



Biodegradación del malatión utilizando microorganismos nativos de suelos agrícolas [□]

Malathion biodegradation in agricultural soils using native microorganisms

Degradação do malation utilizando microorganismos nativos de solos agrícolas

Roberto Mosquera B^{12*}, Ing Agrícola, MSc; Gustavo A Peñuela M¹³, Quím, MSc, PhD.

¹ Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación, GDCON, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. AA.1226, Medellín, Colombia.

² Docente Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. AA. 1226, Medellín, Colombia

³ Docente Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

(Recibido: 8 noviembre, 2007; aceptado: 12 marzo, 2009)

Resumen

La degradación del plaguicida malatión con microorganismos nativos de un suelo agrícola fue estudiada tanto en condiciones de laboratorio como en campo. En campo se realizó en un suelo de una zona destinada a la ganadería de leche y al cultivo de hortalizas, localizada en el municipio de Caldas, al sur del valle de Aburrá, Antioquia, Colombia. Se cuantificó la desaparición del malatión y la formación del principal metabolito, el malaoxón, para lo cual se validó un método analítico, que incluyó la extracción del suelo y la cuantificación del plaguicida y metabolito por cromatografía de gases. La extracción se realizó por agitación mecánica rotativa usando acetato de etilo, y la cuantificación se hizo en un cromatógrafo HP 6890 plus, acoplado a un detector de microcaptura de electrones con inyector automático, obteniéndose recuperaciones en promedio de 89.4% para el malatión y de 93.8% para el malaoxón. En el período de experimentación de 35 días, la degradación del malatión en el laboratorio fue en promedio de 81.6% para la mayor concentración utilizada (2.50 µg/g de suelo), con respecto a la dosis inicial aplicada. De este valor, el 51.3% corresponde a la degradación microbiana y el restante a procesos abióticos. En condiciones de campo durante 21 días, se obtuvo una degradación en promedio de 74.8% con la dosis utilizada (1.50 µg/g de suelo). También se realizó el recuento de microorganismos del suelo determinándose en promedio 6.8×10^5 UFC/g suelo.

Palabras clave: *degradación, malatión, plaguicidas.*

□ Para citar este artículo: Mosquera RB, Peñuela GA. Biodegradación de malatión utilizando microorganismos nativos de suelos agrícolas. Rev Colomb Cienc Pecu 2009; 22: 189-198

* Autor correspondencia: Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera 75 No 65 -87, Ciudadela Robledo, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Email: rmosquerab@yahoo.com

Summary

The degradation of the malathion pesticide by native microorganisms in an agricultural soil was studied in both laboratory and field conditions. The field study was conducted in a specific area in Caldas (municipality located in the south of the valle de Aburrá, department of Antioquia, Colombia) designated for dairy cattle and vegetable crop. Malathion disappearance and the formation of its main metabolite (malaaxon) were quantified utilizing an analytical method that included a soil sample extraction and pesticide and metabolite quantification by gas chromatography. The extraction was conducted by mechanical shaking with ethyl acetate, and the quantification was performed using a chromatographer connected to a micro-electron capture detector with an automatic injection system. Recoveries were 89.4% for malathion and 93.8% for malaaxon. In the laboratory (35 days, 2.50 µg/g of soil), malathion degradation was 81.6%. 51.3% of this value corresponded to microbial degradation, and the rest was due to losses associated with physicochemical processes. Under field conditions (21 days, 1.50 µg/g), an average degradation of 74.8% was obtained. Counting of soil microorganisms was 6.8×10^5 CFU/g soil.

Key words: degradation, malathion, pesticides.

Resumo

A degradação do praguicida Malation com microorganismos nativos dum solo agrícola foi estudada, em condições do laboratório e campo. Em campo foi realizado em uma região produtora de leite e de cultivares de hortaliças, localizada no município de Caldas, ao sul do Vale de Aburrá, Antioquia, Colômbia. Foi quantificada a desapareição do Malatión e a formação do principal metabolito, o Malaaxon, para o qual se validou um método analítico, que incluiu a extração do solo e a quantificação do praguicida e metabolito pelo método de cromatografia de gases. A extração foi realizada por agitação mecânica rotativa usando acetato de etilo, e a quantificação foi realizada num cromatógrafo HP 6890 plus, obtendo-se em média: 89.4% para o Malation e 93.8% para o Malaaxon. No período de experimentação de 35 dias, a degradação do Malation no laboratório foi em média de 81.6% para a maior concentração utilizada (2.50 µg/g de solo), com respeito à dose inicial aplicada. Deste valor, o 51.3% corresponde à degradação microbiana e o restante a processos abióticos. Em condições de campo durante 21 dias, foi obtida uma degradação de 74.8% com a dose utilizada (1.50 µg/g de solo). Também foi realizado um recuento de microorganismos de solo determinando-se 6.8×10^5 UFC/g solo em média.

Palavras chave: degradação, malation, praguicidas.

Introducción

En la protección de la producción agropecuaria, los plaguicidas han sido usados abundantemente en el control de las plagas; sin embargo, se ha abusado de ellos, en especial los insecticidas, herbicidas y fungicidas de amplio espectro en las actividades agropecuarias. Algunos de estos compuestos son muy persistentes, poco solubles en agua y muy tóxicos. Además, cuando pierden su eficacia en la protección de cultivos, se reemplazan por otros más tóxicos, creando un mayor riesgo a la salud de los cultivadores. Los plaguicidas pueden dejar residualidad en los alimentos, perder eficacia por desarrollo de resistencia a estos productos químicos dando como consecuencia la aparición de nuevas

plagas que incrementan los costos de producción de cultivos, son compuestos que pueden destruir la fauna silvestre, ofrecer riesgos de intoxicación y efectos contaminantes en suelos y ecosistemas acuáticos, así como de consecuencias nocivas en la salud de las poblaciones afectadas.

El malatión es un insecticida organofosforado catalogado toxicológicamente en la categoría III (5), siendo los organofosforados tóxicos activos, que al ser ingeridos o inhalados pasan rápidamente al torrente sanguíneo, y su acción a la inhibición de la acetilcolinesterasa, afectando el sistema nervioso en los humanos (2). En general, son de más alta toxicidad aguda, ya que algunos son potencialmente inhibidores de la enzima colinesterasa (5).

El malatión como otros plaguicidas, es susceptible de sufrir transformaciones físicas, químicas y biológicas al estar expuesto al ambiente. La ruta primaria de la disipación del malatión en el suelo parece estar mediada microbiológicamente por metabolismo aeróbico. La ruta de degradación del malatión, en su interacción con la biomasa bacteriana en productos solubles en agua fue reportada en 1991 (16), y cuyos resultados experimentales sugieren que el malatión es absorbido y químicamente descompuesto por la biomasa microbiana. Estudios realizados (11) en seis plaguicidas, indicaron que la biodegradación en el suelo fue llevada a cabo tanto por hongos como por bacterias, y en la que se comprobó la mineralización del carbofurán y el malatión. En otro estudio, nueve plaguicidas fueron sometidos a ensayos de biodegradación como un soporte para determinarles la persistencia en el suelo para lo cual se apoyaron en la información de la literatura acerca de la persistencia de estos plaguicidas en el suelo, comprobándose que la mayor degradación ocurrió

con el captan (100%) y el malatión (93.1%) (10). La biodegradación del malatión usando el hongo *Fusarium* sp, (9), ocurrió a altas tasas de degradación mediante dos enzimas lipolíticas, la cutinasa y la esterasa. La tasa de degradación del malatión por la cutinasa fue sorprendentemente más alta que con la estereasa, alcanzándose un 60% de degradación, usándose una concentración inicial de 500 mg/l de plaguicida.

La degradación de compuestos organofosforados bajo diversas condiciones y en diferentes matrices ha sido investigada, sin embargo, no es común identificar los metabolitos presentes en aguas, suelos y plantas porque se ha dado prioridad al monitoreo de los plaguicidas, lo cual es un error, ya que estos pudieran ser degradados o ser menos tóxicos que los metabolitos.

En la figura 1 se muestra la estructura química del malatión y del malaoxón, su principal metabolito, y en la tabla 1 las propiedades físicas del malatión.

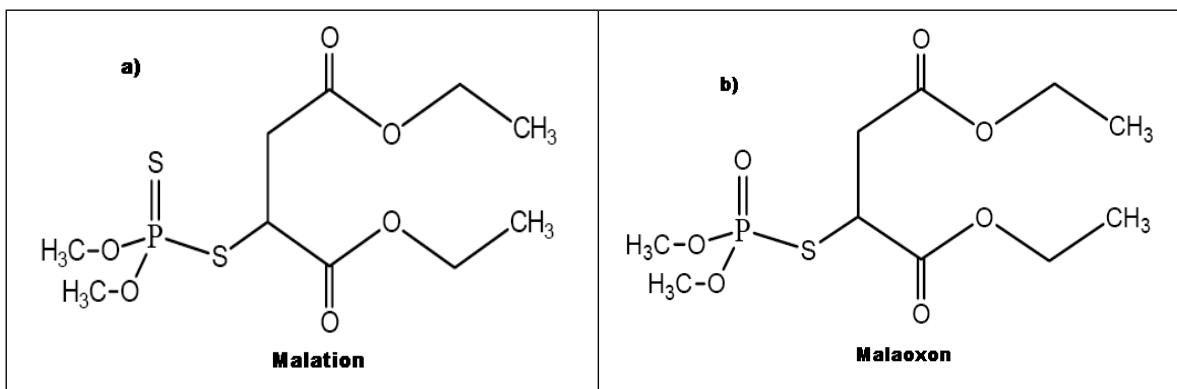


Figura 1. a) estructura química del malatión. b) estructura química del malaoxón. (United States Enviromental Fate of Malathion, US EPA, 2006).

En nuestro país se dificulta la evaluación riesgo-eficacia de los plaguicidas y la implementación de planes de remediación de suelos utilizando tecnologías amigables con el ambiente debido a que no hay legislación de máximos residuos

de plaguicidas en el suelo, y financiación para realizar biorremediación. Con el presente trabajo se pretendió la degradación del malatión en un suelo agrícola utilizando microorganismos nativos de esa misma matriz.

Tabla 1. Propiedades físicas del malatión (NPIC 2001).

Propiedad	Valoración
Fórmula empírica	$C_{10}H_{19}O_6PS_2$
Nombre químico	O O dimetil fosforoditioato de dietil mercapto succinato
Peso molecular	330.36 g/mol
Densidad a 20 °C	1.2076 g/cm ³
Punto de ebullición	156-157°C a 0.7 mm Hg
Punto de fusión	2.85°C
Solubilidad	Aproximadamente 145 ppm en agua a 25 °C
Presión de vapor	1.78×10^{-4} mm Hg a 25 °C

Materiales y métodos

La biodegradación del malatión se estudió en condiciones de laboratorio y de campo, esta última en una parcela experimental del Centro Nacional Agropecuario La Salada del SENA, localizado en el municipio de Caldas, Antioquia. El área de estudio pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo montano bajo (bmh – MB), de acuerdo con la caracterización ecológica de Holdridge (6), ubicada a una altitud de 1860 msnm. Esta formación ecológica tiene una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C. El suelo tiene un uso destinado hacia la producción de leche y a los cultivos de hortalizas.

Durante la investigación se desarrollaron las siguientes actividades: 1) muestreo y caracterización fisicoquímica del suelo, 2) validación de la técnica analítica, 3) biodegradación en el laboratorio, 4) biodegradación en el campo, y 5) recuento de microorganismos del suelo.

Caracterización del suelo

A las muestras de suelo estudiado se le determinaron las características fisicoquímicas, siguiendo las pautas del Soil Survey División Staff SSDS, (1993). Se comprobó la presencia de trazas de malatión (0.017 µg/g de suelo), probablemente por la residualidad de aplicaciones del producto durante la cosecha. El suelo se caracteriza por presentar baja acidez, alto contenido de materia orgánica poco humificada, baja fertilidad, bajo contenido de bases y de fósforo disponible.

Validación de la técnica analítica

La validación de la técnica analítica se hizo de acuerdo con los procedimientos de la Asociación Española de Farmacéuticos de la Industria (1). Se enriquecieron muestras de suelo con malatión comercial, en concentraciones de 0, 0.125, 0.50 y 2.50 µg/g de suelo, realizando monitoreos durante cinco semanas. En el ensayo de campo se usó una concentración del producto comercial correspondiente a 1.50 µg/g de suelo. La extracción del plaguicida se realizó por agitación mecánica rotativa usando acetato de etilo como solvente extractor y la cuantificación se hizo por cromatografía de gases, usando un equipo HP 6890 plus acoplado a un detector de microcaptura de electrones (µ-ECD), con las condiciones cromatográficas presentadas en la tabla 2.

Experimentación de biodegradación

En el Laboratorio. A 2.0 kg de suelo proveniente del horizonte superficial de la parcela establecida para la experimentación de campo, se le adicionó cal y el fertilizante “Triple 15”, con el propósito de mejorar las condiciones de fertilidad para la actividad microbiana y simular las condiciones de la parcela experimental. De acuerdo con el diseño experimental, para cada tratamiento y sus controles (0, 0.125, 0.50 y 2.50 µg/g de suelo), se colocaron 10.0 g de suelo en un erlemeyer y se le agregaron 5.0 mL de la solución que contenía el plaguicida. Se realizaron las extracciones utilizando la agitación mecánica, luego la rotaevaporación y se hicieron los análisis correspondientes en los tiempos establecidos (1, 7, 14, 21 y 30 días).

Tabla 2. Condiciones cromatográficas en la experimentación.

Propiedad	Valoración
Gas portador	Helio
Flujo por columna	2.8 mL/min
Temperatura del detector	300 °C
Temperatura del inyector	290 °C
Temperatura inicial	80 -180 °C, 30 °C/min
Temperatura final	180 – 200 °C, 3 °C/min
Modo de inyección de la muestra	Automático
Tiempo de análisis	8.7 minutos
Gas auxiliar	Nitrógeno

En Campo. A una parcela de 200 m², se le ajustó el pH a 7.0, adicionando cal y se le agregó el fertilizante triple quince (15-15-15). Luego se le aplicó al suelo una concentración única del plaguicida comercial, de 1.5 µg/g, de acuerdo con el diseño experimental utilizado. Las muestras se tomaron a los 1, 3, 7, 14 y 21 días para realizar las extracciones y análisis cromatográficos.

Recuento e inhibición de microorganismos del suelo

Para los recuentos se hicieron cultivos en diluciones seriadas del suelo en agua con soluciones buffer salino preparadas con K₂HPO₄, KH₂PO₄ y NaCl, y para la siembra se usó como medio de cultivo agar nutritivo con malatión, realizándola sobre cajas de petri con una distribución homogénea sobre toda la superficie del plato en una cámara de flujo laminar, y finalmente las cajas de Petri se transfirieron a la incubadora y se mantuvieron a 28 °C. El conteo se expresó como el número de Unidades Formadoras de Colonia totales por gramo de suelo (UFC/g suelo). Se tomaron tres réplicas de muestras tanto en el laboratorio como en el campo, equivalentes a 10.0 g de suelo en base seca y se depositaron en un recipiente estéril. Los medios se prepararon y esterilizaron a 120 °C durante 20 minutos, para determinar el porcentaje de inhibición, luego los medios se enriquecieron con diferentes dosis de malatión comercial esterilizado previa filtración ($\phi = 0.45 \mu\text{m}$), siendo así el plaguicida la principal fuente de carbono. A la concentración de 0 ppm de malatión se le adicionó D (+) glucosa como fuente de carbono.

Análisis estadístico

En el Laboratorio. Para el análisis de la variable concentración de malatión en el laboratorio se empleó un diseño en bloques aleatorizado para cada fecha, de efecto fijo, balanceado con cuatro replicas por tratamiento y con cinco fechas de evaluación. El bloque fue la fecha en que se evaluó la unidad experimental (días), y los tratamientos fueron las concentraciones aplicadas (µg/g suelo) a las muestras de suelo sin esterilizar y los controles (muestras de suelo esterilizado) con concentraciones de plaguicida. Como variable respuesta se midió la concentración de plaguicida (µg/g suelo) semejante a los ensayos de degradación y recuento de microorganismos (UFC/g suelo). Se aplicó la prueba de comparación de Tukey, al igual que el análisis descriptivo por dosificación y período de tiempo.

En Campo. Se realizó el análisis experimental con base en un diseño en bloques aleatorizados generalizados, con las fuentes de variabilidad, tratamiento y período. Se emplearon cuatro replicas por tratamiento, siendo el diseño de clasificación de efecto fijo, balanceado, donde se validaron los supuestos estadísticos asociados al modelo: errores experimentales normalmente distribuidos, aleatorios e independientes, homogeneidad de varianzas, aditividad del modelo, no relación de media y varianzas. Para contrastar el efecto promedio de los tratamientos se empleó la prueba de Tukey con base en un 95% de confiabilidad. También se realizó un análisis descriptivo exploratorio de tipo unidimensional para establecer la media aritmética,

la desviación estándar y el coeficiente de varianza por tratamiento. Esto fue complementado con el análisis gráfico. En general, se utilizaron los siguientes modelos estadísticos:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + p_j + \epsilon_{(ij)}$$

Y_{ij} : variable respuesta asociada a la concentración, μ : efecto promedio, T_i : efecto del tratamiento,

P_j : efecto del período, $\epsilon_{(ij)}$: error experimental,

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{(ij)}$$

Y_{ij} : variable respuesta asociada a la UFC/g suelo, μ : efecto promedio, τ_i : efecto del tratamiento, $\epsilon_{(ij)}$: error experimental.

Resultados

Caracterización del suelo

El suelo se caracteriza por presentar baja acidez, alto contenido de materia orgánica poco humificada, y baja fertilidad (tabla 3). Bajo contenido de bases y de fósforo disponible.

Tabla 3. Características del suelo utilizado.

Parámetro	Horizonte A , húmedo
Textura	FL
Densidad aparente g/cm ³	0.72
Humedad %	54.66
pH	6.83
Materia orgánica %	28.70
Nitrógeno %	6.13
Fósforo (ppm)	2.94
K (meq/100gr)	1.00
Ca (meq/100gr)	4.06
Mg(meq/100gr)	0.30
Na (meq/100gr)	0.07

Validación de la técnica analítica

Se validó el método analítico incluyendo la extracción y el análisis cromatográfico del malatión en el suelo obteniéndose recuperaciones en promedio de 89.4% para el malatión y de 93.8% para el malaoxón, cuyos porcentajes de

recuperación del plaguicida y del metabolito son muy apropiados en la cuantificación de estos dos compuestos en el suelo. En la figura 2 se muestra un cromatograma obtenido a partir de una mezcla de estándares, en el que el pico de 8.7 minutos corresponde al malatión y el de 7.7 minutos corresponde al malaoxón.

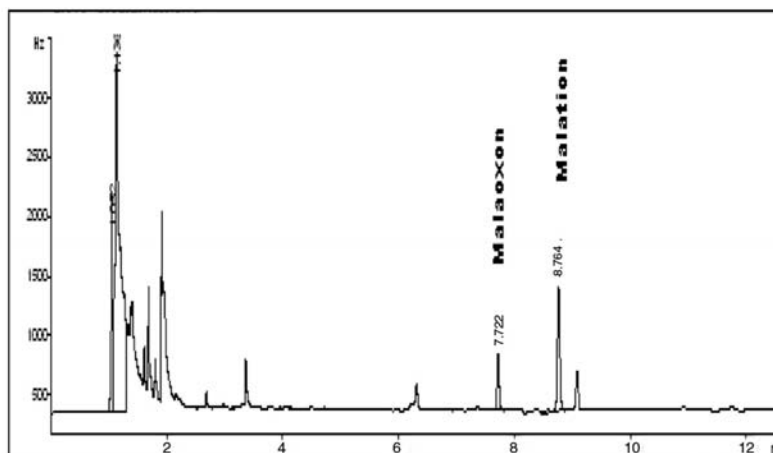


Figura 2. Cromatograma de la mezcla de estándares de malatión y de malaoxón en una concentración de 100 ppb, respectivamente.

Biodegradación

Bodegradación en el laboratorio. En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos para la degradación total del malatión incluyendo procesos abióticos y degradación microbiana, usando concentraciones de 0, 0.125, 0.50, 2.50 $\mu\text{g/g}$ de suelo. En general, durante el período de experimentación de 35 días, el mayor porcentaje de degradación del plaguicida se obtuvo con la concentración de 2.50 $\mu\text{g/g}$ de suelo (tratamiento T4), la cual fue en promedio del 81.6%, con respecto a la dosificación inicial aplicada, seguida del tratamiento T3 (0.50 $\mu\text{g/g}$ de suelo) que tuvo un porcentaje de degradación en promedio del 78.9% con respecto a la aplicación inicial. El tratamiento que menor degradación presentó al final del ciclo experimental fue T2 (0.125 $\mu\text{g/g}$ de suelo), con el que se obtuvo un porcentaje de 40.4% al compararlo con la dosificación inicial aplicada.

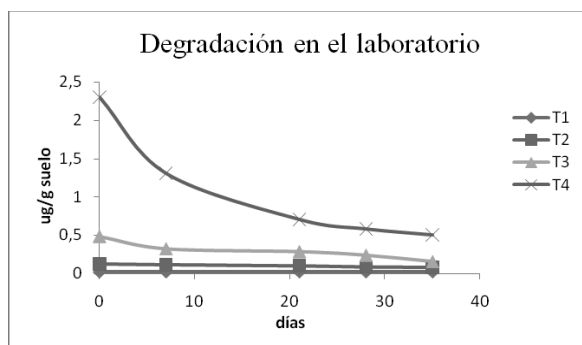


Figura 3. Degradación de malatión en suelo tratado con T1 (0 $\mu\text{g/g}$); T2 (0.125 $\mu\text{g/g}$); T3 (0.50 $\mu\text{g/g}$); T4 (2.50 $\mu\text{g/g}$).

Biodegradación en campo. En la experimentación de campo se asumió que el 50% del malatión aplicado fue a dar al suelo, mientras que el otro 50% fue interceptado por la vegetación, con base a los estudios reportados (4). En la figura 4, se muestra la degradación del malatión y la detección de su principal metabolito, el malaoxón, obtenida en condiciones de campo durante 21 días de experimentación, con la concentración de 1.50 $\mu\text{g/g}$ de plaguicida. La degradación del malatión en promedio fue de 74.8%. El malaoxón detectado fue 5.64% con respecto al malaoxón teórico formado como si la desaparición total del malatión hubiera ocurrido por biodegradación microbiana. No obstante, la disipación del malatión en campo es debida también a procesos fisicoquímicos ocurridos en

el suelo. Además, se observa que a medida que se degradaba el malatión se formaba malaoxón y probablemente otros metabolitos, que no fueron identificados en el presente trabajo, de acuerdo con las rutas de degradación del malatión reportadas (8). La baja cantidad de malaoxón detectado indica probablemente que a medida que se formaba rápidamente se degradaba.

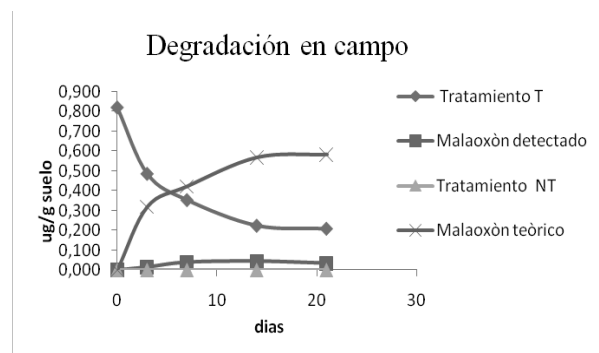


Figura 4. Degradación de malatión y formación de malaoxón en condiciones de campo.

Recuento de microorganismos del suelo

En la figura 5 se presentan las UFC totales/g a diferentes concentraciones empleadas de malatión en función del día de muestreo en el suelo. Los mayores valores de UFC/g se registraron a los tres días y la concentración de 0,125 $\mu\text{g/g}$ suelo; igualmente los menores valores de UFC/g suelo coinciden con la mayor concentración (2,50 $\mu\text{g/g}$ suelo). Se observa que el descenso más notable en el porcentaje de degradación del malatión en todas las concentraciones ocurrió antes de los siete días de aplicación del plaguicida, lo que coincide con los mayores valores de UFC/g de microorganismos para el suelo estudiado.

Al efectuar el análisis estadístico de los resultados con suelo sin esterilizar y esterilizado, se destaca: lo siguiente:

En el suelo con microorganismos (no esterilizado) se presentó diferencia estadística entre el tratamiento T4 con respecto a los demás tratamientos en el primer período ($p < 0.05$), hecho que se repitió para los demás períodos evaluados, anotando que el tratamiento T4 en los distintos períodos de evaluación fue el que más degradación acumulada presentó, seguido del tratamiento T3.

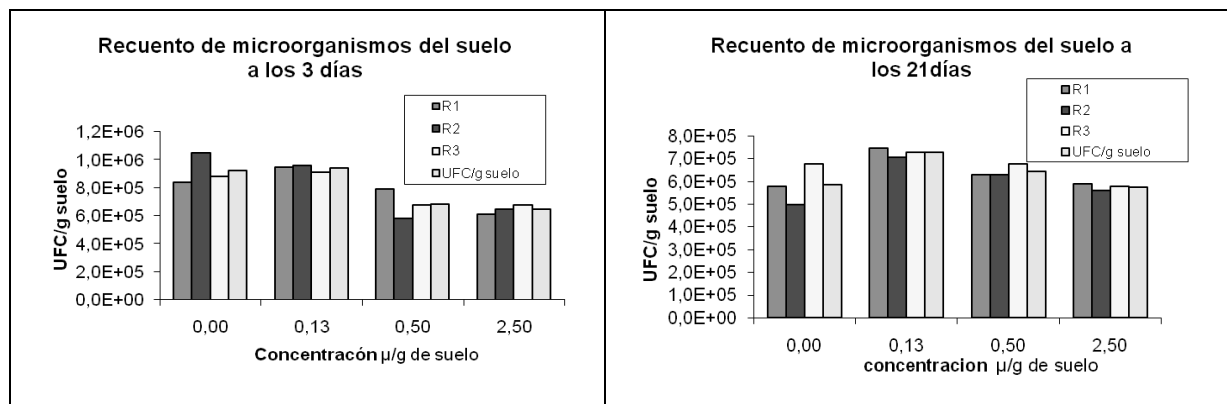


Figura 5. Recuento de microorganismos del suelo a diferentes concentraciones de malatión.

El análisis también permitió observar que el tratamiento T4 presentó la mayor heterogeneidad en las distintas repeticiones para los dos primeros períodos de evaluación disminuyendo en forma ostensible para los períodos 3 y 4, incrementando su variabilidad para el último período.

En el suelo sin microorganismos (controles), el análisis permitió detectar diferencia estadística entre el tratamiento T4 con respecto a los demás tratamientos ($p < 0.05$) para todos los períodos evaluados. De igual forma se aprecia homogeneidad en el primer período para todos los tratamientos, donde en el segundo período el tratamiento T1 (testigo) se incrementó notoriamente la variabilidad asociada a las distintas repeticiones estabilizándose para el cuarto y quinto período con un coeficiente de variación de 4%. Adicionalmente, se pudo apreciar que el tratamiento testigo presentó diferencia estadística para el período 1 y 2 con los demás tratamientos ($p < 0.05$) donde para el período 3 en adelante no presentó diferencia con respecto al tratamiento T2 ($p > 0.05$).

Discusión

Al analizar los resultados referentes al porcentaje de desaparición del plaguicida en el suelo se observa que estos incrementaron cuando la dosificación aplicada al suelo fue mayor. En los tratamientos T3 y T4 predominó la degradación microbiana, es decir, los microorganismos presentes en el suelo son los mayores responsables de la degradación, lo que no ocurrió con el tratamiento T2 que por

la baja dosificación predominó probablemente la volatilización. Por lo tanto, comparando los resultados de los suelos sin esterilizar (tratamientos) con los esterilizados (controles) se comprueba que el malatión desapareció no solamente por procesos de biodegradación, sino también por otros procesos como volatilización o hidrólisis (pH del suelo ácido). Sin embargo, con las concentraciones de 0.50 µg/g y 2.50 µg/g se observa que el proceso dominante es la biodegradación. Adicionalmente, se pudo apreciar que en el primer período la desaparición del plaguicida es notoria y a medida que avanza el tiempo se vuelve lenta, es decir se reduce la velocidad de degradación del plaguicida, esto es explicable porque los procesos bioquímicos son dependientes de la concentración (7), de acuerdo con la ecuación que describe la disipación en el tiempo de un plaguicida al ser aplicado al suelo (12): $C = C_0 e^{-kt}$. Donde C es la concentración del plaguicida a un determinado tiempo t, C_0 es la concentración inicial y k es la tasa de disipación o degradación del plaguicida, y que es proporcional a la concentración del plaguicida. Tal como lo muestra la ecuación, la degradación del plaguicida fue exponencial, como son normalmente las biodegradaciones, alcanzando valores de vida media de 10 días para la concentración de 2.50 µg/g de suelo (tratamiento T4), 27 días para 0.50 µg/g de suelo (tratamiento T3) y 35 días para 0.125 µg/g de suelo (tratamiento T2).

La degradación del malatión también depende de la flora microbiana y de las características del suelo, como presencia de nutrientes y de materia orgánica disponible en los suelos. La cantidad de materia orgánica en la parte superior del perfil fue alta (hasta

28.7%), disminuyó con la profundidad hasta valores de aproximadamente 6%. No obstante, en el suelo usado en el presente trabajo, la materia orgánica no está fácilmente disponible porque esta adsorbida al material alofánico (complejo aluminio-silicato amorfo) del suelo, lo cual sugiere una actividad moderada de los microorganismos en este tipo de suelos, particularmente en el horizonte superficial, y aun más que dicho suelo corresponde a clima frío y de zonas con gran acidez. A pesar de ello, los microorganismos fueron capaces de degradar el plaguicida.

En general, para el suelo sin microorganismos existió mayor homogeneidad en los distintos tratamientos a través del tiempo lo que indica que la presencia de microorganismos en el suelo hace que el efecto del tratamiento presentará mayor heterogeneidad ante las distintas dosificaciones del plaguicida. El análisis conjunto donde se incorporó como fuente de variabilidad el tipo de suelo (esterilizado, sin microorganismos, y sin esterilizar, con microorganismos), el tratamiento y el período, permitió detectar diferencia estadística entre el suelo sin microorganismos con respecto al suelo con microorganismos ($p < 0.05$). En conclusión, si no hay microorganismos es mucho más lenta la degradación del malatión en el suelo.

Al efectuar el análisis de la varianza a través del tiempo, se detectó diferencia altamente significativa entre la aplicación (Tratamiento T) y la no aplicación (Control, Tratamiento NT) ($p < 0.01$); adicionalmente, se encontró una diferencia estadística en el efecto del período 1 con respecto a los demás períodos ($p < 0.05$), ya que hubo una disminución mucho más rápida del malatión por la mayor concentración del plaguicida en este periodo, y en cambio a partir del período 2 la disminución fue más lenta. Se observa que la concentración del malatión durante todas las muestras tomadas al control a lo largo del tiempo fue parecida al valor del día cero que fue $0.017 \mu\text{g/g}$ suelo, cuya concentración se debe a la residualidad inicial de la muestra de suelo.

El suelo es una matriz compleja para realizar análisis de plaguicidas, en especial por su extracción, y además, que la concentración del malatión no es la misma en cada sitio del suelo.

Estos controles muestran que no hay una tendencia de disminución de la concentración de malatión, y en cambio en la experimentación de biodegradación si se observó claramente una tendencia a la disminución de la concentración de malatión, lo cual confirma que si hubo degradación del malatión por parte de los microorganismos

En general, en el recuento inicial, los resultados indican una tendencia clara de disminución en el número de UFC/g suelo, a medida que se incrementaron los niveles de concentración del plaguicida. Al momento de iniciar la experimentación se determinó que el suelo tenía malatión lo que sugiere la posibilidad que en este suelo se hayan desarrollado microorganismos capaces de utilizar el malatión como fuente de carbono, sin embargo, en general, la microflora se vio afectada directamente por la aplicación del malatión en la dosis más alta, lo que sugiere un proceso de selección de microorganismos después de las aplicaciones de campo. Durante la experimentación, en los primeros siete días hay un rápido descenso de la concentración del malatión que coincide con la mayor concentración de microorganismos presentes en el suelo de acuerdo con los recuentos realizados. A medida que avanzó el tiempo se redujo la tasa de degradación, que coincide con la disminución de la población microbiana pues de acuerdo con la caracterización del suelo, hay un alto % de materia orgánica, pero que no está disponible fácilmente para los microorganismos, entonces a medida que se reduce el plaguicida en el suelo, también baja la población microbiana en las concentraciones utilizadas durante la experimentación, quedando efectivamente la población microbiana degradadora del plaguicida presente en el suelo.

Agradecimientos

Al grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación - GDCON, por la financiación del proyecto y a los grupos Biotecnología y GAIA de la Universidad de Antioquia (Medellín - Colombia), por la asesoría en los procesos y análisis de la información de los datos para el desarrollo de la investigación. Al Centro Nacional Agropecuario del SENA La Salada.

Referencias

1. A E F I. Validación de métodos analíticos. Asociación española de farmacéuticos de la industria Barcelona, 2001.
2. Bavcon M, Trebse P, Zupancic-Kralj L. Investigations of the determination and transformations of diazinon and Malathion under environmental conditions using gas chromatography coupled with a flame ionisation detector, *Chemosphere* 2003; 50: 595-601.
3. Bourquin, AW. Degradation of Malathion by Salt-Marsh Microorganisms, *Applied and environmental microbiology* 1977; 33:2, 356-362.
4. Cahill T, Mackay D. A high-resolution model for estimating the environmental fate of multi-species chemicals: application to Malathion and pentachlorophenol *Chemosphere* 2003; 53: 571-581.
5. Córdoba, D. Toxicología Bogotá, El Manual Moderno 2001; 107-147.
6. Flórez, MT. Génesis de Paleosuelos Ándicos a partir del Estudio de Pedocomponentes Tesis Universidad Nacional, Medellín 2000.
7. Getenga ZM, Jondiko JI, Wandiga SO, Beck E, Dissipation Behavior of Malathion and Dimethoate Residues from the Soil and Their Uptake by Garden Pea (*Pisum sativum*); *Bull Environ Contam Toxicol* 2000; 64: 359-367.
8. Kaur I, Mathur RP, Tandon SN, Dureja P. Identification of Metabolites of Malathion in Plant, Water and Soil by GC-MS, *Biomed. Chromatogr* 1997; 11: 352-355.
9. Kim Y, Ahn J, Moon S, Lee J. Biodegradation and detoxification of detoxification of Organophosphate insecticide, Malathion by *Fusarium oxysporum* f sp pisi cutinase, *Chemosphere* 2005; 60(10): 1349-1355.
10. Leoni V, Cariccia A M, Chiavarini S. Activated sludge biodegradation test as screening method to evaluate persistence of pesticides in soil, *The Science of the Total Environment* 1992;123-124, 279-289.
11. Levanon D. Roles fungi and bacteria in the mineralization of the pesticides atrazine, alachlor, Malathion and carbofuran in soil. *Soil Biology Biochemistry* 1993; 25: 1097-1105.
12. López R. Adsorción, disipación y movimiento de simazina en el suelo arenoso de un viñedo del valle de Casablanca, Chile. Trabajo de Investigación de Pontificia Universidad Católica de Chile, 2004.
13. Márquez, SM. Evaluación de algunos efectos de la contaminación por aplicación de Lorsban (clorpirifos) en un suelo y un cultivo de Kikuyo. (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov) en el Norte Antioqueño, Trabajo de Investigación, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, 2001, 143 p.
14. National Pesticides Information Center- NPIC, Malatión (Technical Fact Sheet), 2001.
15. Sánchez MJ, Sánchez M. Los Plaguicidas, Adsorción y Evolución en el Suelo. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, Salamanca 1984.
16. Tsezos M, Bell JP. A mechanistic study on the fate of Malathion following interaction with microbial biomass, *Water Research* 1991; 25: Is 9, 1039-1046.
17. United States Environmental Protection Agency – US, EPA.; Environmental Fate Effects Division Registration Eligibility Decision for Malathion 2000.
18. United States Environmental Protection Agency – US, EPA Environmental Fate of Malathion, 2006.