

Movilidad en suelos de residuos de plaguicidas (malatión)

Mobility in Soils with Pesticide (Malathion) Residues

RICARDO CAMPOS SEGURA*

ROSALINA GONZÁLEZ FORERO**

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar la movilidad en el suelo de derrames del plaguicida malatión. Para ello se realizó un derrame simulado a dos concentraciones, sin diluir en presentación comercial y en dosis recomendada para uso agrícola, con el fin de estudiar las variables físico-químicas del suelo (pH, materia orgánica, CIC y nivel de elementos nutrientes) y medir las concentraciones finales del plaguicida a diferentes profundidades (10, 17 y 25 cm) utilizando la técnica de cromatografía gaseosa. Con la profundidad, la concentración fue disminuyendo el lixiviado mucho más concentrado que diluido. Los suelos estudiados en Mosquera (Cundinamarca) y Villavicencio (Meta) contenían materia orgánica 0,72% y 5,27% respectivamente. Los niveles de materia orgánica total, N, P, S y microelementos se incrementaron a mayores concentraciones del plaguicida por su efecto sobre los componentes biorgánicos, fuera de su propia descomposición microbiana; mientras que el Ca, K, Mg y la CIC decrecieron con la profundidad y la concentración por causa del efecto de lixiviación de los líquidos plaguicidas afectando colateralmente el pH. Un efecto de fertilidad temporal alta fue detectado por incremento de componentes elementales primarios. El impacto causado por el malatión correspondió a un carácter muy tóxico.

Palabras clave: movilidad, malatión, residuos, lixiviación, cromatografía.

ABSTRACT

This work aims to study mobility in soils where the Malathion pesticide has been spilled. A spillage was simulated of two undiluted concentrations in commercial presentation and in a recommended dose for agricultural use, for the purpose of studying the physical-chemical variables (pH, organic matter, CEC and nutrient level) of the soil and measuring the final pesticide concentrations of different depths (10, 17 and 25 cm) using the gas chromatography technique. Concentration became lower with depth, the leachate much more concentrated than diluted. The organic matter percentage in analyzed soils in Mosquera (Cundinamarca) and Villavicencio (Meta) was 0.72% 5.27% respectively. The total organic matter, N, P, S and microelement levels increased at higher concentrations of the pesticide due to its effect on bio-organic components outside their own microbial decomposition. On the other hand, Ca, K, Mg and CEC levels dropped with depth and concentration, due to the leaching effect of the liquid pesticide, which had a collateral effect on the pH. A high temporal fertility effect was detected due to the increase of primary elemental components. The impact caused by Malathion corresponded to a highly toxic nature.

Keywords: mobility, Malathion, leaching, chromatography.

FECHA DE RECEPCIÓN: 8 DE AGOSTO DE 2010 • FECHA DE ACEPTACIÓN: 23 DE NOVIEMBRE DE 2010

* Ingeniero agrónomo, MSc; Profesor Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá. Correo electrónico: rcampos@unisalle.edu.co.

** Ingeniera química. Profesora, Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá. Correo electrónico: rogonzalez@unisalle.edu.co.

Introducción

La normatividad sobre residuos peligrosos —decreto 4741 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Seguridad Territorial de Colombia— reglamenta su manejo y obliga a los generadores a determinar su peligrosidad, formulando alternativas de gestión. Además, según la ley, está prohibida la quema y enterramiento de desechos y residuos peligrosos.

Los plaguicidas se clasifican de diferentes formas que van desde el componente químico estructural hasta la aplicación sobre grupos de plagas. Estos se pueden clasificar así: por plaga que controla, forma de control, grupo químico, grado de toxicidad y tipo de formulación (Arias y Rojas, 1986; OMS, 1997; Torriggino, 2003; Huici, 2004; Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas, 2007).

El principal origen de los plaguicidas en el ambiente del suelo es consecuencia de aplicaciones realizadas a nivel agrícola. Los depósitos que quedan después del tratamiento pueden variar por dosis del plaguicida aplicado y por su naturaleza química (Vallejos, 2003). Según Olivera y Rodríguez (2006), los efectos de los plaguicidas sobre el ambiente se pueden agrupar en los que ocurren a corto o largo plazo en el ambiente cercano, y a largo plazo en el ambiente lejano. Cerca al sitio donde se aplican pueden causar la contaminación del ambiente abiótico: suelos, aguas superficiales y subterráneas y aire, así como la muerte de organismos. Con aplicaciones más frecuentes o con productos nuevos, solos o combinados, se generan daños a las cadenas tróficas.

La persistencia (resistencia química a la degradación) favorece la contaminación de las aguas; la incorporación a suelos, pasturas, otros vegetales y animales ocasionan acumulación en organismos (Olivera y Rodríguez, 2006). El transporte y diseminación de contaminantes en muchos ambientes ha sido factor para su restricción en varios países (Covacci et ál., 2005).

El malatión es un insecticida sintético organofosforado que inhibe la colinesterasa de los insectos y se utiliza para el manejo de plagas. En estado puro es un líquido incoloro; en cuanto a su calidad técnica, el que contiene >90% de malatión e impurezas en un solvente, es un líquido pardo-amarillento.

La extracción de una sustancia presente en una fase sólida por una fase líquida que se pone en contacto con ella constituye la determinación de las características tóxicas de los residuos y depende del método analítico empleado. Los factores o variables que limitan el método de lixiviación están dados por: área superficial del residuo, naturaleza del fluido extractor y relación lixiviado/residuo. Así, los ensayos de extracción para caracterización de residuos incluyen caracterización de toxicidad (TC) como el método desarrollado por la EPA (1988), perfeccionado posteriormente en una prueba denominada TCLP por la EPA, y el DIN-S4 normalizado en Alemania. Las pruebas TC y TCLP utilizan un fluido extractor basado en un tampón de acético/acetato y el DIN-S4 utiliza agua destilada como fluido extractor.

Por otra parte, las pruebas de movilidad simulan condiciones de infiltración en el suelo, ya que al infiltrarse puede reaccionar con los componentes del suelo, ocasionando riesgos en salud; o pueden no reaccionar, pero infiltrar en gran cantidad de tal forma que alcance fuentes de agua subterránea. Según Duarte y Guerrero (2006), la forma más segura es la exportación, la cual genera costos altos. En este caso se partió de derrames simulados en condiciones de concentración total y de concentración agrícola, para comparar la movilidad del material diluido y puro, con la medición de la concentración final en el lixiviado utilizando la técnica de cromatografía gaseosa, lo que contribuye al conocimiento de los impactos generados por derrames y almacenamientos no controlados.

Esta investigación apoya entidades públicas al cumplimiento de la normatividad al estudiar la movilidad por lixiviación de los residuos del plaguicida malatión que, según investigaciones (Duarte y Guerrero 2006), se encuentra almacenado por incautación en grandes cantidades y en condiciones de deterioro, en las regionales del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en Mosquera (Cundinamarca) y Villavicencio (Meta).

Materiales y métodos

En Mosquera se tomaron 15 muestras, cada 100 m. a una profundidad de 20 cm. En Villavicencio se seleccionó un potrero cercano a la granja “La Libertad”, para extraer bloques de suelo; este presentaba pastura sin cultivos desde 1996; poseía un área de 4 ha con ganado controlado. Antes de muestrear se presentó un índice de precipitación alto. La temperatura fue superior a 25 °C, sin sobrepasar los 28 °C.

Se realizó muestreo compuesto en “zigzag” (IGAC, 1995); se mantuvo una distancia de 10 m entre cada punto y en total se tomaron 12 muestras.

Muestreo para análisis de movilidad (dos eventos)

Derrame de plaguicida almacenado: para simular un derrame de plaguicida tomando como base la presentación comercial más baja en estado líquido: un litro. Aplicación de plaguicida verificando la recomendación para uso agrícola, teniendo en cuenta las diluciones y comparando la movilidad del material puro y diluido.

Pruebas de campo

Mosquera. Se evaluaron diferentes profundidades y longitudes, buscando la que mejor se ajustara al proceso de lixiviación. Se tomó como base, 1 litro de insecticida a derramarse, puesto que era el envase de menor tamaño encontrado en el mercado. Las profundidades determinadas fueron de 10, 17 y 25 cm. Estas profundidades se determinaron de acuerdo con el tiempo de lixiviación, estableciendo 2 a 5 horas, para recolección de muestra, según las características físicas del suelo. Luego, se tomaron las muestras correspondientes al primer evento de derrame, con la máxima concentración de malatión (57%), muestra libre de capa vegetal y sin alteraciones en su estructura.

Villavicencio. Se descapotó el área superficial, sin alterar el suelo. Se utilizaron unidades experimentales (terrarios), para que los bloques de suelo encajaran perfectamente.

Para la determinación de altura de bloques, se realizó una prueba de lixiviación derramando un litro de agua sobre un bloque de suelo de dimensiones 25x25x25 cm, debido a que el suelo era compacto. Los 1000 ml de agua no lixiviaron, dando a entender que en la altura de 25 centímetros no se lixiviaría un plaguicida con mayor viscosidad. Se tomó otro terrario con las mismas dimensiones pero diferente altura (17 cm), arrojando un tiempo de lixiviación de 3 horas. Entonces, se decidió utilizar únicamente alturas de 10 y 17 cm.

Unidades experimentales. Las áreas de los terrarios fueron 25x25 cm, y una profundidad máxima de 25 cm con un borde libre de 3 cm contruidos en acrílico

para poder observar el movimiento del plaguicida, dejando la superficie inferior perforada para la recolección del material.

En Mosquera, se tomaron 18 muestras de 10 g, cada una en un terrario diferente para observar la diferencia de peso. Luego, cada una de las muestras se pasó por la estufa durante 2 h a 105 °C, encontrándose un rango de humedad que varió entre 13% a 15,8%.

Concentraciones utilizadas. Definidas por eventos de derrame; el primero correspondió a la máxima concentración a la cual se encontraba el insecticida en el mercado, 604 mg l⁻¹ (o mg/l). Para el segundo, se tomó como base las especificaciones de uso agrícola 604 mg l⁻¹ (o mg/l), que corresponden a aplicar 1,0 a 1,5 l ha⁻¹ (o l/Ha).

Derrames simulados. Para cada evento, en cada profundidad de suelo, se derramaron diferentes volúmenes para recoger lixiviados representativos que se pudieran leer en el cromatógrafo de gases.

Extracción de la muestra. A partir del lixiviado recogido se realizó el aislamiento del malatión mediante extracción líquido-líquido basado en la metodología descrita en el método 3510C de la EPA (2000), ajustada a las condiciones del laboratorio. La técnica utiliza el diclorometano (CH₂Cl₂) como solvente y el procedimiento se caracteriza por separar el ingrediente activo de impurezas y contenido de agua, debido a que el agua no puede involucrarse en la determinación de la concentración en el cromatógrafo de gases. Primero se estabilizó la solución (lixiviado) a un pH de 7,0 con hidróxido de sodio, y se llevaron los volúmenes de extracto a 500 ml con agua destilada; posteriormente, se efectuó la extracción para la solución anterior con 90 ml de diclorometano.

La extracción se realizó tres veces con 30 ml de solvente en cada proceso, para lograr la extracción total del plaguicida. Posteriormente, se permitió el equilibrio durante 10 minutos y luego se recolectó la fracción orgánica. Las fracciones de diclorometano fueron reunidas en una sola, sometiénolas a proceso de dilución para la determinación de malatión mediante cromatografía y detección por ionización de llama.

Para el primer evento se realizó una dilución 10 μl de muestra recolectada; después de la extracción se aplicaron 25 μl de diclorometano. Para el segundo evento no se diluyó, en razón al rango de concentración definido por la curva de calibración encontrándose entre 75 a 200 mg l^{-1} .

Lectura de muestras: Se empleó el cromatógrafo aplicando las metodologías EPA 8081, 3540 y 8141 de la Environmental Protection Agency (EPA, 1988), correspondientes a la detección de compuestos organofosforados.

El proceso cromatográfico se realizó en un equipo de cromatografía de gases Trace GC Ultra, marca Thermo Finnigan con detector de ionización de llama (GC-FID), con un autoinyector AI 3000 marca Thermo y una jeringa de inyección Hamilton de 10 μl de capacidad adaptados. La columna utilizada para la separación cromatográfica fue una capilar Restek Rtx-5 con una fase de 5% difenil-95% dimetilpolisiloxano de 30 cm de longitud, 0,32 mm diámetro interno y 0,50 μm diámetro de fase. Se realizaron 3 repeticiones y se determinó la repetitividad de las señales producidas por el plaguicida en la solución y sus tiempos de retención.

Identificación del pico-respuesta: A partir de malatión al 57 % se realizó un proceso de extracción líquido-líquido con solvente orgánico (acetona). Teniendo en cuenta una base de cálculo, cuya recuperación teórica desde la matriz original (plaguicida comercial) al solvente orgánico fuese del 100%, se prepararon soluciones de trabajo de malatión en diclorometano con una concentración de 500 y 200 mg l^{-1} . Se realizaron 3 repeticiones y se determinó la repetitividad de la señal producida por el malatión y el tiempo de retención del pico cromatográfico correspondiente. El malatión genera una señal como respuesta a su detección para soluciones de trabajo de 200 y 75 mg l^{-1} en un tiempo de 26,98 min y de 27,01 min, respectivamente.

Resultados y discusión

Se registró el desplazamiento horizontal visualmente, obteniendo una profundidad efectiva de corte con el eje vertical de cada una de las unidades de 12 a 13 cm (figura 1). Verticalmente se obtuvo el volumen del lixiviado obtenido en un rango de tiempo de recolección entre 2 y 5 horas después del derrame, cuyo dato varió en cada una de las muestras (tablas 1 y 2).

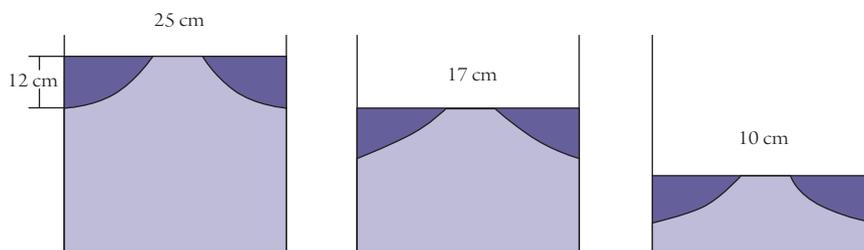


Figura 1. Desplazamiento horizontal del malatión

Fuente: elaboración de los autores.

Tabla 1. Primer evento: volúmenes de malatión recogidos a diferentes alturas después del derrame simulado utilizando la presentación comercial

ALTURA DE LA MUESTRA (CM)	REPETICIÓN	VOLUMEN APLICADO (ML)	VOLUMEN RECOGIDO (ML)
25	1	1000	32,8
25	2	1000	42,4
25	3	1000	54,5
17	1	680	45,6
17	2	680	73,4
17	3	680	58,7
10	1	400	51,4
10	2	400	46,8
10	3	400	68,1

Fuente: elaboración de los autores.

Tabla 2. Segundo evento: volúmenes de malatión recogidos a diferentes alturas después del derrame simulado (utilizando la recomendación para uso agrícola)

ALTURA DE LA MUESTRA (CM)	REPETICIÓN	VOLUMEN APLICADO (ML)	VOLUMEN RECOGIDO (ML)
25	1	1000	48,6
25	2	1000	43,4
25	3	1000	63,7
17	1	680	72,4
17	2	680	64,2
17	3	680	56,6
10	1	400	76,5
10	2	400	70,4
10	3	400	62,8

Fuente: elaboración de los autores.

Análisis por cromatografía: En el cromatograma realizado, muestra patrón (figura 2), se observa la identificación del malatión en el proceso de lectura de la muestra, así como los datos obtenidos en cada evento.

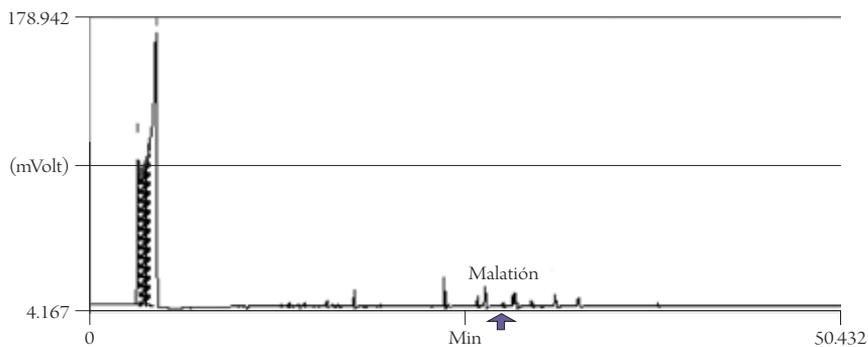


Figura 2. Muestra patrón para organofosforados

Fuente: elaboración de los autores.

Analizando las repeticiones, para cada profundidad evaluada se halló la media total aritmética (figuras 3 y 4); los coeficientes de correlación sugieren que la concentración disminuye proporcionalmente a la altura de suelo analizada, es decir, a medida que se profundiza se genera una mayor retención del material, lo que implica que el impacto será mucho más evidente en la fase sólida que en la líquida; sin embargo, las concentraciones son bastante altas.

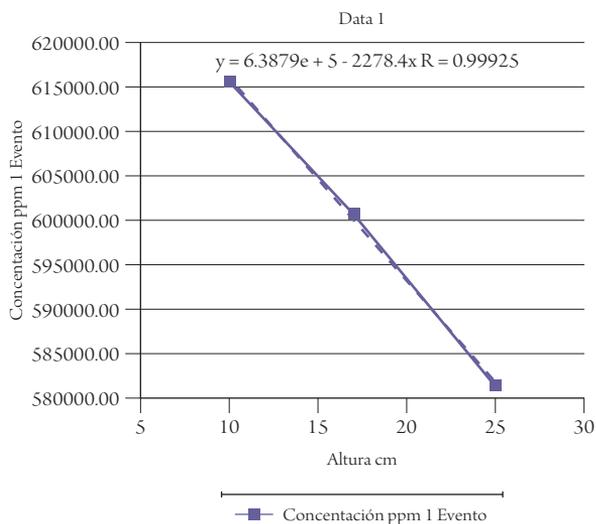


Figura 3. Concentración de malatión a diferentes alturas después del derrame simulado utilizando la presentación comercial

Fuente: elaboración de los autores.

La afectación por la variación de concentración del insecticida a profundidad del suelo es significativa, pues muestra una gran diferencia en el momento del derrame; el suelo no alcanzó a atrapar la totalidad de este, generando niveles tóxicos.

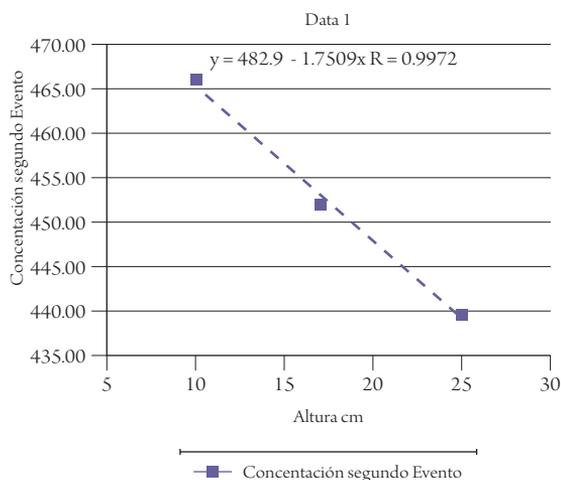


Figura 4. Concentración en mg l⁻¹ (o mg/l) de malatión a diferentes alturas después del derrame simulado utilizando la recomendación para uso agrícola

Fuente: Elaboración de los autores.

Análisis de suelos: Mediante un muestreo compuesto a partir de submuestras de cada terrario, se analizaron las muestras correspondientes a los dos eventos planteados después del derrame. El valor del pH disminuye a medida que aumenta la concentración del insecticida debido a su carácter ácido. Se obtuvieron valores: para el estudio inicial de 5,9 en el evento de concentración de 604 mg l⁻¹; en el caso de la dosis del insecticida para uso agrícola el valor fue de 5,6; para el evento de concentración 57% o máxima concentración del insecticida encontrado en el mercado fue de 5,1.

La variación de la carga superficial de los coloides del suelo influye directamente en su capacidad de interactuar con especies iónicas. La adsorción de compuestos aniónicos a óxidos metálicos aumenta al disminuir el pH como consecuencia del aumento del número de centros positivos en la superficie del óxido.

En la superficie de suelos de textura arcillosa existen cargas estáticas que resultan de sustituciones isomórficas, lo que hace que los sólidos minerales adquieran cargas influenciadas por el pH del suelo y su disociación con grupos hidroxilos de la superficie. La magnitud de la CIC tendió a disminuir con la baja del pH, coincidiendo con lo asegurado por Tahira (2007).

Los estudios totales muestran cómo se pierde la CIC, a medida que la concentración del insecticida derramado aumenta, generándose una estrecha relación con la disminución del pH. Además, la disminución de CIC puede estar influenciada por el lavado realizado, por simple lavado de cationes básicos y porque se genera una interacción de los aniones encontrados en el suelo con los componentes del insecticida, permitiendo una pérdida de la CIC. El resultado, una disminución de la fertilidad, debido a la relación directa entre el pH, la CIC y la fertilidad, medida como aporte de elementos esenciales, cuya solubilización está directamente influenciada por estos parámetros. Esto se evidencia con los valores encontrados: estudio inicial $29,6 \mu\text{mol Kg}^{-1}$; estudio concentración 604 mg l^{-1} , el valor fue $11,89 \mu\text{mol Kg}^{-1}$ y para el estudio con concentración 57% su valor correspondió a $11,74 \mu\text{mol Kg}^{-1}$. Hay que considerar que muchos pesticidas pueden ser adsorbidos entre partículas de suelo por largos periodos y una vez en el suelo pueden seguir en la cadena de alimentos causando riesgos en la salud humana y animal (McLachlan et ál., 1996).

La materia orgánica (MO) está ligada a la cantidad, tipo y actividad microbiana. El mantenimiento de la "fertilidad biológica" sugiere inalterabilidad del ambiente microbiológico y son variadas las actividades de los microorganismos del suelo afectadas (Sánchez, 2007). La MO encontrada es alta y esto podría deberse al aporte producido por la descomposición de la biota, generado por la interacción del insecticida con los ecosistemas. Además, debe incluirse el aporte de minerales por el malatión aplicado, como carboxilos e hidroxilos, en parte responsables de su CIC elevada, dependiente a su vez del pH, así como de su capacidad para acomplejar metales. Se evidencia, con los valores encontrados en los estudios realizados: en el estudio inicial 5,27%; para concentración 604 mg l^{-1} el resultado fue 5,6%, y para el estudio con concentración 57%, 6,4%.

Se evidencia el carácter muy fértil presente en el suelo antes de ser impactado por el derrame. A medida que aumenta la concentración del insecticida el suelo pierde fertilidad. Las concentraciones obtenidas muestran que aunque baja el contenido de Ca, este sigue siendo alto para los parámetros de fertilidad. Con respecto al Mg y K la baja que presenta, debido a eventos de derrame, llega a alcanzar valores de rango bajo que afectan directamente la producción agrícola. La sobresaturación de P está dada por el carácter mismo del insecticida, que es organofosforado. Estos cambios en cationes, se dan posiblemente por procesos de solubilización y arrastre, producto del lavado realizado por el insecticida.

Impacto sobre el suelo. Se presenta afectación del suelo por saturación del insecticida. Este impacto se puede generar por acumulación de desechos de plaguicidas (permeabilidad) o a la intemperie. A través de los suelos contaminados se tienen efectos sobre aguas, por el escurrimiento (arrastres) y lixiviación de plaguicidas. Otra ruta de contaminación ocurre por entierros de plaguicidas o los que son tirados en vertederos o basureros, mezclados con basura municipal. Esto representa contaminación del agua, ya que al mezclarlos con basuras o líquidos, o por sí solos, pueden generar lixiviados (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Gobierno de Nicaragua, 2003).

Impacto sobre vegetales. El malatión tiende a concentrarse en la corteza de las frutas (Elkins, 1989), y no puede ser removido con facilidad por el agua (Nath y Srivasta, 1990).

Persistencia. El malatión presenta ligera persistencia a degradación entre 15 a 30 días. Algunos estudios indican que es degradado más rápidamente en suelo que en agua (Miles y Takashima, 1991). Se estima que la vida de la molécula de malatión puro en suelo varía de 10 a 25 días (Howard, 1991). La tasa de degradación se incrementa cuando aumenta la humedad y decrece la acidez (Miles y Takashima, 1991). Por otra parte, la hidrólisis y la actividad microbiana son factores de degradación importantes y suele predominar la bacteriana (Paschal y Neville, 1976). En los ecosistemas acuáticos la vía más frecuente de degradación es la hidrólisis, o ruptura de la molécula al reaccionar con el agua; esta hidrólisis se incrementa cuando aumenta la alcalinidad (Guerrant, Fetzer y Miles, 1970) y la temperatura (Wolfe *et al.*, 1975; Montenegro, 2001).

Movilidad. Está muy relacionada con factores como solubilización, precipitación, volatilización, lavado, sorción, etc. (Sujatha et ál., 1999). En este caso se confirma la alta solubilidad en agua del malatión.

Volumen derramado. Las presentaciones del malatión son recipientes de 1 y 4 litros, y tambores de 20, 60 y 205 litros. Para este estudio se utilizó un volumen bajo (1 litro).

Como resultado del estudio ambiental total por eventos de derrame, se encontró 330 mg l^{-1} , que dentro de los rangos establecidos para efectos de este estudio, muestra el carácter muy tóxico del malatión.

Conclusiones

La concentración de malatión disminuye proporcionalmente con la profundidad del suelo, más evidentemente en la fase sólida que en la líquida. Los resultados sugieren que el insecticida lixivia fácilmente. A una profundidad de 25 cm el suelo no alcanza a retener la totalidad de malatión, siendo alta esta cantidad de lixiviado, lo que genera impacto en aguas subterráneas.

Analizando elementos mayores, se evidencia el carácter muy fértil del suelo antes de ser impactado por el malatión. Las concentraciones muestran que el contenido de Ca, Mg y K luego del derrame, alcanzan valores de rango bajo frente a los valores requeridos para la fertilidad.

El malatión lixivió una parte de los cationes de naturaleza básica como Ca, Mg y K. La sobresaturación de P está dada porque el insecticida es un organofosforado, lo que sugiere que suelos inicialmente fértiles son afectados por su derrame. Así se puede concluir que la movilidad, relacionada con la solubilidad en agua, fue elevada y asimismo fue evidente la ecotoxicidad del malatión frente a los organismos encontrados.

Referencias

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2003). *Toxicological Profile for Malathion*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, GA, U.S.
- Arias, J. A. y Rojas, D. (1986). *Clasificación toxicológica de los plaguicidas*. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. En: <http://www.rap-al.org/v2/index.php?seccion=4&f=toxicidad.php>; consulta: mayo de 2010.
- Covacci, A. et ál. (2005). Polybrominated diphenil ethers, polychotinated biphenils and organochlorine pesticides in sediments cores from the Western Scheldt river (Belgium): analytical aspects and depth profiles. En: *Environment International*, 31, 367-375.
- Duarte, C. A. y Guerrero, N. (2006). *Evaluación de alternativas de manejo para eliminación de plaguicidas obsoletos existentes en el ICA. Análisis de caso*, ICA, Bogotá.
- Elkins, E. R. (1989). Effect of commercial processing on pesticide residues in selected fruits and vegetables. En: *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 72 (3) 533-535.

- Environmental Protection Agency (1988). *Pesticides in ground water data base: 1988 Interim Report*. Office of Pesticide Programs, Washington D.C.
- Environmental Protection Agency (2000). *Malathion Phase 4 Response*. From Paula A. Deschamps, Risk Assessor, registration Branch 2, Health Effects Division (7509C), Memorandum, Washington, 6th October 2000, 27.
- Guerrant, G. O.; Fetzer-Jr. L. E. & Miles, J. W. (1970). *Pesticide Residues in Hale County, Texas, Before and After Ultra-Low Volume Aerial Application of Malathion*. Pesticides Monitoring J. 4 (16), 14-20.
- Howard, P.H. (1991). Ed. Handbook of Environmental Fate and Exposure Data for Organic Chemicals. En: *Vol. 3: Pesticides*. Lewis Publishers, Chelsea, MI, 5-13.
- Huici, R. O. (2004). *El mundo de los Plaguicidas. Fundamentos Técnicos para el uso y manejo de los plaguicidas Plagbol*. La Paz, Bolivia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1995). *Suelos de Colombia, origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá.
- Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas (2007). *Lección 22. Plaguicidas*. Grupo de Investigación de Recursos Hídricos, adscrito a la Universidad Jaime I de Castellón, España.
- McLachlan, M.S.; Horstmann, M. & Hinkel, M. (1996). Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in sewage sludge: sources and fate following sludge application to land. En: *The Science of the Total Environment*, 185, 109-123.
- Miles, C. J. & Takashima, S. (1991). Fate of malathion and O,O,S-trimethyl phosphorothioate by-product in Hawaiian soil and water. En: *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 20 (3), 325-329.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Gobierno de Nicaragua. (2003). Congreso de plaguicidas, efectos de los plaguicidas en el suelo. Managua, Nicaragua.
- Montenegro, R. A. (2001). Informe sobre los riesgos sanitarios y ambientales del malathión, Córdoba, Argentina.
- Nath, G. & Srivasta. M. K. (1990). Effect of processing on the removal of Malathion from treated cabbages Brassica oleracea L. Var. Capitata. En: *Indian J. Ent.*, 52 (2), 300-309.
- Olivera, B. S. y Rodríguez, D. (2006). *Plaguicidas, Salud y Ambiente*. Laboratorio de Neurociencia Molecular (Pediciba) Departamento de Neuromiología, Instituto Clemente Estable. *Revista Posdata*. Uruguay. En: <http://www.iibce.edu.uy/posdata/dril.htm>; consulta: octubre de 2006.
- Organización Mundial de la Salud (1997). *The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification*. International Programme of Chemical Safety. Geneva: WHO, 1996-1997.

- Paschal, D. C. & Neville, M. E. (1976). Chemical and microbial degradation of malaoxon in an Illinois soil. En: *Environ. Qual.* Vol., N.º 5, pp. 441-443.
- Rodríguez, F. A. et ál. (2006). *Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*. [en línea] Informe de Vigilancia Tecnológica. Fundación para el conocimiento. Madrid. CEIM. España. Recuperado de [http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/Publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.pdf](http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/Publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos%20avanzados%20de%20aguas%20residuales%20industriales.pdf); consultado en noviembre de 2006.
- Sánchez, J. V. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas.
- Sujatha, C.H.; Nair, S.M. & Chacko, J. (1999). Determination and Distribution of Endosulfán and Malathion in an Indian Estuary. En: *Wat. Res.* Vol. 33, N.º 1, pp. 109-114.
- Tahira, A. A. G. (2007). *Estigmatización de la contaminación ambiental por plaguicidas en suelos agrícolas de la Isla de Pascua*. Universidad de Chile, Chile.
- Torriginio, A. (2006). UBA. Departamento de Toxicología de Municipalidad de Pergamino. Área Municipal de Epidemiología. Provincia de Córdoba, República Argentina, 2003. En: <http://www.inta.gov.ar/PARANA/info/documentos/suelos/contamina/torriginio.pdf>; consultado en octubre de 2006].
- University of Vermont, Genetics Laboratory (1996). En: *Cancer Research* 56, 2393-2399.
- Vallejos, M. A. (2003). *Efectos de los Plaguicidas en el Suelo*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. [en línea] Centro de Capacitación Olofito Managua. Nicaragua. En: <http://www.rlc.fao.org/prior/comagric/codex/pdf/impnic.pdf>; consultado en octubre de 2006.
- Wolfe, N. L. et ál. (1977). Kinetics of Chemical Degradation of Malathion in Water. En: *Environ. Sci. Technol.* 11 (1), 88-93.

