

Sorción en columna de hexazinona en suelos de la costa de Oaxaca, México

Judith Amador-Hernández¹, Julia M. Márquez-Reyes², Miguel Velázquez-Manzanares¹, Nieves Trujillo-Tapia², Eustacio Ramírez-Fuentes², Iliana M. de la Garza-Rodríguez¹, Edith M. Colunga¹
Facultad de Ciencias Químicas¹, Ingeniería Ambiental², Instituto de Biotecnología³
Universidad Autónoma de Coahuila¹, Universidad del Mar², Universidad del Papaloapan³
Saltillo, Coah.¹, Puerto Ángel, Oax.², Tuxtepec, Oax.³; México
judith.amador@uadec.edu.mx

Abstract— Experiments carried out under laboratory conditions are discussed about the sorption of hexazinone in three soils obtained from the coast of Oaxaca to explore its mobility, which determines its persistence and herbicidal activity, or its leaching and subsequent contamination of underground water. After their physico-chemical characterization, soils were packed by triplicate in three-segmented lysimeters of 45 cm long, irrigated during 12 days and leachates were collected after periods of 24 hrs. Then, the leachate samples were analyzed by Solid Phase Extraction and UV-Vis Spectrophotometry-Partial Least Squares Regression. It is highlighted that sorption of hexazinone was correlated with the amount of organic matter in soil and pH, among the results obtained. Also, the division of lysimeters in three sections enabled the observation of dissipation of the herbicide in the soil column. In general, a significant mobility of hexazinone in soils of the region was observed, which negatively affects their herbicidal activity by leaching, constituting a significant risk of contamination of groundwater; soil of Puerto Angel presented this problem more sharply, constituting an environmental risk that is exacerbated by its location which could affect coral reef or marine organisms for human consumption.

Keyword— *hexazinone, sorption, soil, lysimeters, triazines*

Resumen— Se presentan los resultados de laboratorio sobre la sorción de hexazinona en tres suelos de la costa oaxaqueña con el fin de observar su movilidad a través de éstos, lo que condiciona su persistencia y efectividad como herbicida, o por el contrario su lixiviación con la contaminación subsecuente de los mantos freáticos. Tras su caracterización fisicoquímica, los suelos fueron dispuestos por triplicado en lisímetros de tres segmentos de 45 cm de longitud, irrigados durante 12 días y los lixiviados fueron recolectados por periodos de 24 hr. Los lixiviados fueron analizados por Extracción en Fase Sólida y Espectrofotometría UV-Visible-Regresión Parcial por Mínimos Cuadrados. Entre los resultados obtenidos, destaca que la sorción del herbicida pudo correlacionarse satisfactoriamente con el contenido de materia orgánica del suelo y pH. Además, el fraccionamiento de los lisímetros en tres secciones permitió observar con mayor detalle la migración del herbicida a lo largo de la columna de suelo. En general, se observó una movilidad significativa de hexazinona en suelos de la región costa de Oaxaca, lo que incide negativamente en su actividad herbicida por lixiviación, constituyendo un riesgo importante de contaminación de mantos freáticos; el suelo de Puerto Ángel fue el que presentó esta problemática de manera más acusada, constituyendo un riesgo ambiental que se ve agravado por su ubicación en la línea de costa y afectación potencial de arrecifes coralinos u organismos marinos de consumo humano.

Palabras claves— *hexazinona, sorción, suelos, lisímetros, triazinas.*

I. INTRODUCCIÓN

La hexazinona (HEXA), cuyo nombre según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés) es 3-ciclohexil-6-(dimetilamino)-1-metil-1,3,5-triazin-2,4(1H,3H)-diona, pertenece al grupo de las triazinas; específicamente, es una triazinona (véase Figura 1). Se considera un herbicida de amplio espectro de aplicación pre-emergente, que se absorbe a través de las raíces y follaje de las plantas, si bien se pueden obtener mejores resultados aplicándolo con el suelo húmedo. Se utiliza de forma selectiva en el control de maleza en cultivos de piña y caña de azúcar, fundamentalmente [1]. Se trata de un herbicida sistémico que inhibe la fotosíntesis en plantas susceptibles a ésta, incidiendo en el fotosistema II [2].

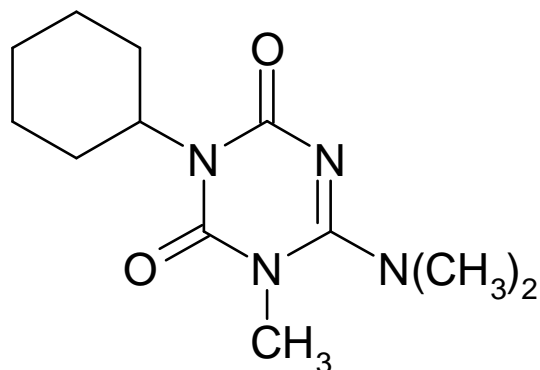


Fig. 1. Estructura química de HEXA.

Este herbicida es resistente a la fotodegradación en condiciones naturales, aunque esto depende de variables ambientales tales como las precipitaciones pluviales, tipo de suelo, velocidad de aplicación del herbicida, entre otros. En general, se han identificado cinco metabolitos principales en suelos y extractos vegetales, derivados de la degradación microbiológica y química de este compuesto [3-5]. Por otro lado, la descomposición de esta triazina da lugar a metabolitos que generalmente presentan una toxicidad menor que la propia HEXA [6].

Si bien existen algunos trabajos que discuten la movilidad de la hexazinona en diferentes tipos de suelos, son escasos en comparación con el estudio de otros compuestos del mismo grupo, como la atrazina. Entre ellos, puede destacarse el trabajo de Celis, Hermosín, Carrizosa y Cornejo, quienes estudiaron la influencia de la adsorción de HEXA en arcillas sobre su lixiviación en columnas de suelo a nivel laboratorio, encontrándose que esta adsorción favorecía su liberación prolongada en los suelos sin perder su actividad biológica, en comparación con la formulación comercial del herbicida [7]. Otro trabajo destacable es el de Dousset, Chauvin, Durllet y Thévenot, quienes monitorearon la lixiviación de glifosato y HEXA en columnas de suelo utilizado para el cultivo de árboles navideños, encontrándose que la movilidad de ambos herbicidas fue mayor en los suelos con mayor cantidad de arena, de texturas gruesas, con menor cantidad de carbono orgánico [8]. En general, el uso de lisímetros en los estudios de lixiviación de plaguicidas en suelos ha demostrado controlar eficientemente parámetros de gran relevancia como la temperatura y contenido de agua, eliminando así variaciones climáticas que condicionarían a los trabajos en campo.

En este trabajo, se estudió la distribución de HEXA en lisímetros de 45 cm con tres secciones, empacadas con tres tipos de suelos (arenoso-franco, franco-arenoso y arenoso), provenientes de distintas localidades de la Costa Chica de Oaxaca, México: Bajos de Chila, Puerto Ángel y La Ventanilla.

II. METODOLOGÍA

A. Equipo

Se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis Perkin Elmer, modelo Lambda EZ210, controlado a través de una PC. La adquisición y almacenamiento de los datos espectrales se realizó mediante el paquete PESSW, v. 1.2.E., de Perkin Elmer. Para el tratamiento de datos, se utilizaron los paquetes Origin 7.0 v.7.0220 de OriginLab Corp. y Pirouette 3.10 de Infometrix Inc.

La Extracción en Fase Sólida (SPE, *Solid Phase Extraction*) se llevó a cabo con un módulo de 12 puertos, de operación manual asistida por vacío, de Supelco. Para el análisis de textura, se utilizó un

hidrómetro para suelos de longitud aproximada de 280 mm y escala de -5 a 60 gramos de coloides en suelos por litro, a 68°F. Los lisímetros fueron construidos en el laboratorio con tubos de PVC de 7.6 cm de diámetro, de longitud total de 45 cm, divididos en tres secciones a través de mallas metálicas de 2 mm de poro recubiertas con fibra de vidrio.

B. Reactivos y otros materiales

Todos los reactivos fueron grado analítico. HEXA fue grado plaguicida para análisis, de Riedel de Häen. El agua ultrapura se obtuvo mediante un sistema EASYPureUV, de Barnstead. Como presentación comercial del herbicida se usó Velpar K3® de Dupont (44% de diurón, 16% de HEXA, 40% de otros, en p/p).

SPE se llevó a cabo en cartuchos de polietileno Supelclean ENVI-18 de Supelco, empacados en fábrica con camas de 2 g de C₁₈. También se llevó a cabo la filtración de los lixiviados usando membranas de nylon de 0.2 µm de poro, de Cole Parmer.

C. Procedimiento

Para la caracterización de los suelos se determinaron los parámetros de granulometría, pH y materia orgánica, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 [9].

Para cada tipo de suelo se prepararon lisímetros por triplicado, con suelos previamente cribados y homogenizados sin compactar, de acuerdo a Morillo, Pérez-Martínez y Ginés [10]. Para el acondicionamiento de los lisímetros se hicieron pasar cuatro veces los volúmenes de saturación de los respectivos suelos, con el fin de mantener las mismas condiciones de humedad en cada uno [10, 11]. A cada lisímetro se aplicó 1 g de la presentación comercial del herbicida preparado en las condiciones recomendadas por el fabricante, que correspondió a 164 mg de HEXA.

El volumen de precipitación simulada fue de 127 mm, en base a los datos registrados por el Sistema Meteorológico Nacional sobre la media anual de precipitación en la Costa Chica de Oaxaca de los años 1941-2005 [12]; tal volumen de precipitación correspondió a 58 mL de agua aplicados diariamente a cada lisímetro, durante 12 días. Los lixiviados se recolectaron cada 24 h, de acuerdo a Landry, Dousset y Andreux [13]. El volumen del lixiviado fue determinado volumétricamente y se filtró antes de su análisis.

Para cada lixiviado, se acondicionó un cartucho de C₁₈ con 10 mL de hexano, 10 mL de metanol y 20 mL de agua. Después de hacer pasar la muestra, el cartucho se lavó con 5 mL de una mezcla acetonitrilo:agua al 6% V/V, para finalmente eluir el analito con 8 mL de metanol [14]. Posteriormente, el extracto metanólico con HEXA se transfirió a un matraz volumétrico de 25 mL, al que se adicionaron 2.5 mL de una disolución tampón de H₂PO₄⁻/HPO₄²⁻ de pH 8 y se completó hasta el aforo con agua ultrapura. El espectro de absorción correspondiente se registró de 200 a 340 nm, frente a un blanco reactivo.

La determinación de HEXA en los lixiviados fue a través de un método basado en Espectrofotometría UV-Visible y Regresión Parcial por Mínimos Cuadrados, previamente desarrollado y validado, el cual permite cuantificar HEXA en presencia de diurón y materia orgánica [15].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Propiedades fisicoquímicas del suelo

Los suelos utilizados correspondieron a Bajos de Chila "S1", Puerto Ángel "S2" y La Ventanilla "S3". Los parámetros fisicoquímicos estimados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos estimados durante la caracterización de los suelos provenientes de la costa de Oaxaca, México.

Parámetro		S1	S2	S3
Granulometría	% arcilla	22	19	6
	% limo	8	15	2
	% arena	70	66	92
	Clasificación	Arenoso-franco	Franco-arenoso	Arenoso
pH	Unidades*	7.4 ± 0.1	7.5 ± 0.2	5.0 ± 0.1
	Clasificación	Medianamente alcalino	Medianamente alcalino	Fuertemente ácido
Carbono orgánico	Porcentaje*	3.2 ± 0.4	2.5 ± 0.1	4.4 ± 0.4
	Clasificación	Medio	Medio	Alto

Promedio ± desviación estándar.

Para la determinación de la granulometría, los agregados se separaron mediante la adición del agente dispersante (hexametáfosfato de sodio); a través de lecturas del hidrómetro y temperatura, se obtuvieron los datos para llevar a cabo la clasificación textural [16]. En los tres suelos se encontró que la fracción predominante fue la arenosa. Las arenas le confieren al suelo una porosidad y permeabilidad alta, que se asocia a su vez con un área específica pequeña, almacenamiento de nutrientes bajo y una capacidad de retención de agua disponible para las plantas baja, así como presencia de menor cantidad de microorganismos en el suelo [17]. Tales condiciones favorecen el aumento de la movilidad del herbicida en el suelo, de acuerdo con Dousset, Chauvin, Durllet y Thévenot [8]. Respecto al pH, los suelos S1 y S2 se clasificaron como medianamente alcalinos con un pH de 7.4 y 7.5 unidades, respectivamente, mientras que el S3 fue identificado como un suelo fuertemente ácido con un pH menor o igual a 5.0 [9]. Esto último se debe probablemente a la acción bacteriana que produce ácidos orgánicos y por ende un pH bajo. De igual forma, el mangle característico de la región (*Rhizophora mangle*) influye en este parámetro [17]. Se ha propuesto que el pH del suelo influye en la adsorción de plaguicidas, en particular cuando éstos se disocian o protonan de acuerdo al pH presente en el suelo [18].

En cuanto a la materia orgánica, su contenido se estimó considerando los suelos no volcánicos. En el suelo S2, procedente de la Universidad del Mar, se encontró el valor más bajo de carbono orgánico, identificándose como un suelo de clase media según la NOM-021-RECNAT-2000 [9]. Por otra parte, el suelo S1 procedente de Bajos de Chila es utilizado en la agricultura, por lo cual en determinados periodos del año se le aplican fertilizantes para prepararlo para la siembra. Es de esperarse que estas actividades influyeran en su contenido de carbono orgánico un poco más alto que el anterior (3.2 ± 0.4 y 2.5 ± 0.1 , respectivamente), pero con la misma clasificación de suelo de clase media. En contraparte, el suelo con mayor contenido de carbono orgánico (4.4 ± 0.4) es el procedente de La Ventanilla (S3), considerándose un suelo de clase alta. Este suelo procede de una zona de manglar, caracterizado por encontrarse saturado de agua por largos periodos de tiempo, provocando que la producción de biomasa supere la tasa de descomposición y aumente el carbono orgánico del suelo [17]. De acuerdo al contenido de carbono orgánico, S2 (2.5 ± 0.1 %) es un suelo con buena estructura y gran capacidad de amortiguamiento, con suficiente materia orgánica para disminuir la densidad aparente y mejorar la capacidad de almacenamiento de agua, mientras que S3 (4.4 ± 0.4 %) es un suelo con gran cantidad de

materia orgánica (de color oscuro, graso al tacto) usualmente asociado a zonas boscosas, con gran estabilidad estructural [19]. S1 (3.2 ± 0.4 %) se encuentra en estado intermedio entre S2 y S3.

B. Obtención de lixiviados

Después de doce días de irrigación, se recuperó el 74 ± 2 % y 70 ± 2 % del volumen total de agua aplicado a cada grupo de lisímetros, correspondientes a S1 y S2, respectivamente. En contraste, en los lisímetros de S3 se recuperó sólo el 51 ± 11 %, debido probablemente a la mayor capacidad de almacenamiento de agua y estabilidad estructural de este suelo.

Por otro lado, la coloración de los lixiviados fue distinta para cada suelo. La tonalidad más clara la presentó el S2, seguido de S1 y S3, las cuales estuvieron acordes al contenido de materia orgánica presente en los tres suelos: a mayor cantidad de materia orgánica, mayor coloración del lixiviado. Además, se observó un aumento de color en los lixiviados en función de los días de irrigación, por el arrastre de la materia orgánica soluble. Por ello, para los lixiviados de S3 obtenidos a partir del octavo día fue necesario agregar 2 mL de HCl, con el fin de favorecer la precipitación de ácidos húmicos y reducir las interferencias de las muestras [20]. La eliminación de la fracción precipitada se llevó a cabo a través de una filtración, mediante una membrana con tamaño de poro de $0.2 \mu\text{m}$. En tales casos, debe reconocerse la posibilidad de que una pequeña cantidad del herbicida haya sido adsorbido en las partículas eliminadas, perdiéndose pequeñas porciones del herbicida.

C. Análisis de lixiviados

La Regresión Parcial por Mínimos Cuadrados (PLS, *Partial Least Squares Regression*) es una herramienta matemática de calibración multivariante exitosamente aplicada en la cuantificación de micro y macrocomponentes, tras la eliminación de interferentes espectrales [21, 22]. Particularmente, en el grupo de trabajo se han desarrollado métodos espectrofotométricos asistidos por esta técnica, sensibles y selectivos, para la cuantificación de triazinonas en presencia de materia orgánica en lixiviados provenientes de diferentes tipos de suelo [23]. En este caso, se desarrolló previamente un método analítico para la cuantificación de HEXA en presencia de diurón, de acuerdo a la composición del producto comercial Velpar K3® aplicado en campo [15]. En este trabajo, los lixiviados se sometieron a SPE para preconcentrar el analito y eliminar una parte significativa de materia orgánica [14], antes de su análisis por espectrofotometría UV/Vis-PLS.

En las Figuras 2-4 se presentan las variaciones en la concentración de HEXA estimada en los lixiviados recuperados cada 24 horas, durante los doce días de irrigación de los lisímetros. De acuerdo a la Figura 2, en los lixiviados de S1 obtenidos hasta el sexto día se presentó una concentración de HEXA no mayor a 20 mg L^{-1} ; sin embargo a partir del día 7 comenzó a lixiviarse HEXA en concentraciones cada vez mayores. Respecto al comportamiento observado en los lixiviados de S2 (Figura 3), del día 1 al 6 se presentó una concentración de HEXA apenas apreciable ($\leq 5 \text{ mg L}^{-1}$); a partir del día 7 comenzó a lixiviarse cada día una mayor cantidad de HEXA ($>50 \text{ mg L}^{-1}$). Sin embargo, la tendencia observada en la lixiviación de HEXA entre los días 7 y 12 fue más irregular en S2 que en S1 en los últimos días. Respecto a los lixiviados de S3 (Figura 4) puede destacarse que las concentraciones son más parecidas entre los tres lisímetros a lo largo del periodo de estudio (12 días), además de tener lixiviados desde el primer día de riego en comparación con el S1 y S2.

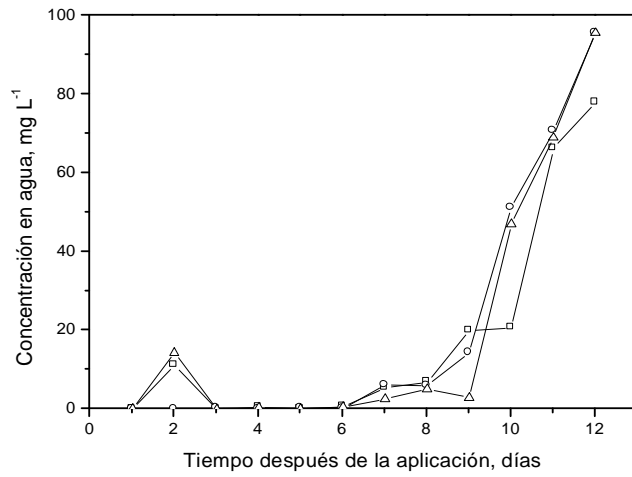


Fig. 2. Cuantificación de HEXA en lixiviados de S1 en los lisímetros L1 (□), L2 (Δ) y L3 (○), en función del tiempo.

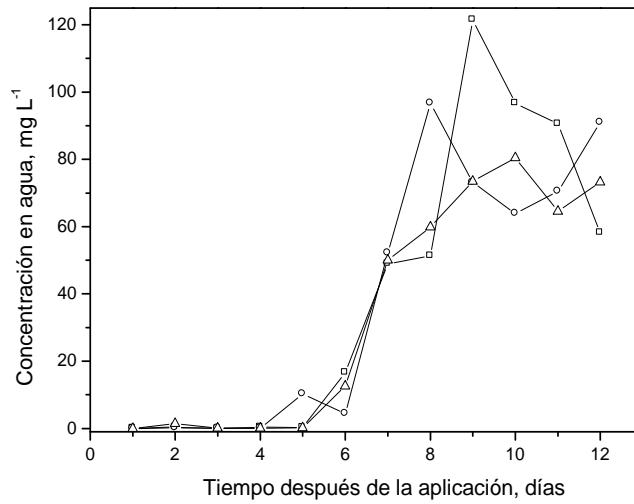


Fig. 3. Cuantificación de HEXA en lixiviados de S2 en los lisímetros L4 (□), L5 (Δ) y L6 (○), en función del tiempo.

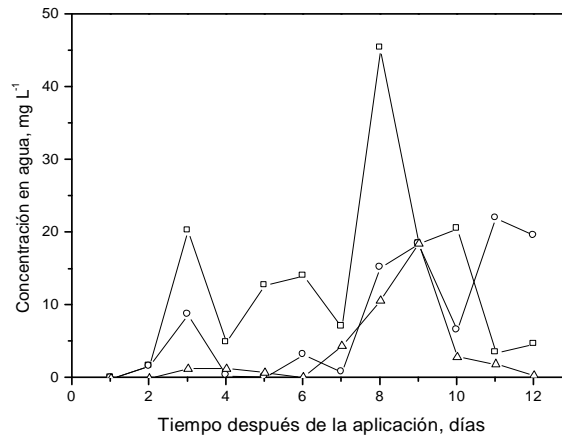


Fig. 4. Cuantificación de HEXA en lixiviados de S3 en los lisímetros L7 (□), L8 (Δ) y L9 (○), en función del tiempo.

De acuerdo a las figuras, la mayor cantidad de HEXA lixiviada a lo largo de todo el periodo se presentó en el orden $S2 \approx S1 > S3$, lo cual está en completa relación con el contenido de carbono orgánico y el pH encontrado en cada uno de estos suelos. La sorción de herbicidas como el HEXA se incrementa con la cantidad materia orgánica en el suelo [8, 11, 24] y decrece con su pH [11, 25]. De acuerdo a Spark y Swift, la movilidad de los plaguicidas está relacionada con el contenido de materia orgánica total si ésta es mayor al 5%; para suelos con bajo contenido de materia orgánica, su movilidad está relacionada principalmente con la actividad de los componentes de la fracción inorgánica, especialmente por la fracción arcillosa [26]. Además hay que destacar que el HEXA presentó una mayor lixiviación en los primeros días del estudio en la columna de suelo con mayor proporción de arena (S3, 92 %), tal como lo describen Dousset, Chauvin, Durllet y Thévenot [8].

D. Sorción de HEXA en los tres suelos

Al concluir la etapa de irrigación de los suelos, se desmontaron los lisímetros, conservándose por separado el suelo ubicado en sus tres secciones. La HEXA retenida en cada suelo se separó mediante extracción asistida por ultrasonido, siguiendo la metodología propuesta por Valdéz-Juárez [27]. Las muestras resultantes se analizaron como los lixiviados, de acuerdo a la metodología referida en la sección de Procedimiento. Una vez cuantificada la HEXA en cada fracción de suelo, se representó gráficamente su concentración en función del suelo y profundidad en el lisímetro (véanse Figuras 5-7).

Así, en la Figura 5 se aprecia que la mayor cantidad de HEXA en S1 se encuentra en los 15-30 cm de profundidad ($>200 \text{ mg Kg}^{-1}$), en menor proporción ($<50 \text{ mg Kg}^{-1}$) en la tercera fracción (30-45 cm) y casi imperceptiblemente en la primera sección (0-15 cm); su comportamiento es muy similar en los tres lisímetros, igual que las tendencias observadas en la fracción lixiviada. En contraste, en las Figuras 6 y 7 se observa una tendencia más similar de la HEXA retenida en las tres fracciones de S2 (entre 5 y 30 mg Kg^{-1}) y S3 (entre 10 y 60 mg Kg^{-1}). La variabilidad en la sorción observada del herbicida puede deberse a que los fenómenos de transferencia de masa (difusión) y energía (conductividad) no pudieron mantenerse constantes en cada lisímetro. Además, no debe soslayarse el hecho de que la eficiencia de la extracción asistida por ultrasonido depende igualmente de la cantidad de materia orgánica, textura y pH

de cada suelo, cuyas variaciones entre los tres tipos de suelo contribuirían a la heterogeneidad de los resultados.

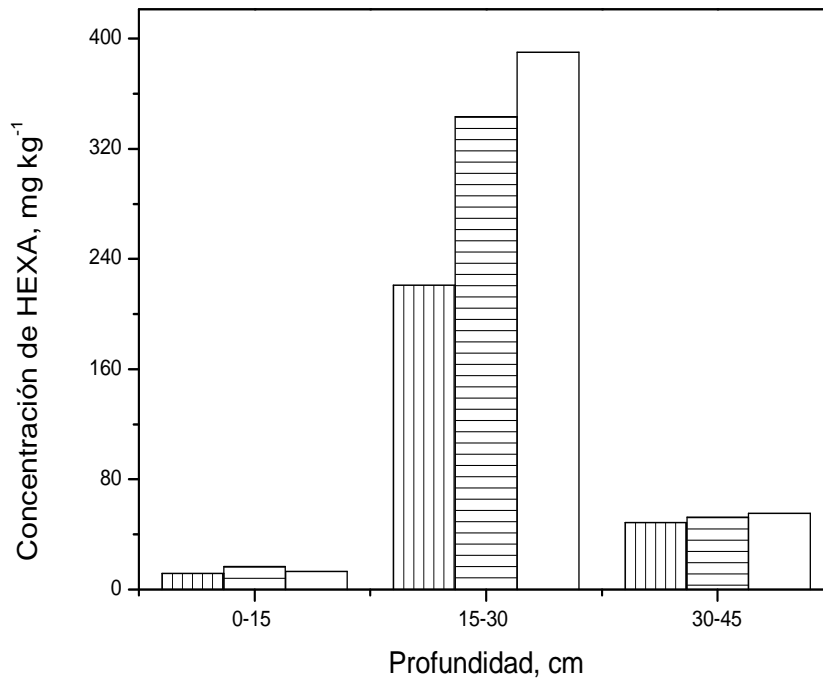


Fig. 5. Sorción de HEXA en S1, después de los doce días del experimento en los lisímetros L1 (▨), L2 (▩) y L3 (□) a diferentes profundidades de la columna.

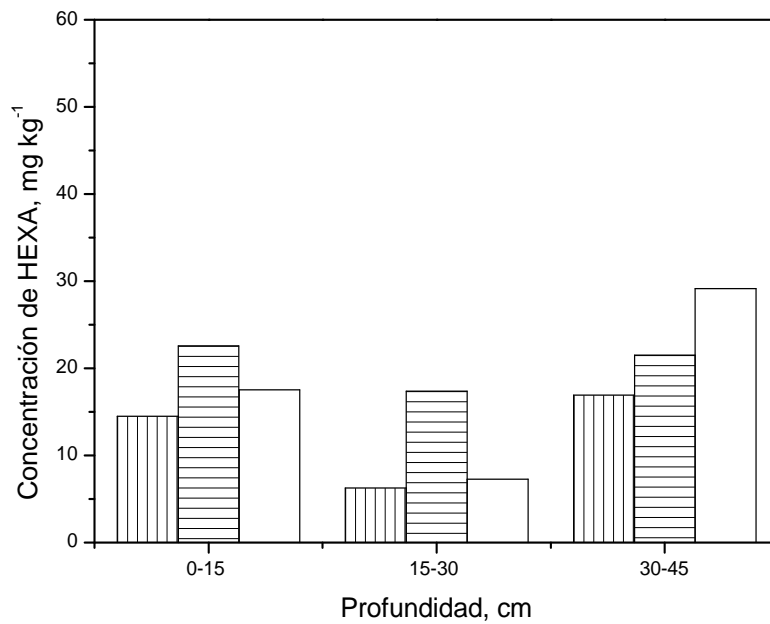


Fig. 6. Sorción de HEXA en S2, después de los doce días del experimento en los lisímetros L4 (▨), L5 (▩) y L6 (□) a diferentes profundidades de la columna.

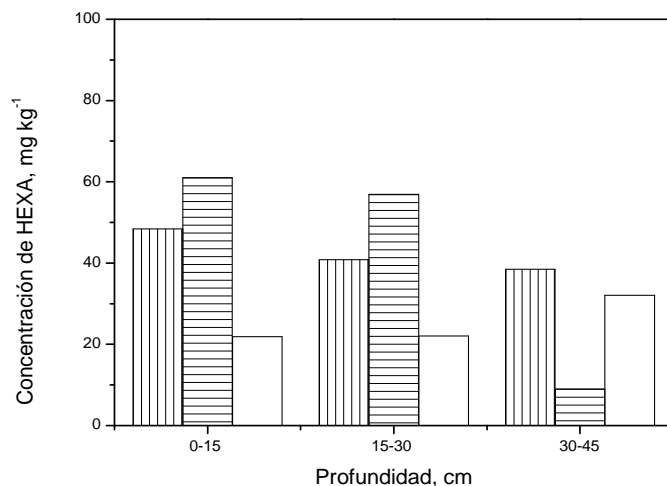


Fig. 7. Sorción de HEXA en S3, después de los doce días del experimento en los lisímetros L7 (▨), L8 (▩) y L9 (□) a diferentes profundidades de la columna.

Igualmente, hay que destacar que la humedad del suelo influye en la naturaleza de las sustancias húmicas presentes, volviéndolas más hidrofóbicas a bajo contenido de humedad, favoreciendo así la sorción de pesticidas hidrofóbicos. Esto podría contribuir significativamente a las variaciones observadas entre S1 y S2, donde el uso agrícola de S2 le confiere una mayor humedad a lo largo del año. En contraste, los compuestos hidrofílicos son sorbidos fuertemente en suelos con alto contenido de humedad, debido a su gran afinidad por regiones hidrofílicas del humus, lo cual sería el caso de S3 [28]. Es comprensible su movilidad en agua teniendo en cuenta que el coeficiente de partición octanol-agua ($K_{o/w}$) para HEXA es de 15 [29], dando como resultado su lixiviación en los tres casos, con una mayor movilidad en el suelo con mayor cantidad de arena y por ende mayor permeabilidad.

IV. CONCLUSIONES

En general, la movilidad presentada por HEXA en los tres tipos de suelo se debe fundamentalmente al contenido de carbono orgánico, pH y textura. En S3 (suelo de manglar con mayor cantidad de materia orgánica), la adsorción de HEXA fue más evidente que en el resto de los suelos, pero también menos reproducible. El fraccionamiento de los lisímetros en tres secciones permitió observar la migración del herbicida en las columnas de suelos. Por el comportamiento observado, es de esperarse que HEXA tenga una movilidad significativa en suelos de la Región, reduciéndose su actividad herbicida por lixiviación, constituyendo un riesgo importante de contaminación de mantos freáticos. En general, se observó una movilidad significativa de hexazinona en suelos de la región costa de Oaxaca, lo que incide negativamente en su actividad herbicida por lixiviación, constituyendo un riesgo importante de contaminación de mantos freáticos. Particularmente, el suelo de Puerto Ángel fue el que presentó esta problemática de manera más acusada, constituyendo un riesgo ambiental que se ve agravado por su ubicación en la línea de costa y afectación potencial de arrecifes coralinos u organismos marinos de consumo humano.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a CONACyT (México) el apoyo financiero otorgado para la realización de este trabajo, según convenios de investigación J37143E y 152918 (CB-2010-01).

REFERENCIAS

- [1] CICOPLAFEST, Catálogo de plaguicidas, México, 2004.
- [2] H. M. LeBaron, J. E. McFarland, and O. C. Burnside, Eds., *The triazine herbicides: 50 years revolutionizing agriculture*, Elsevier: UK, 2008.
- [3] J. B. Fischer and J.L. Michael, "Thermospray ionization liquid chromatography-mass spectrometry and chemical ionization gas chromatography-mass spectrometry of hexazinone metabolites in soil and vegetation extracts", *J. Chromatograph. A*, vol. 704, pp. 131-139, 1995.
- [4] H. Wang, Y. Li, Y. Lu, C. Huang, M. Zhang, and X. Wang, "Influence of bovine manure on dissipation of hexazinone in soil", *Ecotox. Environ. Safe*, vol. 72, pp. 93-98, 2009.
- [5] H. Wang, C. Wang, F. Chen, M. Ma, Z. Lin, W. Wang, Z. Xu, and X. Wang, "Modification to degradation of hexazinone in forest soils amended with sewage sludge", *J. Hazard Mater.*, vol. 199, pp. 96-104, 2012.
- [6] M. Tu, C. Hurd, J. M. Randall, *Weed control methods handbook: tools & techniques for use in natural areas*, The nature conservancy: USA, 2001.
- [7] R. Celis, M. C. Hermosín, J. M. Carrizosa, and J. Cornejo, "Inorganic and organic clays as carriers for controlled release of the herbicide hexazinone", *J. Agr. Food Chem.*, vol. 50, pp. 2324-2330, 2002.
- [8] S. Dousset, C. Chauvin, P. Durllet, and M. Thévenot, "Transfer of hexazinone and glyphosate through undisturbed soil columns in soils under Christmas tree cultivation", *Chemosphere*, vol. 57, pp. 265-272, 2004.
- [9] SEMARNAT, Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos; estudios, muestreo y análisis, Diario oficial de la Federación: México, 2002.
- [10] E. Morillo, J. I. Pérez-Martínez, and J. M. Ginés, "Leaching of 2,4-D from a soil in the presence of β -cyclodextrin: laboratory columns experiments", *Chemosphere*, vol. 44, pp. 1065-1069, 2001.
- [11] M. J. Calderón, M. Ortega, M. C. Hermosín, J. García-Baudín, and J. Cornejo, "Hexazinone and simazine dissipation in forestry field nurseries", *Chemosphere*, vol. 54, pp. 1-8, 2004.
- [12] Servicio Meteorológico Nacional, *Precipitación media estatal, periodo 1941-2005*, Conagua: México, 2005.
- [13] D. Landry, S. Dousset, and F. Andreux, "Laboratory leaching studies of oryzalin and diuron through three undisturbed vineyard soil columns", *Chemosphere*, vol. 54, pp. 735-742, 2004.
- [14] J. Amador-Hernández, M. Velázquez-Manzanares, M. R. Gutierrez-Ortiz, J. M. Márquez-Reyes, "Determination of hexazinone in different water samples by solid-phase extraction and UV spectrophotometry", *Annalen der Chemischen Forschung*, Vol. 1-2, pp. 1-9, 2014.
- [15] J. Amador-Hernández, M. Velázquez-Manzanares, and J. M. Márquez-Reyes, "Determination of hexazinone in environmental samples by Uv-Vis spectrophotometry-Partial Least Squares Regression", *Res. J. Chem. Sci.*, vol. 1, pp. 36-41, 2011.
- [16] G. W. Gee and J. W. Bauder, "Particle-size analysis", In: *Methods of soil analysis, part 1-physical and mineralogical methods*, Klute A. (ed.), Soil Science Society of America: USA, 1986.
- [17] C. Sánchez-García, *Dinámica de C y N en el suelo de manglar en Ventanilla, Oaxaca*, Tesis de licenciatura, Universidad del Mar: Oaxaca, México, 2005.
- [18] G. Sheng, Y. Yang, M. Huang, and K. Yang, "Influence of pH on pesticide sorption by soil containing wheat residue-derived char", *Environ. Pollut.*, vol. 134, pp. 457-463, 2005.
- [19] P. Hazelton and B. Murphy, *Soil test results, what do all the numbers mean?*, Csiro Publishing: Australia, 2007.
- [20] J. S. Gaffney, N. A. Marley, and S. B. Clark, Eds., *Humic and fulvic acids: isolation, structure and environmental role*, American Chemical Society: USA, 1996.

- [21] J. Amador-Hernández, J. M. Fernández-Romero, and M. D. Luque de Castro, "Partial least squares regression for problem solving in precious metal analysis by laser induced breakdown spectrometry", *J. Anal. Atom. Spectrom.*, vol. 15, pp. 587-593, 2000.
- [22] P. L. López-de-Alba, L. López-Martínez, V. Cerdá, and J. Amador-Hernández, "Simultaneous determination and classification of riboflavine, thiamine, nicotinamide and pyridoxine in pharmaceutical formulations, by UV-Visible spectrophotometry and multivariate analysis", *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 17, pp. 715-722, 2006.
- [23] J. Amador-Hernández, M. Velázquez-Manzanares, E. Ramírez-Fuentes, N. Trujillo-Tapia, and M. Valdez-Juárez, "Determinación espectrofotométrica de metamitrona en lixiviados de suelo mediante regresión por mínimos cuadrados parciales", *Bistua*, vol. 9, pp. 31-38, 2011.
- [24] W. C. Koskinen, D. M. Stone, and A. R. Harris, "Sorption of hexazinone, sulfometuron methyl, and tebuthiuron on acid, low base saturated sands", *Chemosphere*, vol. 32, pp. 1681-1689, 1996.
- [25] J. B. Weber, G. G. Wilkerson, and C. F. Reinhardt, "Calculating pesticide sorption coefficients (K_d) using selected soil properties", *Chemosphere*, vol. 55, pp. 157-166, 2004.
- [26] K. M. Spark and R. S. Swift, "Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption", *Sci. Total Environ.*, vol. 298, pp. 147-161, 2002.
- [27] M. Valdéz-Juárez, Estudios preliminares para la determinación de triazinas en suelo mediante extracción por sonicación, Tesis de licenciatura, Universidad del Mar: Oaxaca, México, 2005.
- [28] S. Beulke, C. D. Brown, C. J. Fryer, and W. Van Beinum, "Influence of kinetic sorption and diffusion on pesticide movement through aggregated soils", *Chemosphere*, vol. 57, pp. 481-490, 2004.
- [29] C. Ganapathy, Environmental fate of hexazinone, document 95814-5624, Department of Pesticide Regulation: USA, 1996.