

RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS

Organochlorine Pesticide Residues in Agricultural Soils

Sergio David Leal Soto¹, Ana Isabel Valenzuela Quintanar^{1,‡}, María de Lourdes Gutiérrez Coronado¹,
María del Carmen Bermúdez Almada¹, Jaqueline García Hernández¹, María Lourdes Aldana Madrid²,
Patricia Grajeda Cota¹, María Isabel Silveira Gramont², María Mercedes Meza Montenegro³, Susana
Alejandra Palma Durán¹, Germán Nepomuceno Leyva García¹, Beatriz Olivia Camarena Gómez¹
y Ciara Paulina Valenzuela Navarro¹

RESUMEN

La actividad agrícola del estado de Sonora se caracteriza por ser de las más desarrolladas del país, es altamente productiva, tecnificada y generadora de divisas. Para mantener las demandas del mercado ha sido necesario implementar cultivos intensivos y el uso indiscriminado de agroquímicos, lo que ha provocado la contaminación del suelo. Los plaguicidas organoclorados (POC's) fueron utilizados desde 1950 hasta 1991, principalmente en el cultivo de algodón. En países industrializados fueron prohibidos o restringidos desde 1970 y en México a partir de 1991. Los POC's representan un riesgo para la salud y el medio ambiente por su toxicidad, bioacumulación, volatilidad y persistencia; es por ello, que a través del Convenio de Estocolmo, los países adheridos están comprometidos a su reducción o eliminación. El objetivo del presente trabajo fue verificar la presencia de los POC's en suelos de las principales zonas agrícolas (ZA) del estado de Sonora. Se extrajeron 17 POC's por el método de dispersión de matriz en fase sólida (DMFS) y análisis por cromatografía de gases. Se muestrearon 45 campos donde se recolectaron cinco muestras de suelo (capa superficial y 60 cm de profundidad) y se entrevistó a los encargados para conocer los cultivos históricos y aplicación de POC's. El 100% de los entrevistados manifestó haber utilizado POC's. Los porcentajes de

recuperación fueron del 78 al 116% con CV < 20%. Los residuos de POC's estuvieron en un rango de no detectados (nd) a 45.75 µg kg⁻¹. En Caborca: 1.22-9.62, Hermosillo: nd-7.49, Magdalena: 0.73-24.40, Ures: nd-18.78 y Guaymas: 1.43-45.75. Los de mayor incidencia fueron: DDE, endosulfán, γ-clordano, heptacloro epóxido y endrín. La correlación positiva entre la materia orgánica y los POC's, puede propiciar su acumulación en los suelos agrícolas analizados. Estos resultados indican que las ZA de la entidad están contaminadas y son un riesgo para la salud y el medio ambiente.

Palabras clave: estado de Sonora, toxicidad, degradación de suelos.

SUMMARY

Agricultural activity in the state of Sonora is well known as one of the most developed in the country. It is high-tech and highly productive, and brings in a large amount of foreign currency. To continue supplying the national and international markets' high demand for produce, intensive cultivation has been necessary, and heavy use of agrochemicals has resulted in soil pollution. Organochlorine pesticides (OCPs) were used from 1950 to 1991, mainly on cotton crops. In industrialized countries these pesticides were banned or restricted in 1970 and they have been banned in Mexico since 1991. These agrochemicals are harmful to human health as well as to the environment due to their toxicity and volatility, and because they accumulate and persist in the soil. For this reason, countries participating in the Stockholm Convention agreed to reduce or eliminate their use. The objective of this work was to verify the presence of OCPs in the main agricultural areas (North and Central) of the state of Sonora. Using the matrix solid phase dispersion method and gas chromatography, 17 OCPs

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Carretera a La Victoria km 0.6. 83304 Hermosillo, Sonora, México.

[‡] Autor responsable (aquintanar@ciad.mx)

² Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora. Rosales y Blvd. Luis Encinas s/n, Col. Centro. 83000 Hermosillo, Sonora, México.

³ Depto. de Recursos Naturales, ITSON. 5 de Febrero 818 sur, Centro. 85000 Cd. Obregón, Sonora, México.

were extracted from 45 sampled fields. Five soil samples were collected (from surface layer and at a depth of 60 cm) from each field. Crop managers were interviewed to obtain historical information on crops and application of OCPs. All (100%) of respondents reported having used OCPs. OCP recovery percentages were 78 to 116% with a CV < 20%. Fifteen pesticides in agricultural fields of rural development districts were found in the range of not detected (nd) to 45.75 $\mu\text{g kg}^{-1}$. In Caborca: 1.22-9.62, Hermosillo: nd-7.49, Magdalena: 0.73-24.40, Ures: nd-18.78, and Guaymas: 1.43-45.75. Those found most frequently were DDE, endosulfan, γ -chlordane, heptachlor and endrin epoxy. Positive correlations between organic matter and OCPs suggest that organic matter favors OCP accumulation in agricultural soils. The results indicate that agricultural areas in Sonora are contaminated and are a risk to human, wildlife and ecosystem health.

Index words: *Sonora, toxicity, soil degradation.*

INTRODUCCIÓN

La agricultura del estado de Sonora se caracteriza por ser una de las más desarrolladas del país sustentada por tener una amplia superficie de cultivo y un sistema moderno de riego. Para lograr esta actividad y mantener las demandas de mercado, se han requerido de grandes insumos y un constante uso de agroquímicos, lo que ha tenido como consecuencia la degradación del suelo, la contaminación del medio ambiente y efectos adversos en la salud de los seres vivos (OEIDRUS, 2011). Los suelos de uso agrícola son susceptibles a la acumulación de plaguicidas organoclorados (POC's) debido a procesos de adsorción con la materia orgánica, y a la retención en agua (Rawl *et al.*, 1982; Boul *et al.*, 1990). Esta acumulación puede afectar la capacidad del suelo para realizar sus funciones de producción biológica, protección ambiental y sustento de la salud humana (FAO, 2009).

Los POC's son compuestos orgánicos persistentes, ampliamente utilizados en el sector agrícola a nivel mundial desde 1950 hasta 1991. En 1970 se restringió o prohibió su uso en países industrializados y en México en 1991, por el riesgo ocasionado a la salud humana y a los ecosistemas (NOM-127-SSA1-1994; COFEPRIS, 2004). Los POC's poseen gran toxicidad, son muy estables en el ambiente, requieren desde meses hasta 25 años para su degradación a formas menos dañinas

(Yu, 2008). Su alta volatilidad les permite migrar a grandes distancias por aire o por agua, pueden depositarse en suelo y bioacumularse en las cadenas tróficas (Coscolla, 1983). Por estas razones surge el Convenio de Estocolmo (CE), que tiene como propósito proteger al hombre y al medio ambiente de los efectos adversos ocasionados por las sustancias tóxicas persistentes. Los países adheridos a este convenio, entre ellos México, están comprometidos a prohibir, reducir o eliminar los compuestos orgánicos persistentes como los POC's: aldrín, dieldrín, endrín, heptacloro, mirex, clordano, toxafeno, hexaclorobenceno (HCB), diclorodifeniltricloroetano (DDT) y sus metabolitos diclorodifenildicloroetano (DDE), diclorodifenildicloroetano (DDD) y seis POC's candidatos: α -hexaclorociclohexano (α -HCH), γ -hexaclorociclohexano (γ -HCH, lindano), endosulfán, metoxicloro, clordecona y pentaclorofenol (SEMARNAT, 2007; Romero *et al.*, 2009). Los estudios sobre POC's en el estado de Sonora son escasos, entre ellos está el de Aldana *et al.* (2008), donde se reporta la presencia de residuos de DDT en granos de trigo, frijol, maíz y garbanzo menores a los 20 $\mu\text{g kg}^{-1}$, Cantú *et al.* (2011), en un estudio realizado en Obregón y Navojoa reportaron al BHC, DDE, endrín, DDT y DDD en concentraciones entre 197-292 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en suelo agrícola y en agua detectaron endosulfán, DDE y DDT en concentraciones totales de 3-30 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Meza *et al.* (2013), reportaron la presencia de niveles detectables de p,p'-DDE que van desde 0.25 hasta 10.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, en muestras de sangre analizadas; lindano, p,p'-DDT, aldrín y el endosulfán se detectaron en menor proporción, mientras que el metoxicloro y endrín no se encontraron en ninguna muestra. Cabe mencionar que las muestras de sangre provenían de niños residentes de las zonas agrícolas del Valle del Yaqui y Mayo.

Estudios recientes han demostrado que los POC's, por su capacidad de bioacumularse pueden producir efectos adversos; entre ellos se han evidenciado los daños neurotóxicos (Roberts *et al.*, 2007; Sagiv *et al.*, 2008), genotóxicos (Martínez y Gómez, 2007; Torres y López, 2007), efectos carcinogénicos (Ward *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2010) y reproductivos (Bellingahm *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2009). Debido a la falta de información en Sonora sobre el uso histórico y reciente de los POC's incluidos en el CE, el presente estudio tuvo como objetivo verificar la presencia de los POC's en suelos de las principales zonas agrícolas (ZA) del estado de Sonora. Con este estudio se podrá contribuir con el inventario

nacional de sitios contaminados por POC's, que será la base para tomar las acciones pertinentes, con políticas públicas encaminadas a minimizar los riesgos de estos contaminantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se realizó en las principales zonas agrícolas del estado de Sonora, seleccionadas con base en criterios de que fueran sitios potencialmente contaminados por el uso histórico-reciente de POC's. Estos incluyen campos agrícolas con sistemas de riego por bombeo, cultivos intensivos y con cultivos históricos de 1950 a 2000 (algodón, trigo, cártamo, cítricos, maíz, entre otros). Esta información se recopiló en las fuentes académicas, gubernamentales y mediante entrevistas realizadas

a los productores o encargados de los campos agrícolas. Los criterios de inclusión se aplicaron sin importar que los campos estuvieran activos, en descanso o abandonados. El muestreo de suelos agrícolas se llevó a cabo en los meses de marzo a junio del 2012, previa autorización del dueño o encargado, siguiendo lo establecido en el Programa Nacional de Monitoreo Ambiental (INECC-CCA, 2010). El diseño del muestreo fue por conglomerados (los conglomerados fueron los municipios dentro de los Distritos de Desarrollo Rural), con número de campos proporcional al tamaño del conglomerado. Se muestrearon 45 campos (C) agrícolas. En la región del norte se muestreó Caborca (C: 12) y Magdalena (C: 5); en la región del centro Ures (C: 3), Hermosillo (C: 20) y Guaymas (C: 5) (Figura 1). Considerando las diferentes persistencias y movilidades de los plaguicidas estudiados referida por Cantú *et al.* (2011), se realizó un muestreo completamente aleatorio

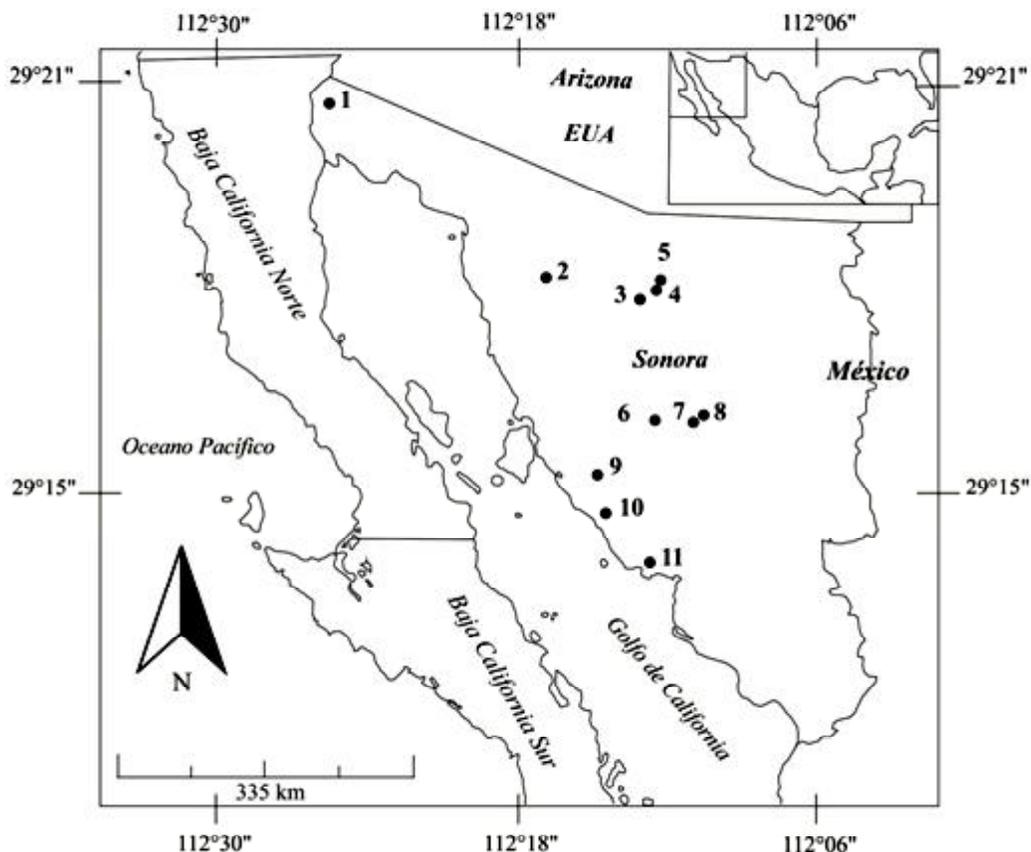


Figura 1. Localización geográfica de los sitios de muestreo para la región norte y centro del Estado de Sonora. El distrito de desarrollo rural (DDR) de Caborca comprende: 1: Valle de San Luis Río Colorado y 2: Valle de Caborca; El DDR de Magdalena: 3: Santa Ana, 4: Magdalena y 5: Terrenate; El DDR de Ures: 6: Pesqueira, 7: El Saúz y 8: El Valle de Ures; El DDR de Hermosillo: 9: Costa de Hermosillo y 10: El Valle el Sahuaral; EL DDR de Guaymas: 11: El Valle de Guaymas.

de cinco puntos, dentro de cada campo, bajo el esquema de zigzag o cuadrícula (según el tamaño del área seleccionada) como sugiere el manual de EPA (2011). Se tomaron muestras de 1.5 kg de suelo de la capa superficial del suelo (cinco muestras) y 60 cm de profundidad (cinco muestras), las cuales se guardaron en bolsas de papel estraza. Las 450 muestras recolectadas se llevaron al Laboratorio de Toxicología de Plaguicidas del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., (CIAD) Hermosillo, Sonora, en donde fueron submuestreadas y almacenadas a -20 °C hasta su análisis.

Análisis Físicoquímico del Suelo

Para la determinación de textura se utilizaron dos muestras compuestas: la correspondiente a la capa superficial del suelo (aproximadamente a 5 cm) y la correspondiente a la profundidad de 60 cm (a partir de la capa superficial) de cada campo. Se utilizó la técnica manual por tamizado descrita por Boul *et al.* (1990) y la NOM-021-RECNAT-2000; este método no considera la separación del limo de la arcilla. La determinación de materia orgánica (MO) fue por el método de oxidación del carbono orgánico descrito en la NOM-021-SEMARNAT-2000, la cual clasifica a los suelos agrícolas por los niveles de MO en: muy bajo < 0.5, bajo 0.6-1.5, medio 1.6-3.5, alto 3.6-6.0 y muy alto > 6.0. Para estas determinaciones se utilizaron tres repeticiones de cada una de las muestras compuestas (45 muestras de la capa superficial del suelo y 45 muestras de suelo a 60 cm de profundidad). Las muestras compuestas están conformadas de los cinco puntos recolectados de la capa superficial del suelo por campo agrícola y de los cinco puntos recolectados a la profundidad de 60 cm.

Extracción y Purificación de Plaguicidas Organoclorados (POC's)

Solución de trabajo. La mezcla de POC's se preparó al 100% de los límites máximos permisibles (LMP) reportados para la matriz suelo (Romero *et al.*, 2009), de ésta se prepararon las demás soluciones de trabajo al 12.5, 25, 50, 100, 150, 200% de los LMP. Los POC's estudiados fueron: α -hexaclorociclohexano (α -HCH), hexaclorobenceno (HCB), γ -hexaclorociclohexano (γ -HCH, lindano), heptacloro, aldrín, isodrin, heptacloro epóxido, γ -clordano,

α -clordano, endosulfán, diclorodifenildicloroetano (DDE), dieldrín, endrín, diclorodifenildicloroetano (DDD), diclorodifeniltricloroetano (DDT), metoxicloro y mirex. Todos los estándares fueron obtenidos de Ultra Scientific.

Método de Dispersión en Matriz en Fase Sólida (DMFS)

La extracción y purificación de los POC's se realizó de acuerdo al método de dispersión de matriz en fase sólida (DMFS) descrito por Valenzuela *et al.* (2006), con algunas modificaciones. El suelo (0.5 g), se mezcló en un mortero con alúmina (0.7 g) inactiva al 9% de humedad (se usó agua destilada). Se agregaron 100 μ L de la solución de trabajo. La mezcla homogeneizada se transfirió a una jeringa de vidrio (volumen de 5 mL), previamente empacada con fibra de vidrio como filtro, 2.7 g de alúmina inactiva y se hizo la elución con 40 mL de hexano grado cromatográfico. El eluato se evaporó a sequedad en un evaporador (Organomation Associates, Inc. Berlin, MA. 01503, USA) a 40 °C con corriente de aire seco, se reconstituyó con 100 μ L de hexano y se inyectó en el cromatógrafo de gases (CG). Para el análisis de los POC's se utilizó un CG Agilent Technologies 6890N (Network GC System) con automuestreador G2614A y con un detector de captura de electrones. Condiciones de separación: temperatura inicial de columna 110 °C, velocidad de calentamiento de 15 °C min^{-1} , temperatura final de columna 320 °C con un tiempo de permanencia de 7 min, un flujo en columna de 2.3 mL min^{-1} y flujo auxiliar de 20 mL min^{-1} ; se utilizó nitrógeno de ultra alta pureza como gas acarreador. Se usó una columna DB-35 MS con una longitud de 30 m, diámetro 320 μ m y película de 0.25 μ m. La temperatura del inyector fue de 275 °C y del detector de 325 °C.

Aseguramiento de la Calidad de los Datos

Con el fin de asegurar la confiabilidad de los datos generados en todos los análisis, se incluyó un blanco muestra o control negativo (tejido libre de POC's), un duplicado de la muestra adicionada o control positivo (tejido blanco adicionado con la solución de trabajo de POC's al 100% de los LMP), un blanco reactivo, una solución de trabajo y un duplicado de extracción de la muestra problema. Asimismo, se estimaron la linealidad

del sistema y del método, la exactitud y precisión del método, los límites de detección (LD) y cuantificación (LC) del sistema, y del método.

Análisis Estadístico

Los datos de los análisis fisicoquímicos de los suelos se analizaron mediante estadística descriptiva y análisis de varianza considerando los diferentes DDR's como un factor. Los datos de residuos de plaguicidas fueron analizados mediante estadística descriptiva; dada la dispersión de la concentración de los POC's, éstos se describieron con la media aritmética y el intervalo de confianza (IC) al 95%. Se calculó el porcentaje de incidencia obtenida de multiplicar el número de muestras de suelos positivos de cada plaguicida por el 100% entre el número total de muestras ($N = 450$). Se evaluó la normalidad y homogeneidad de varianza de las concentraciones de los POC's; los datos para residualidad de POC's resultaron no-paramétricos por lo tanto se utilizó un análisis de varianza de Kruskal-Wallis para comparar las concentraciones de POC's entre DDRs, con significancia de $P < 0.05$. Posteriormente se aplicó una prueba de Dunn ($P < 0.05$) para diferenciar medianas de concentración entre DDR's. El análisis estadístico se realizó empleando el programa estadístico JMP versión 5.0.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del estudio preliminar para determinar campos agrícolas potencialmente contaminados con POC's, se pudo observar que la mayoría de los campos estuvieron expuestos a uno o varios plaguicidas organoclorados. Actualmente, aún se utilizan en el sector agrícola HCB, endosulfán, heptacloro, toxafeno, clordano y el DDT; este último es restringido solo para uso del sector salud (COFEPRIS, 2004). Los productores mencionaron haber aplicado dosis de 3 a 8 kg ha⁻¹, con una frecuencia de dos veces por mes por ciclo de cultivo, la cual es considerada una dosis superior a lo establecido (0.5 a 1.5 kg ha⁻¹) (CCGRS, 1975; SARH, 1979). También comentaron que el cambio de los cultivos históricos (algodón, trigo, ajonjolí, cártamo, maíz, frijol, garbanzo, cebada, sorgo, alfalfa, papa, nogal, uva y cítricos) por los actuales, (principalmente frutas y hortalizas), se debió a que los primeros dejaron de ser rentables debido al aumento en los insumos y a la escasez de agua.

Cabe mencionar que actualmente siguen en producción varios de los cultivos históricos en la región, pero en algunos casos la producción es menor.

Análisis Fisicoquímico del Suelo

Textura del suelo. Los suelos agrícolas con fracciones superiores al 25% de limo y arcilla brindan una humedad adecuada por la capacidad de absorber y retener el agua, lo cual disminuye su permeabilidad, favoreciendo la acumulación y persistencia de los compuestos orgánicos persistentes (Rawls *et al.*, 1982; Boul *et al.*, 1990). En este estudio, solo se logró analizar por separado la fracción de arena gruesa y arena fina, debido a que el método no fue capaz de separar el limo de la arcilla (partículas ≤ 0.063) (NOM-021-RECNAT-2000). Los análisis realizados demuestran que los suelos agrícolas provenientes de todos los DDR's presentan un mayor porcentaje de la fracción de arena fina (más del 60%) en su composición, mientras que la fracción de arena gruesa fue de 14 a 29% y de limo-arcilla de 4 a 10% (Cuadro 1). La característica principal de los suelos estudiados es el contenido de fracciones arenosas (arena fina y arena gruesa) superiores al 90%, las cuales tienen alta permeabilidad, y con ello el riesgo de que los POC's lleguen al manto freático (Aiyesanmi e Idowu, 2012).

Materia Orgánica (MO)

La materia orgánica se genera en suelos agrícolas y se produce por la acumulación y degradación de plantas destruidas, residuos de animales en descomposición y el humus como producto final del sistema de degradación natural (Gavande, 1982). Una vez depositada en el suelo y degradada por los sistemas bióticos y abióticos se convierte en partículas de formas y tamaños irregulares. Estos compuestos funcionan como adsorbentes de compuestos orgánicos como los POC's (Ademola y Giddeon, 2012). Esta adsorción puede ser química o bien física entre la MO y las moléculas de POC's, lo que provoca que estos últimos sean más estables, persistentes y se acumulen en el ambiente (Vollhardt, 2000). La distribución y el comportamiento de los POC's, en suelos están condicionados por diferentes factores: características del suelo (pH, MO, arcilla, nutrientes y actividad microbológica), propiedades de los POC's (presión de vapor, solubilidad, estabilidad química, biodegradabilidad y características de sorción) y factores

Cuadro 1. Textura de los suelos agrícolas por distrito de desarrollo rural (DDR) del Estado de Sonora.

DDR	Arena gruesa		Arena fina		Limo-Arcilla	
	Media [†] %	IC [‡] 95%	Media %	IC 95%	Media %	IC 95%
Caborca	16.6b	13.6-20.0	76.2a	73.8-78.5	7.2b	6.3-8.2
Magdalena	16.8b	13.0-20.0	76.4a	73.0-80.0	4.9c	4.1-5.6
Ures	14.5b	11.3-17.3	75.4a	73.0-77.8	10.2a	9.8-10.5
Hermosillo	29.4a	26.6-32.3	63.3b	61.0-65.8	7.6b	6.8-8.3
Guaymas	24.3a,b	19.7-28.81	71.2a	67.1-75.4	4.5c	3.8-5.2

a-c = medias en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$); [†] media aritmética; [‡] intervalo de confianza al 95%.

ambientales (temperatura y precipitación). Estos factores pueden influir en los POC's facilitando los procesos de lixiviación, biodegradación, volatilización, inmovilización por adsorción con la formación de enlaces con partículas de arcilla y transferencia a organismos (Jones *et al.*, 1996). Por lo anterior el contenido de MO presente en los suelos agrícolas y la fracción de arcilla, puede influir en la dinámica del suelo afectando con ello la actividad, estabilidad, degradación y persistencia de los POC's (Gale *et al.*, 2004; Aiyesanmi *et al.*, 2008). El contenido de MO de todas las muestras compuestas de suelos agrícolas está en el rango de 0.1 a 3.4%; de acuerdo a la norma NOM-021-SEMARNAT-2000 estos suelos se clasifican como de nivel medio de MO. El porcentaje de MO en muestras de la capa superficial del suelo de los campos de Caborca, Magdalena, Hermosillo y Guaymas fueron similares ($P > 0.05$), aunque en los de Magdalena fue mayor (3.4%, $P < 0.05$) (Cuadro 2). Por otro lado, a la profundidad de 60 cm, los suelos agrícolas del DDR de Hermosillo mostraron el mayor porcentaje de MO (1.7%, $P < 0.05$).

Análisis Cromatográfico y Estandarización del Método de DMFS

Con el método de análisis cromatográfico, se logró una buena separación de los 17 POC's, en un tiempo de corrida de 14 min, donde el primero en eluir fue el hexaclorociclohexano (α -HCH) a los 7.43 min y el último fue el mirex a los 13.81 min (Figura 2). Los coeficientes de correlación (r) obtenidos tanto del sistema cromatográfico como del método fueron de 0.9905 a 0.9982, a excepción del mirex ($r = 0.9743$) con CV menores al 20%. El análisis de varianza mostró que no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las repeticiones realizadas cada día, durante los tres días, para cada concentración y para cada plaguicida, lo que indica que se mantuvo la linealidad tanto en el sistema cromatográfico como en el método de DMFS. Los porcentajes de recuperación (% R) del método analítico estuvieron entre el 78 y el 116%, con un CV menor a 20%. Los límites de detección (LD) y de cuantificación (LC) del sistema estuvieron en el rango de concentración

Cuadro 2. Porcentajes de materia orgánica en suelos agrícolas por distritos de desarrollo rural (DDR) del Estado de Sonora.

DDR	Materia orgánica (cm)				Nivel de materia orgánica
	0		60		
	Media [†] %	IC [‡] 95%	Media %	IC 95%	
Caborca	1.7a,b (x)	1.2-2.1	1.1b,c (y)	0.8-1.4	Medio
Magdalena	2.7a (x)	2.1-3.4	1.4b (x)	0.9-1.9	Medio
Ures	1.0b (x)	0.2-1.8	0.2c (y)	0.1-0.9	Medio
Hermosillo	2.3b (x)	1.4-2.1	1.7a (y)	2.1-2.6	Medio
Guaymas	2.3a,b (x)	1.7-3.0	1.1b,c (y)	0.6-1.6	Medio

a-c = medias en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$); x-y = medias en la misma fila con letra diferente son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$); [†] media aritmética; [‡] intervalo de confianza al 95%.

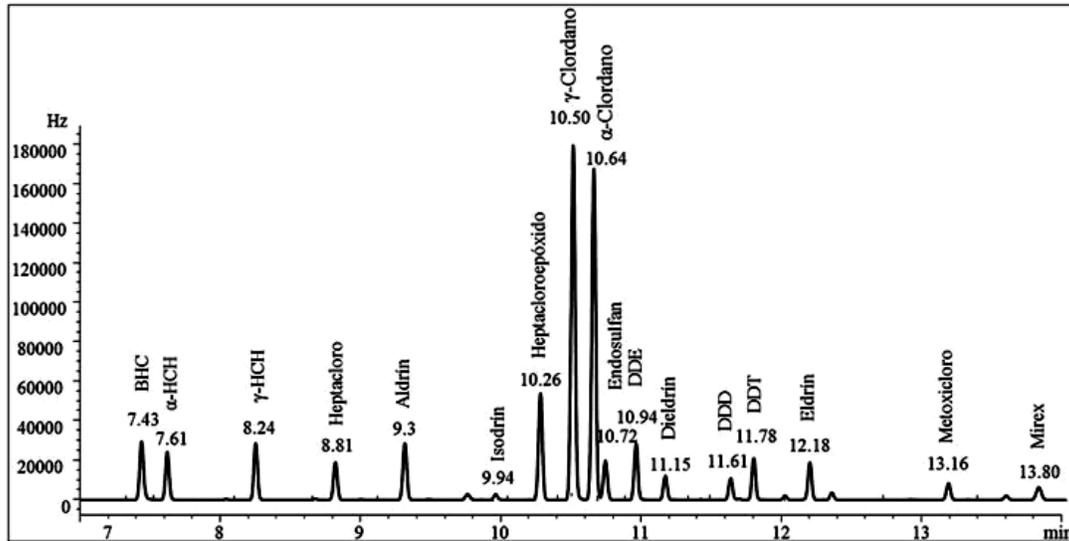


Figura 2. Cromatograma de la mezcla de 17 plaguicidas organoclorados.

de 0.05 a $56.09 (\times 10^{-4}) \mu\text{g kg}^{-1}$ y de 0.16 a $186.98 (\times 10^{-4}) \mu\text{g kg}^{-1}$ respectivamente. Los LD y los LC del sistema y del método se encontraron en el rango de 0.04 a $2.06 \mu\text{g kg}^{-1}$ y de 0.15 a $6.85 \mu\text{g kg}^{-1}$ respectivamente. Estos parámetros cumplieron con los establecidos por la USDA (1991) y la EPA (2011), lo que permite considerar que el método de análisis de los POC's en muestras de suelo fue el adecuado.

Residuos de Plaguicidas Organoclorados (POC's) en Suelos Agrícolas

Los 17 plaguicidas organoclorados fueron encontrados entre todas las muestras de suelo analizadas ($N = 450$), lo que puede indicar que la contaminación se generó durante las aplicaciones históricas y recientes de los POC's en el sector agrícola en suelos procedentes de los DDR's de Caborca, Magdalena, Ures, Hermosillo y Guaymas. El plaguicida con mayor incidencia fue el DDE (66%), seguido por el heptacloro epóxido (48%) y endosulfán (42%); los de menor incidencia fueron el isodrin (2%), BHC (4%) y el DDD (5%). Los POC's que se encontraron con mayor concentración media en Caborca fueron DDE ($9.62 \mu\text{g kg}^{-1}$), endosulfán ($8.87 \mu\text{g kg}^{-1}$) y endrin ($5.63 \mu\text{g kg}^{-1}$), mientras que los POC's con menores concentraciones fueron α -clordano ($1.22 \mu\text{g kg}^{-1}$), DDT ($1.26 \mu\text{g kg}^{-1}$), γ -HCH ($1.44 \mu\text{g kg}^{-1}$), α -HCH ($1.95 \mu\text{g kg}^{-1}$) y el heptacloro epóxido ($1.93 \mu\text{g kg}^{-1}$). En Magdalena los de mayor concentración fueron el endrin ($24.40 \mu\text{g kg}^{-1}$), DDE

($8.99 \mu\text{g kg}^{-1}$), dieldrin ($6.66 \mu\text{g kg}^{-1}$), y en menor concentración media el isodrin ($0.37 \mu\text{g kg}^{-1}$). Para el DDR de Ures los valores más altos fueron el endrin ($8.78 \mu\text{g kg}^{-1}$) y el metoxicloro ($4.21 \mu\text{g kg}^{-1}$). En Hermosillo los POC's con mayor concentración fueron el isodrin ($8.36 \mu\text{g kg}^{-1}$), donde la media ($7.77 \mu\text{g kg}^{-1}$) superó el límite máximo permisible (LMP); además se encontraron concentraciones altas de DDE ($7.77 \mu\text{g kg}^{-1}$), metoxicloro ($8.91 \mu\text{g kg}^{-1}$) y endrin ($7.49 \mu\text{g kg}^{-1}$), las concentraciones menores fueron para el α -HCH ($1.41 \mu\text{g kg}^{-1}$) y lindano ($1.74 \mu\text{g kg}^{-1}$). Finalmente, para el DDR de Guaymas las concentraciones más altas fueron para el endrin ($18.99 \mu\text{g kg}^{-1}$), el DDT ($4.21 \mu\text{g kg}^{-1}$) y el DDE ($45.75 \mu\text{g kg}^{-1}$), éste con un promedio de residuos mayor a sus LMP (Cuadro 3). Los estudios sobre POC's en el estado de Sonora son escasos, entre ellos está el de Aldana *et al.* (2008), donde se encontró residuos de DDT en granos de trigo, frijol, maíz y garbanzo menores a los $20 \mu\text{g kg}^{-1}$. Cantú *et al.* (2011), en el Valle del Yaqui, Sonora, reportaron la presencia de endosulfán, DDE y DDT ($3\text{-}30 \mu\text{g kg}^{-1}$) en agua y en suelos residenciales, que fueron campos agrícolas con cultivos de algodón principalmente. Además, se encontraron residuos de α -HCH, DDE, endrin, DDT y DDD en un rango de $197\text{-}292 \mu\text{g kg}^{-1}$, en suelos agrícolas con cultivos de granos y hortalizas. Estos hallazgos demuestran el uso indiscriminado de POC's en el pasado. La acumulación de los plaguicidas en los suelos se debe principalmente a la antigüedad y a la persistencia en el uso de estos

Cuadro 3. Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas por distrito de desarrollo rural (DDR) del Estado de Sonora ($\mu\text{g kg}^{-1}$).

Plaguicidas	LMP	Caborca (n=120)		Magdalena (n=50)		Ures (n=30)		Hermosillo (n=200)		Guaymas (n=50)	
		$\mu\text{g kg}^{-1}$	Media [†]	IC	Media	IC	Media	IC	Media	IC	Media ¹
HCB	30	2.89a	0.10-5.91	0.73a	-	nd	-	nd	-	4.8a	3.48-6.12
α -HCH,	30	1.95b	1.56-2.34	2.28ab	0.01-5.00	1.75b	0.90-2.63	1.41b	1.20-1.68	3.70a	2.71-4.70
γ -HCH,	40	1.44a	1.14-1.75	1.39a	0.60-2.18	1.56a	0.80-2.35	1.74a	1.24-2.24	1.98a	1.67-2.28
Heptacloro	30	2.73abc	1.74-3.72	1.70cd	0.98-2.42	1.28d	1.00-1.54	2.49b	1.90-3.08	3.42a	2.78-4.6
Aldrín	40	2.31a	1.21-3.42	5.38a	0.01-11.82	0.96a	0.80-1.12	2.83a	1.49-4.17	2.23a	1.62-2.83
Isodrín	4	3.05a	0.01-10.12	0.37a	-	nd	-	8.36a	0.01-30.17	1.43a	0.01-8.67
heptacloro	80	1.93a	1.50-2.35	6.14a	1.10-11.19	0.66b	0.30-1.07	3.00b	1.79-4.20	1.75b	1.10-2.40
γ -clordano	250	2.43b	2.10-2.75	2.33b	1.19-3.47	1.67b	1.20-2.18	2.01b	1.74-2.28	3.75a	2.32-5.19
α -clordano	250	1.22a	1.63-0.19	1.14a	0.78-1.49	1.65a	0.70-2.58	2.55a	0.67-4.42	2.28a	0.26-4.29
Endosulfán	40	8.87a	3.34-14.40	4.07b	3.02-5.12	1.36b	1.20-1.56	3.60b	2.82-4.39	3.86b	2.58-5.13
DDE	40	9.62b	15.18-40.60	8.99b	3.00-14.97	1.01b	0.80-1.20	7.77b	5.67-9.86	45.75a	20.60-70.91
Diendrín	20	3.32a	0.46-6.18	6.66a	2.83-10.48	0.88a	0.30-1.50	2.33a	1.51-3.15	4.30a	0.62-7.98
Endrín	40	5.63c	3.34-7.91	24.40a	13.46-35.33	18.78ab	3.10-34.51	7.49bc	4.58-10.95	18.99a	10.92-27.06
DDD	50	3.10a	1.65-4.56	1.13a	0.81-1.44	1.09a	0.50-1.66	3.95a	0.94-6.96	1.83a	-
DDT	50	1.26a	0.76-1.75	3.46a	2.55-4.38	0.58a	0.01-1.54	4.92a	1.02-8.82	4.21a	2.20-6.22
Metoxicloro	50	2.43a	1.74-3.11	5.04a	0.01-13.90	4.21a	0.01-9.11	8.91a	0.01-19.84	3.15a	0.47-5.82
Mirex	20	2.24a	1.84-2.63	2.00a	0.01-4.30	1.53a	1.15-1.92	4.19a	1.44-6.95	1.73a	1.05-2.42
Σ de POC's superficial	-	18.30b	12.38-24.24	33.16b	16.31-50.02	5.83b	2.40-8.76	18.28b	12.25-24.30	85.05a	33.97-136.14
Σ de POC's a 60 cm	-	13.38b	6.16-2060	43.96b	23.21-64.71	15.48b	3.44-27.51	15.82b	8.49-23.16	43.54b	24.38-62.70

n = número total de muestras analizadas por DDR; nd = no detectado; [†] Media aritmética ($\mu\text{g kg}^{-1}$); IC = intervalo de confianza al 95%; a-d = medias en la misma fila con letra diferente son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$); -valores sin IC al 95%; LMP = límites máximos permisibles de POC's en suelo (Romero *et al.*, 2009).

productos. Los suelos son susceptibles a la acumulación de los POC's, debido a su persistencia en el ambiente, su principal característica, y por su uso histórico-actual en el sector agrícola. Además de ser sumideros naturales de compuestos orgánicos que absorben el carbono orgánico y permanecen relativamente inmóviles. El DDT y el resto de los POC's se encuentran en los suelos de todas las regiones del mundo y distribuidos por todo el entorno (Vassilev y Kambourova, 2006). En estudios de suelos agrícolas en el estado de Puebla, Waliszewski *et al.* (2008), reportaron valores promedios de $16.1 \mu\text{g kg}^{-1}$ para DDT y de $5.3 \mu\text{g kg}^{-1}$ para DDE. Los resultados del presente estudio muestran que en los DDR's se encontraron al menos 15 POC's de los 17 analizados, donde la residualidad de α -HCH, γ -HCH, aldrín, isodrín, α -clordano, diendrín, DDD, DDT, metoxicloro y mirex, fue similar ($P < 0.05$) (Cuadro 3). En Guaymas se encontraron los niveles más altos de HCB, α -HCH, γ -HCH, heptacloro, γ -clordano y DDE ($P < 0.05$), donde la media de este último estuvo

en niveles mayores a los LMP en suelo. En un monitoreo realizado por Vinicio y Martínez (2008) en suelos del Valle del Yaqui, se encontraron residuos de los DDT's desde 0.0651 a $210 \mu\text{g kg}^{-1}$ y para la familia de las aldrinas desde 0.0116 a $214 \mu\text{g kg}^{-1}$. Así mismo, reportaron residuos de DDT's en tejidos de organismos muestreados en cuerpos de agua del mismo Valle, se encontraron en peces concentraciones de 0.1 a $87.3 \mu\text{g kg}^{-1}$, en hígado de peces de 1.0 a $129.83 \mu\text{g kg}^{-1}$, en músculo de sapo de 0.4 a $115.53 \mu\text{g kg}^{-1}$ y en hígado de sapo de 3.6 a $48.4 \mu\text{g kg}^{-1}$. En el presente estudio, los POC's encontrados en mayor porcentaje de muestras que estuvieron por debajo de los LMP fueron el DDE, el endosulfán y el heptacloro epóxido (70%), mientras que el DDE, el endrín, diendrín y el heptacloro epóxido fueron encontrados en el 15% de las muestras y en concentraciones por arriba de los LMP. En los campos analizados del DDR de Caborca se analizaron 120 muestras para cada plaguicida, donde el DDE se encontró en el 63% de las 120 muestras, seguido por

el mirex, heptacloro epóxido, endosulfán, endrín y γ -clordano (30 a 34% de las muestras) todos en concentraciones menores a los límites máximos permisibles.

En el DDR de Magdalena se analizaron 50 muestras, donde el 10% de éstas resultaron contaminadas con α -HCH, lindano, isodrín, DDD y metoxicloro; el 76, 66 y 50% resultaron contaminados con DDE, DDT y heptacloro epóxido respectivamente, por abajo de los LMP y menos del 14% de las muestras resultaron contaminados con DDE, dieldrín, endrín en concentraciones mayores a los LMP. En el DDR de Ures se analizaron 30 muestras y ninguna mostró presencia de α -HCH e isodrín; solamente en el 10% de ellas se encontró α -clordano y dieldrín; el DDE, el aldrín y el mirex resultaron estar presentes en el 43, 40 y 30% de las muestras contaminadas respectivamente en concentraciones menores a los LMP, sin embargo el endrín se detectó en el 3% de las muestras en concentraciones mayores a los LMP. Para el DDR de Hermosillo se analizó un total de 200 muestras, donde solo en el 10% de éstas se encontró lindano, DDD, DDE, heptacloro epóxido, endrín, DDT, metoxicloro y mirex, el isodrín se encontró en el 6% de las muestras analizadas, todas las muestras positivas estuvieron por abajo de los LMP.

Para el DDR de Guaymas se analizaron 50 muestras donde se encontró con mayor frecuencia endosulfán (80% de las muestras), heptacloro epóxido (68%) y DDT (62%) en concentraciones menores a los LMP; el DDE encontrado en el 58% de las muestras, rebasó los LMP en el 28% de éstas. Por lo anterior se tiene que en el DDR de Caborca se encontraron los 17 POC's, en Guaymas y Hermosillo 16 y en Magdalena y Ures 15 (Cuadro 3).

Para relacionar las concentraciones de los POC's con las profundidades y con las características del suelo se calculó la suma de los residuos de POC's de cada muestra de suelo (Cuadro 3). Se pudo observar que en la mayoría de los DDR's (82% de los campos agrícolas) hay una mayor concentración de POC's en la superficie, excepto por Magdalena y Ures (18% de los campos agrícolas) donde los POC's están en mayor concentración a 60 cm (Cuadro 3). Estas diferencias no son estadísticamente significativas, excepto en el distrito de Guaymas, cuyos campos tienen más residuos en la superficie que a 60 cm ($P < 0.05$).

Considerando las asociaciones entre la MO y los POC's se encontró que el contenido de MO y los POC's

de los suelos en la capa superficial, tienen correlación de $r = 0.34$ ($P < 0.02$). En referencia a la asociación de POC's con MO, los campos con mayor contenido de MO (Cuadro 2) en la superficie son los que presentan mayor contenido de POC's, excepto por los distritos de Magdalena y Ures, que tienen más MO en la capa superficial pero menos POC's (18% de los campos). La asociación positiva entre MO y POC's coincide con lo encontrado por otros autores (Jrgensen *et al.*, 1991; Homburg *et al.*, 2011), dado que es en la capa superficial del suelo donde se concentra la mayor cantidad de MO.

Los suelos agrícolas de Sonora son arenosos (90% de arenas en promedio); es así que en los campos estudiados los POC's pueden desplazarse verticalmente de una capa a otra del suelo. Esto origina un riesgo potencial de contaminación de los mantos freáticos por POC's. Se requiere un estudio específico sobre las características de los horizontes de los suelos agrícolas para tener una estimación más precisa de la potencialidad de contaminación por POC's de los mantos freáticos del subsuelo.

CONCLUSIONES

- El presente estudio permitió verificar y confirmar la presencia de 17 plaguicidas organoclorados (POC's) en las principales zonas agrícolas del estado de Sonora (Caborca, Magdalena, Ures, Hermosillo y Guaymas). Todos los suelos agrícolas monitoreados presentaron residuos de al menos uno de los POC's estudiados, ya sea por arriba o por abajo de los Límites Máximos Permisibles, siendo estos últimos los más encontrados. No obstante, los suelos agrícolas son considerados sitios contaminados, debido a la principal característica de persistencia de estos contaminantes, que pueden favorecer la degradación del suelo y con ello pérdidas en la economía del productor al disminuir la capacidad de producción de los suelos agrícolas.

- Los valores de residuos de los POC's encontrados en los suelos agrícolas pueden ser utilizados como referentes, por tratarse del primer estudio representativo que se realiza en estas zonas agrícolas. La información generada contribuirá con el inventario nacional de sitios contaminados en las zonas de riesgo por el uso histórico y actual de los POC's. Además, permitirá puntualizar las acciones de reducción y eliminación de estos contaminantes contribuyendo a la disminución de los riesgos a la salud y al medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Sectorial-CONACYT: Convocatoria SEMARNAT- S0010-2008-1 por el financiamiento, al Laboratorio de Residuos Tóxicos, del CIAD, A.C. por las facilidades prestadas en sus instalaciones para realizar parte del estudio, a la Q.B. Amanda Langure C. y la Q.B. Cristina Orantes A., por su apoyo técnico analítico, a la M.C. Aurora Vidal M. por su apoyo técnico en la comunicación, a la M.C. Martha Del Río S. por el apoyo técnico en la edición del mapa, al Lic. Osvaldo Ballesteros V. por el apoyo técnico en la edición del resumen en inglés, a la M.C. Margarita de la O y a la M.C. Norma J. Salazar, por el apoyo técnico en la estandarización de las técnicas para la determinación de textura y materia orgánica de los suelos analizados, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Aiyesanmi, A. F. and G. A. Idowu. 2012. Organochlorine pesticides residues in soil of cocoa farms in ondo state central district, Nigeria. *Environ. Nat. Resour. Res.* 2: 65-73.
- Aiyesanmi, A. F., W. B. Tomori, and B. J. Owolabi. 2008. Relative partitioning of some heavy metals in dumpsite soil using chemical speciation technique. *Int. J. Chemical Sci.* 1: 96-104.
- Aldana-Madrid, M. L., S. Valdez-Hurtado, N. D. Vargas-Valdez, N. J. Salazar-Lopez, M. I. Silveira, F. G. Loarca-Piña, G. Rodríguez-Olibarria, F. J. Wong-Corral, J. Borboa-Flores, and A. Burgos-Hernández. 2008. Insecticide residues in stored grains in Sonora, México: Quantification and toxicity testing. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 80: 93-96.
- Bellingham, M., P. A. Fowler, M. R. Amezaga, S. M. Rhind, C. Cotinot, B. Mandon-Penin, R. M. Sharpe, and N. Evans. 2009. Exposure to complex cocktail of environmental endocrine-disrupting compounds disturbs the kisspeptin/GPR54 system in ovine hypothalamus and pituitary gland. *Environ. Health Perspec.* 117: 1556-1552.
- Boul, S. W., F. D. Hole y R. J. McCacken. 1990. Génesis y clasificación de suelos. Trillas. México, D. F.
- Cantú-Soto, E. U., M. M. Meza-Montenegro, A. I. Valenzuela-Quintanar, A. Félix-Fuentes, P. Grajeda-Cota, J. J. Balderas-CorteS, C. L. Osorio-Rosas, G. Acuña-García, and M. G. Aguilar-Apodaca. 2011. Residuos of organochlorine pesticides in soils from the southern Sonora, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 87: 556-560.
- CCGRS (Campaña Contra el Gusano Rosado en Sonora). 1975. Boletín no. 34, marzo-abril. Hermosillo, Sonora.
- COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). 2004. Catálogo de plaguicidas. 2004. <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>. (Consulta: enero 10, 2013).
- Coscolla, R. 1983. Residuos de plaguicidas en alimentos vegetales. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2011. The U. S. Environmental Protection Agency (USEPA). List of minimum limits of risk (MRL) for pesticides in soil. <http://www.epa.gov/gateway/science/pesticides.html>. (Consulta: agosto 10, 2011).
- FAO (Organización Mundial de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación). 2009. Guía para la descripción de suelo. FAO. Organización Mundial de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Gale, N. L., C. D. Adams, B. G. Wixson, K. A. Loftin, and Y. W. Huang. 2004. Lead, zinc, copper, and cadmium in fish and sediments from the Big River and Flat River Creek of Missouri's Old Lead Belt. *Environ. Geochem. Health* 26: 37-49.
- Gavande, S. A. 1982. Física de los suelos: Principios y aplicaciones. Limusa. México, D. F.
- Homburg, Jeffrey A. and J. A. Sandor. 2011. Anthropogenic effects on soil quality of ancient agricultural systems of the American Southwest. *Catena* 85: 144-154.
- INECC-CCA (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-Comisión para la Cooperación Ambiental). 2010. Guía para la validación de métodos alternos de análisis. México, D. F.
- Jones, K. C., R. E. Alcock, D. L. Johnson, K. T. Semple, and P. J. Woolgar. 1996. Organic chemicals in contaminated land: Analysis, significance and research priorities. *Land Contaminat. Reclam.* 3: 189-198.
- Jrgensen, S. E., L. A. Jorgensen, and S. N. Nielsen. 1991. Handbook of ecological parameters and ecotoxicology. Elsevier. Amsterdam, Netherlands.
- Martínez V., C. y S. Gómez A. 2007. Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas. *Rev. Int. Contam. Ambien.* 23: 185-200.
- Meza-Montenegro, M. M., A. I. Valenzuela-Quintanar, J. J. Balderas-Cortés, L. Yáñez-Estrada, M. L. Gutiérrez-Coronado, A. Cuevas-Robles, and A. J. Gandolfi. 2013. Exposure assessment of organochlorine pesticides, arsenic, and lead in children from the major agricultural areas in Sonora, Mexico. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 64: 519-527.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México, D. F.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. 1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación. México, D. F.
- OEIDRUS (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Sonora). 2011. Estadística agrícola. <http://www.oeidrus-sonora.gob.mx/>. (Consulta: julio 15, 2011).
- Rawls, W. J., D. L. Brakensiek, and K. E. Saxton. 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE* 25: 1316-1320.
- Roberts, E. M., P. B. English, J. K. Grether, G. C. Windham, L. Somberg, and C. Wolff. 2007. Maternal residence near agricultural pesticide applications and autism spectrum disorders among children in California Central Valley. *Environ. Health Perspect.* 15: 1482-1489.
- Romero T., T., C. Cortinas N. y V. J. Gutiérrez A. 2009. Diagnóstico nacional de los contaminantes orgánicos persistentes en México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

- Sagiv, S. K., J. K. Nugent, T. B. Brazelton, A. L. Choi, P. E. Tolbert, L. M. Altshul, and S. A. Korrick. 2008. Prenatal organochlorine exposure and measures of behavior in infancy using the neonatal behavioral assessment scale (NBAS). *Environ. Health Perspect.* 116: 666-673.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1979. La rabia del garbanzo en costa de Hermosillo, Sonora. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste. Hoja desplegable no. 32. Sonora, México.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2007. Plan nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo. SEMARNAT. México D. F. Mayo 2003. <http://www.ine.gob.mx> y <http://www.pni-mexico.org>. (Consulta: abril 10, 2011).
- Torres S., L. y L. López C. 2007. Efectos a la salud y exposición a p, p'-DDT y p, p'-DDE. El caso México. *Ciênc. Saúde Colect.* 12: 51-60.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1991. Analytical chemistry laboratory guidebook. Residue chemistry. Science and Technology. USDA. FSIS. Washington, D. C. USA.
- Valenzuela Quintanar, A. I., R. Armenta Corral, E. Moreno Villa, L. Gutiérrez Coronado, P. Grajeda Cota y C. Orantes Arenas. 2006. Optimización y validación de un método de dispersión de matriz en fase sólida para la extracción de plaguicidas organofosforados en hortalizas. *Rev. Fac. Agron.* 23: 464-474.
- Vassilev, K. and V. Kambourova. 2006. Pesticides as global environmental pollutants. *Chem. Intent. Accid. Global Environ. Threats* 26: 173-191.
- Vinicio J., Macías Zamora, M. A. Martínez-Cordero, J. L. Sánchez Osorio, N. Ramírez Álvarez y J. Hernández. 2008. Diagnóstico de contaminantes orgánicos persistentes (COP) en el Valle del Yaqui. Reporte Final. INE/A1-006/2008. http://www.ine.gob.mx/descargas/sqre/2008_rep_final_cop_yaqui.pdf (Consulta: mayo 25, 2011).
- Vollhardt, K. P. 2000. Química orgánica. Omega. Madrid, España.
- Waliszewski, S., O. Carvajal, S. Gómez, O. Amador, R. Villalobos, P. Hayward, and R. Valencia. 2008. DDT and HCH isomer levels in soils, carrot root and carrot leaf samples. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 81: 343-347.
- Wang, R., R. Jain, A. Wolkin, C. Rubin, and L. Needham. 2009. Serum concentrations of selected persistent organic pollutants on a sample of pregnant females and changes in their concentrations during gestation. *Environ. Health Perspec.* 117: 1244-1249.
- Ward, M. H., J. S. Colt, C. Metayer, R. B. Gunier, J. Lubin, V. Crouse, M. G. Nishioka, P. Reynolds, and P. A. Buffler. 2009. Residential exposure to polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides and risk of childhood leukemia. *Environ. Health Perspec.* 117: 1007-10013.
- Xu, X., A. B. Dailey, E. O. Talbott, V. A. Ilacqua, G. Kearney, and N. R. Asal. 2010. Associations of serum concentrations of organochlorine pesticides with breast cancer and prostate cancer U. S. in adults. *Environ. Health Perspec.* 118: 60-66.
- Yu, S. J. 2008. The toxicology and biochemistry of insecticides. Chapter 11 Pesticides in Environment. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.