 (blanco)	Columna 4	Promedio	Desviación estándar
	0,15	0,20	0,00	0,19	0,18	0,01

Tabla 3. Dosificación del carbofuran (mg) por secciones.

Sección	Columna 1	Columna 2 (blanco)	Columna 3	Columna 4	Promedio
	Dosis carbofuran mg/sección	Dosis carbofuran mg/sección	Dosis carbofuran mg/sección	Dosis carbofuran mg/sección	Dosis carbofuran mg/sección
1	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	1,04	0,00	0,35
3	1,16	0,00	0,59	0,67	0,81
4	0,89	0,00	1,40	1,04	1,11
5	0,33	0,00	0,87	2,65	1,28
Total mg	2,39	0,32	3,90	4,36	3,55
% Retenido columna	70,33	9,35	114,76	128,09	104,1
% Total recuperado	87,40	0,00	126,95	139,17	117,9

fue el blanco) y en la tabla 4 se evidencia la concentración del imidacloprid en cada sección (la columna 3 fue, así mismo el blanco).

En el traslado de un contaminante a través del suelo se experimentan fenómenos de advección, dispersión hidrodinámica y adsorción/desorción, de equilibrio instantáneo en un medio poroso uniforme. Estos fenómenos resultan complejos en su descripción individual y al combinarse generan múltiples interpretaciones. Por lo anterior se utiliza de una manera más sencilla el Coeficiente de Retardo que involucra todos estos fenómenos.

El Factor de Retardo se describe así:

$$R = 1 + (\rho/\eta) Kd \quad \text{ecuación 1}$$

Donde:

R: Coeficiente de Retardo; ρ : densidad; η : porosidad; Kd: Coeficiente de Distribución (Eweis *et al.*, 1999).

Observando las tablas 3 y 4 se identificó la profundidad a la cual se encuentra la mayor cantidad de cada uno de los plaguicidas en cada columna a las 48 horas de desa-

rollo del ensayo. Esto permite calcular la velocidad de migración del pesticida, junto con el valor de la conductividad hidráulica (velocidad en poros) se calcula el Coeficiente de Retardo del transporte (R) en el suelo para cada uno de los plaguicidas de la siguiente manera:

$$R = \frac{\text{Velocidad en poros}}{\text{Velocidad del contaminante}} \quad \text{ecuación 2}$$

(Eweis *et al.*, 1999).

La ecuación 1 es una expresión que permite calcular los coeficientes de distribución de cada uno de los plaguicidas. Al sustituir con los valores promedio de Coeficiente de Retardo, la porosidad y la densidad, el Coeficiente de Distribución hallado para el carbofuran fue de $8,6 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ y para el imidacloprid de $5,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Este resultado permite concluir que el carbofuran tiene menor afinidad por la materia orgánica y las arcillas presentes en el suelo estudiado.

El promedio del Coeficiente de Retardo fue de 4,29 para el carbofuran, con una desviación estándar de 0,33 y un C.V. de 7,77%. El resultado promedio del Coeficiente de Retardo para el imidacloprid fue de 6,05, con una desviación estándar de 0,87 y un C.V. de 14,4% (tabla 5).

Tabla 4. Dosificación del imidacloprid (mg) por secciones.

Sección	Columna 1	Columna 2	Columna 3 (blanco)	Columna 4	Promedio
	Dosis imidacloprid mg/sección	Dosis imidacloprid mg/sección	Dosis imidacloprid mg/sección	Dosis imidacloprid mg/sección	Dosis imidacloprid mg/sección
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,63	2,13	0,00	0,19	1,32
4	0,99	0,98	0,00	1,4	1,12
5	0,00	0,00	0,00	1,14	0,38
Total mg	2,620	3,11	0,00	2,77	2,62
% Retenido columna	77,03	91,38	0,00	81,40	83,27
% Total recuperado	79,93	95,20	0,00	85,01	86,71

Tabla 5. Coeficiente de Retardo (R) de los plaguicidas estudiados.

	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4
Profundidad carbofuran (cm)	21	-	21	27
Profundidad imidacloprid (cm)	15	15	-	21
Velocidad carbofuran (mm/día)	120	-	120	160
Velocidad imidacloprid (mm/día)	86,8	86,8	-	121
R carbofuran	4,45	-	4,52	3,91
R imidacloprid	6,96	5,99	-	5,21

Los resultados del Coeficiente de Retardo muestran que el carbofuran presenta una mayor velocidad de transporte, lo que significa que se tiene un mayor potencial de contaminar las fuentes subterráneas (tabla 5). Los resultados muestran la mayor adsorción del imidacloprid debido a que los suelos estudiados presentan una carga superficial negativa debido al alto contenido de arcillas (38,16 a 40,69% de arcillas) y el imidacloprid presenta más grupos de carga positiva que el carbofuran. Lo importante del Coeficiente de Retardo calculado usando las columnas de lixiviación es que incluye en una forma precisa los efectos de la advección (velocidad media de transporte en el campo), la dispersión (trayectorias tortuosas y difusión molecular), los efectos de la adsorción en el tipo de suelos analizados, teniendo en cuenta la humedad y porosidad de este tipo de suelos; por tanto, se pueden tener condiciones de comportamiento hidráulico muy similares a las de los bloques de suelo sin perturbar en campo (Eweis *et al.*, 1999).

Flores *et al.* (2002) reportaron la realización de experimentos en columnas de suelos disturbados para la determinación de la movilidad del insecticida imidacloprid en suelos calcareos, en los cuales la elusión se realizó con una solución 0,01 M con cantidades variables de materia orgánica disuelta; los resultados mostraron que la movilidad se incrementa al aumentar la concentración del ácido tánico y las ligninas. Esto muestra que en los suelos estudiados se reduce la adsorción y se favorece la lixiviación incrementando el potencial de contaminación con la materia orgánica. En estos ensayos se obtuvieron Coeficientes de Retardo que oscilan entre 1,65 y 2,10, valores que indican una alta lixiviación. Castillo *et al.* (2003) reportaron que el carbofuran presenta una mayor retención en suelos con altos contenidos de materia orgánica; adicionalmente se determinó que en los suelos ensayados la totalidad del carbofuran había sido lixiviado en un tiempo menor a 15 días, en columnas de suelo perturbado de 20 cm.

Los anteriores antecedentes muestran que la velocidad del movimiento de los plaguicidas estudiados en los poros del suelo, están afectados por el contenido de la materia orgánica; no obstante, aún en dichas condiciones se tiene que presentan alto potencial de lixiviación, lo que confirma el alto riesgo de contaminación de los cuerpos de agua subterráneos con los plaguicidas estudiados.

Estudio de los lisímetros en campo

Durante el periodo de estudio se colectaron muestras del lixiviado dos veces por semana para su posterior cuantificación. Los datos de las concentraciones obtenidos se

multiplicaron por el volumen de la muestra de lixiviado recolectada y así se calculó el valor de la masa del plaguicida en miligramos lixiviada en el día de toma de muestra. Para poder conocer la cantidad total del plaguicida lixiviado, se calculó el valor de la masa de plaguicida que se tendría dentro del rango de los días de dos mediciones, esto se expresa de la siguiente forma matemática:

$$\frac{\text{Masa recuperada (mg)}}{\text{en un período de tiempo}} = V(t) * C(t) * \Delta t \quad \text{ecuación 3}$$

Donde:

V (t) = Volumen de lixiviado en un instante t.

C (t) = Concentración de plaguicida en el lixiviado en un instante t.

Δt = Rango de días en el que esta incluido el día del instante t (Gutiérrez, 2004).

Las figuras 1 y 2 presentan la masa de imidacloprid y de carbofuran versus el tiempo, para identificar el tiempo en cual lixivió la mayor cantidad de los plaguicidas.

Para el imidacloprid se observó que en los lisímetros LI-1 y LI-2, se obtuvo la mayor concentración de imidacloprid en el rango de los días 40 y 43,5 mientras para el lisímetro LI-3 entre los días 36,5 y 40. Al comparar el tiempo calculado con el Coeficiente de Retardo de 45,4 días, se tiene que el plaguicida eluyó entre cinco y nueve días antes de lo esperado. En la figura 1 se observaron dos puntos máximos de aparición del plaguicida, el primero corresponde al lavado inicial que arrastró al plaguicida a través de caminos preferenciales y el segundo se debió a la aparición del plaguicida que se eluyó a través del bloque de suelo en un periodo de 36,5 a 43,5 días.

En la figura 2 se observa que en los lisímetros LC-1 y LC-3 se obtuvo la mayor concentración de carbofuran en el rango de los días 30 a 33,5 mientras para el lisímetro LC-2, entre los días 33,5 y 36,5. Comparando el tiempo calculado con el Coeficiente de Retardo de 32,2 días, se tiene que el plaguicida eluyó en el periodo esperado.

Entonces se determinó que el carbofuran es eluido casi 15 días antes que el imidacloprid y que su masa recuperada es mayor. Por tanto, el carbofuran es lixiviado más fácilmente que el imidacloprid y, por tanto, representa un mayor riesgo ambiental para la contaminación de las aguas subterráneas.

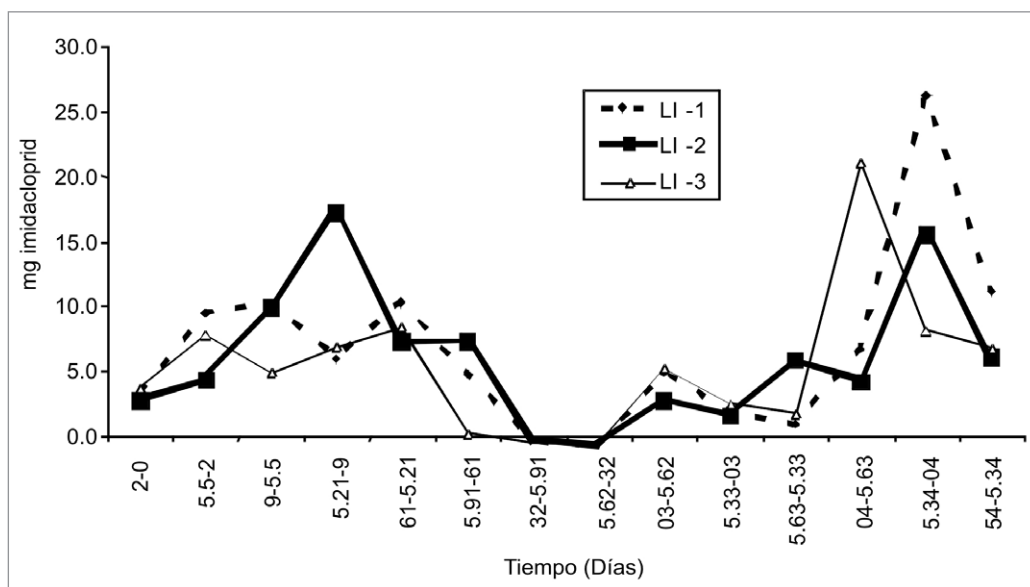


Figura 1. Masa de imidacloprid recuperado (mg/volumen de muestra recolectado) durante las mediciones.

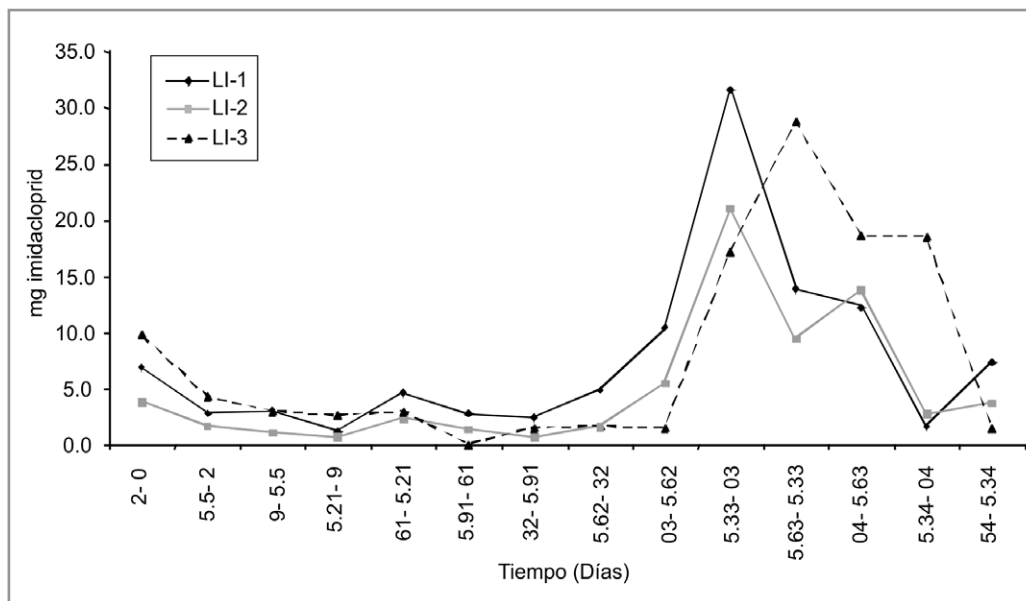


Figura 2. Masa de carbofuran recuperada (mg/volumen de muestra recolectado) durante las mediciones.

Ndongo *et al.* (2000) reportaron el estudio de la movilidad de imidacloprid y linuron en suelos de alto contenido de materia orgánica, usando lisímetros con suelo sin perturbar de una altura de 65 cm; estos ensayos mostraron que el linuron no lixivió por debajo de los 65 cm y el imidacloprid si mostró trazas en el agua percolada, paralelo al ensayo se determino hizo un estudio de trazadores el cual determinó la existencia de caminos preferenciales. Al comparar los resultados obtenidos en nuestro ensayo con la referencia, se puede presumir que la presencia de una elevada concentración de los pla-

guicidas en el lixiviado en los primeros días del ensayo se relaciona con la presencia de caminos preferenciales en los bloques de suelo (Ndongo *et al.*, 2000).

EXTOXNET (2007) reporta que los valores del Índice de Gustafson (que depende del tiempo de vida medio y del coeficiente de adsorción) para imidacloprid y carbofuran son de 3,42 y 3,89; de manera correspondiente, estos valores clasifican a los mencionados plaguicidas como sustancias que presentan una alta capacidad de lixiviación, lo cual fue confirmado a través de los ensayos realizados;

también se observa que el carbofuran presenta un valor más alto del índice lo cual esta acorde a la mayor velocidad de lixiviación que presento en los ensayos.

Conclusiones

El estudio de lixiviación en columnas de suelo mostró que el carbofuran posee un Coeficiente de Retardo de 4,29 y el imidacloprid de 6,05. Por tanto, el carbofuran se transporta más rápidamente en el suelo de la serie Melendez Typic Humitropept, de Cali (Valle).

Los ensayos de campo confirmaron el comportamiento los dos plaguicidas, determinado también en los ensayos de movilidad en columna a escala de laboratorio: el carbofuran eluyó entre los 33,5 y 36,5 días, con un porcentaje de recuperación de 46,3% y el imidacloprid eluyó entre los días 36,5 hasta 43,5, con un porcentaje de recuperación de 39,7%.

Los resultados del Coeficiente de Retardo obtenidos en los ensayos usando las columnas de lixiviación permiten calcular en un periodo de tiempo cercano el tiempo de recorrido de los plaguicidas en los lisímetros de campo y, por tanto se puede afirmar que los resultados describen de una forma precisa los efectos de la advección, la dispersión y la adsorción, lo cual permite estudiar en forma confiable el comportamiento del tránsito de plaguicidas en el tipo de suelos evaluados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle por su valioso apoyo al desarrollo de este proyecto y al Laboratorio Ambiental de la CVC por colaboración en el desarrollo del mismo.

Literatura citada

Alister, C. y M. Kogan. 2005. ERI: Environmental risk index. A simple proposal to select agrochemicals for agricultural use. *Crop Protection* 25(3), 202-211.

Alphen, V. y J. Stoorvogel. 2002. Effects of soil variability and weather conditions on pesticide leaching— A Farm-Level, Evaluation. *J. Environ. Qual.* 31, 797-805.

Capri, E. 2001. Imidacloprid and pyrimethanil soil sorption. *Agronomie* 21, 57-64.

Castillo, A., M. Delfino, M. Subovsky, S. Rodríguez, N. Fernández y J. Rojas. 2003. Movilidad de carbofuran (2,3-dihidro-2,2-di-

metilbenzofuran-7-metilcarbamato) en columnas de suelo. En: *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2003/comunicaciones/05-Agrarias/A-016.pdf>. 3p; consulta: marzo 2006.

Cogger, C.G. 1998. Transport and persistence of pesticides in alluvial soils: II. Carbofuran. *J. Environ. Qual.* 27, 551-556.

Eweis, J., S. Ergas, D. Chang y E. Schöeder. 1999. Principios de biorrecuperación. Mc Graw-Hill Interamericana, Madrid, 327 p.

EXTOXNET (Extension Toxicology Network). 2007. Profiles Oregon State University, USA. En: [http://ace.ort.edu/cgi-bin/mfs/01/pips/imidacloprid\(carbofurane\).htm](http://ace.ort.edu/cgi-bin/mfs/01/pips/imidacloprid(carbofurane).htm). 1p. Consulta: marzo 2007.

Flores, F.; E. González; M. Fernández; M. Pérez; M. Villafranca; M. Socías y M. Ureña. 2002. Effects of dissolved organic carbon sorption and mobility of imidacloprid in soil. *J. Environ. Qual.* 31, 880-888.

Granada, L.A., M. Páez y J. Lerma. 1998. Relación de la movilidad del fluometuron con la adsorción en cuatro suelos del Valle del Cauca. *Información Tecnológica* 9(4), 65-69.

Gutiérrez, Z. 2004. Selección de insecticidas usados en el cultivo de yuca, Tesis, Universidad del Valle, Cali. 150 p.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1970. Estudio semide-tallado de suelos del Valle geográfico del Río Cauca. Colombia, 582 p.

Margni M., D. Rossier, P. Crettaz y O. Jolliet. 2002. Life a cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93, 379-392.

Ndongo, B., G. Leroux y J. Fortín. 2000. Transport du linuron, d'el imidaclopride et du bromure au travers de colonnes de sol et de lysimètres drainast. *Biotechnology Agronomic Society* 4(1), 33-40.

Nemeth-Konda, L., G. Füley, G. Morovjan y P. Csokan. 2002. Sorption behaviour of acetochlor, atrazine, carbendazim, diazinon, imidacloprid and isoproturon on Hungarian agricultural soil. *Chemosphere* 48(5), 545-552.

OECD. 1999. Leaching in soil columns. Guideline 106, 13 p.

Peck, M., J. Coterrill, F. Blanco, R. Wilkins y F. Silva. 1995. Field experiments to compare the movement of diuron from wettable powder and controlled release formulations in a Brazilian soil. En: Allan Walker (ed.). *Pesticide movement to water monograph No 62*. BCPC Publications.

Perfect, E., M. Sukop y G. Hasler. 2002. Prediction of dispersivity for undisturbed soil columns from water retention parameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 696-701.

Roy, J., J. Hall, G. Parkin, C. Wagner y B. Clegg. 2001. Seasonal leaching and biodegradation of dicamba in turfgrass. *J. Environ. Qual.* 30, 1360-1370.

Suzuki, T., H. Kondo, K. Yagushi, T. Maki y T. Suga. 1998. Estimation of leachability and persistence of pesticides at Golf Courses from poiny – Source Monitoring and model to predict pesticide leaching to ground water. *Environ. Sci. Technol.* 32, 920-929.

Vilchez, J., R. El-Khattabi, R. Blanc y A. Navalon. 1998. Photochemical-fluorimetric method for the determination of the insecticide imidacloprid in waters samples. *Analytica Chimica Acta* 371, 247-253.