

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

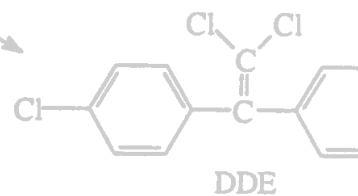
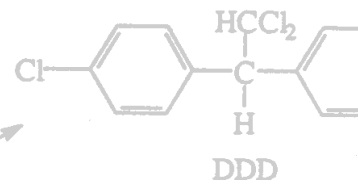
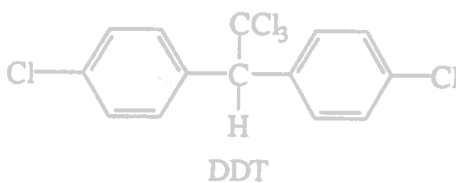
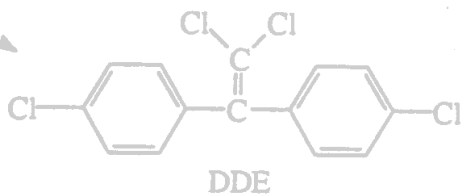
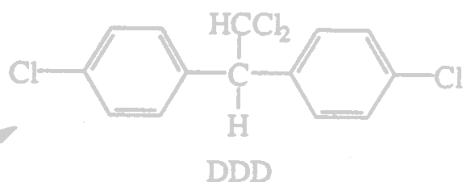
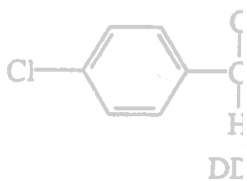
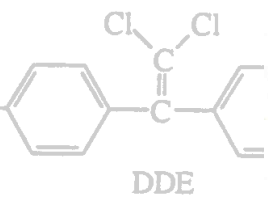
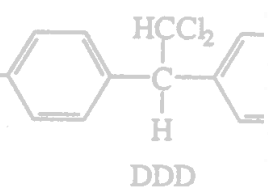
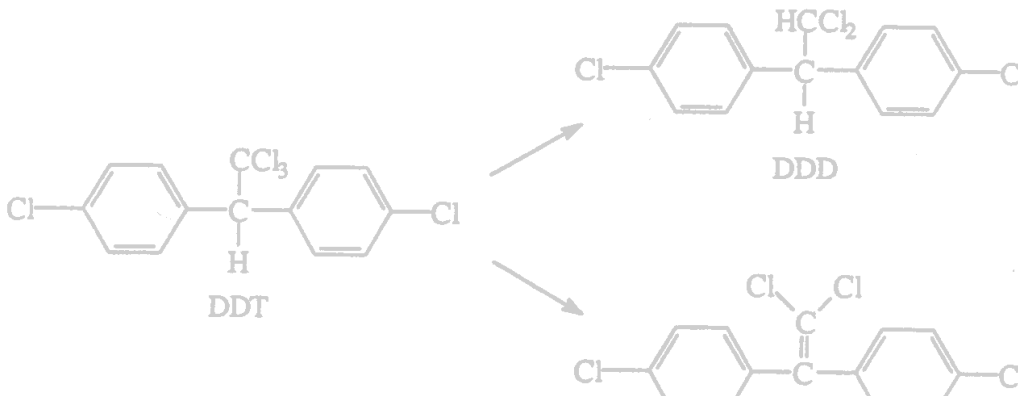
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
LICENCIATURA EN OCEANOLOGÍA



"COMPUESTOS ORGANOCORADOS EN VALLE DEL YAQUI, SONORA"

TESIS
Que para obtener el título de:
OCEANÓLOGO
Presenta:
Sara Olimpia Topete Martinez

Ensenada, B.C. Agosto 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



COMPUESTOS ORGANOCLORADOS EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA.

Tesis para obtener el título de Oceanólogo
Presenta:

SARA OLIMPIA TOPETE MARTÍNEZ.

Ensenada, Baja California, agosto del 2013.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



COMPUESTOS ORGANOCOLORADOS EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA.

Tesis para obtener el título de Oceanólogo
Presenta:

SARA OLIMPIA TOPETE MARTÍNEZ.

Ensenada, Baja California, agosto del 2013.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**COMPUESTOS ORGANOCORADOS EN VALLE DEL YAQUI,
SONORA.**

Tesis para obtener el título de Oceanólogo

Presenta:

SARA OLIMPIA TOPETE MARTÍNEZ

Aprobada por:

Dr. José Vinicio Macías Zamora
Director de tesis

M.C. Sergio Raúl Canino Herrera
Sinodal

Dra. Nancy Ramírez Álvarez
Sinodal.

Ensenada, Baja California, agosto del 2013

AGRADECIMIENTOS.

A ti, siempre estás ahí.

Por su paciencia, explicaciones, conocimiento y sobre todo su tiempo a mi director Vinicio, a Nancy y José Luis, gracias.

A ti mamá, con esto cierro un ciclo que tú me ayudaste a iniciar.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	5
CONTENIDO	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	11
RESUMEN	13
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Características químicas y fisicoquímicas	18
1.2 Bioacumulación de plaguicidas	20
2. ÁREA DE ESTUDIO	23
2.1 Antecedentes	27
3. JUSTIFICACIÓN	30
4. OBJETIVOS	32
4.1 Objetivo general	32
4.2 Objetivos particulares	32
5. MÉTODOS	33
5.1 Selección de estaciones de muestreo	33
5.2 Procedimiento in situ	33
5.3 Análisis químico	36
5.4 Estadística aplicada	41
6. RESULTADOS	42

7. DISCUSIÓN	59
8. CONCLUSIONES	66
9. REFERENCIAS	67
10. ANEXOS	76

ÍNDICE DE FIGURAS.

- Figura 1.** Localización de la zona de estudio. Valle del Yaqui, Sonora México.-----**24**
- Figura 2.** Localización de las estaciones de muestreo en Valle del Yaqui, Sonora; en color rojo las estaciones de muestreo en suelo, en color morado las estaciones de muestreo en sedimento.-----**34**
- Figura 3.** Cromatograma de los 20 plaguicidas organoclorados y los dos estándares interno, un punto de la curva de calibración con una concentración de 200 ng/ml.-----**42**
- Figura 4.** Diagramas de concentración total de compuestos organoclorados (suma total) en suelo y sedimento por localidad de muestreo.-----**43**
- Figura 5.** Concentración total de compuestos organoclorados por estación en muestras de sedimento en Valle del Yaqui, Sonora; la figura b) es una ampliación de la figura a).-----**44**
- Figura 6.** Concentración total por compuesto en muestras de suelo cuantificados en Valle del Yaqui, Sonora; la figura b) es una ampliación de la figura a).-----**44**
- Figura 7.** Frecuencia de la presencia de los veinte compuestos medidos en las catorce estaciones de muestreo en sedimentos. El color azul indica la presencia del compuesto y el color rojo indica la ausencia del compuesto.-----**45**
- Figura 8.** Frecuencia de la presencia de los veinte compuestos medidos en las veintisiete estaciones de muestreo en suelo. El color azul indica la presencia del compuesto y el color rojo indica la ausencia del compuesto.-----**45**

Figura 9 Distribución espacial de compuestos organoclorados totales en muestras de suelo, nombrando las localidades que presentaron mayor concentración.-----46

Figura 10. Distribución espacial de compuestos organoclorados totales en muestras de sedimento.-----47

Figura 11. Concentración de compuestos organoclorados en las estaciones de sedimentos costeros, donde Guásima, Río Muerto y Algodones representan la zona costera norte del valle, Baira y Bahía Lobos la zona costera centro del valle y Estero el Tóbari la zona costera sur del valle.-----47

Figura 12. Distribución espacial de los compuestos organoclorados en suelo y sedimento que presentaron las concentraciones más altas en el Valle del Yaqui, Sonora. El tamaño de cada signo de identificación del compuesto es proporcional a su concentración.-----48

Figura 13. Correlación de la concentración total de compuestos organoclorados vs carbono orgánico en muestras de suelo y sedimento.-----49

Figura 14. Distribución de pesticidas organoclorados de sedimentos en las localidades que presentaron mayor concentración.-----50

Figura 15. Distribución de pesticidas organoclorados en suelo de las localidades que presentaron mayor concentración.-----51

Figura 16. Razón DDT/DDE.-----52

Figura 17. Razón del proceso de degradación del 4,4-DDT en suelo y sedimento.-----53

Figura 18. Porcentaje de concentración de los metabolitos del DDT respecto al DDT total.-
-----54

Figura 19. Razón Aldrín/Dieldrín.-----55

Figura A. Prueba estadística no paramétrica de Friedman aplicada a los datos de concentraciones totales en cada estación de muestreo de la zona costera del Valle del Yaqui, Sonora para establecer diferencias significativas usando un α 0.05 en el programa STATISTICA 10.-----77

Figura B. Prueba estadística no paramétrica exacta de fisher aplicada a la correlación de datos de carbono orgánico y pesticidas organoclorados medidos en sedimentos para establecer diferencias significativas usando un α 0.05 en el programa STATISTICA 10.-----77

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla I. Plaguicidas que en su importación, fabricación, formulación, comercialización y uso han sido prohibidos en México, conforme al Diario Oficial de la Federación del 3 de enero de 1991.....	16
Tabla II. Localidades de Valle del Yaqui donde se localizan las estaciones de muestreo.....	35
Tabla III. Plaguicidas prohibidos, restringidos, así como su DL50 incluidos en el catálogo de la CICOPRAFEST.....	56
Tabla IV. Límites máximos permisibles de contaminantes en suelo contenido en el apendice A de la norma PROY-NMX-AA-109-SCFI-2007 comparado con la concentración máxima encontrada de cada compuesto en éste trabajo.....	57
Tabla V. Comparación de concentraciones total promedio de DDT en muestras de suelo en diferentes países respecto al reportado en éste trabajo.....	57
Tabla VI. Comparación de compuestos organoclorados medidos en distintos lugares de la república mexicana en muestras de sedimento, [ng/g].....	58
Tabla A. Límites permisibles de contaminantes en suelo contenidos en la norma PROY-NMX-AA-109SCFI-2007.....	76
Tabla B. Tiempo de retención de los 20 compuestos organoclorados en cada una de las concentraciones establecidas en la curva de calibración.....	78
Tabla C. Áreas de la curva de calibración de los 20 compuestos organoclorados.....	79

Tabla D. Áreas relativas al estándar interno de la curva de calibración de los 20 compuestos organoclorados.-----**80**

Tabla E. Parámetros de las funciones obtenidas de la curva de calibración para obtener las concentraciones de cada compuesto.-----**81**

Tabla F.1-F.4 Concentración de los compuestos organoclorados medidos en Valle del Yaqui, Sonora.-----**82**

Tabla G. Porcentajes de recuperación de las muestras analizadas en Valle del Yaqui, Sonora.-----**86**

RESUMEN

Este estudio se realizó con el objetivo de hacer un diagnóstico de la situación de los COP's en el Valle del Yaqui, Sonora y estimar el nivel de riesgo al cual está expuesta la población, principalmente los infantes. El presente trabajo reporta únicamente los isómeros α (alfa), β (beta), γ (gama) y δ (delta) del hexaclorociclohexano (HCH ó BHC), los metabolitos del DDT, y diez COPs todos ellos compuestos organoclorados incluidos en el convenio de Estocolmo cuantificados en suelo y sedimento. El muestreo se realizó en el mes de agosto del 2008 obteniendo 14 muestras de sedimento y 25 muestras de suelo distribuidas en todo el Valle del Yaqui para determinar las concentraciones de éstos compuestos y su distribución superficial. Un metabolito del DDT, el 4,4-DDE, presentó mayor frecuencia de aparición y a su vez presentó la mayor concentración de compuestos organoclorados en cada una de las estaciones de muestreo principalmente en Torim, Bachobampo, Buena Vista, Villa Juárez, Ejido Morelos y Bacum. Las mayores concentraciones de compuestos organoclorados se localizaron al sur del valle, en suelo como en sedimento, siendo Villa Juárez la localidad con mayor concentración en donde es posible que hayan aplicaciones recientes de aldrín y dieldrín. De los plaguicidas restringidos actualmente por la CICOPLAFEST, el γ -HCH, DDT y el metoxicloro fueron encontrados y de acuerdo a la norma PROY-NMX-AA-109-SCFI-2007, sólo el dieldrín presentó una concentración por arriba de la permisible en suelos con 0.203 mg/kg en la localidad de Villa Juárez. Con esto se estima que la población de la zona sur está en un riesgo mayor de exposición a compuestos organoclorados (pesticidas) que los de la zona norte del Valle del Yaqui, con principal foco de afectación en la localidad de Villa Juárez.

Palabras clave: compuestos organoclorados, 4,4-DDE, pesticidas.

1. INTRODUCCIÓN

Los campos agrícolas son grandes extensiones de tierra donde el cultivo de materia prima a menudo se ve afectado por plagas, por esto el uso de plaguicidas se volvió en una necesidad en ésta actividad.

En su mayoría, los plaguicidas son sustancias químicas sintéticas, destinadas al control de plagas de especies no deseadas que causan un perjuicio y/o que interfieren en la producción agropecuaria industrial. Para ello, a finales de los años treinta y principios de los cuarenta un compuesto organoclorado con fines pesticidas fue sintetizado, el DDT (diclorodifeniltricloroetano), teniendo una gran aceptación en la agricultura y empleándose más que ningún otro en el mundo (CCME, 1999). Con ello comenzó una nueva era en el control de plagas que para la década de los 60's dio auge al uso de los compuestos organoclorados a nivel mundial.

El uso de compuestos sintéticos en la agricultura produjo como resultado evidencia de contaminación asociada a compuestos organoclorados en el medio ambiente. Young y Nicholson en 1967 reportaron que en 1950 un pesticida orgánico artificial usado en agricultura causó gran mortandad de peces en ríos de Alabama, Estados Unidos. Éste y otros estudios posteriores demostraron que el DDT era un serio contaminante, por ello, en 1972 su uso fue restringido en E.U.A. A partir de su regulación, los pesticidas organoclorados fueron sustituidos por organofosforados, carbofuranos y carbamatos debido a que éstos pesticidas, a diferencia de los organoclorados, son más solubles, tienen un menor tiempo de residencia, presentan un coeficiente de partición con la materia orgánica más bajo y son menos bioacumulables, lo que disminuye su grado de toxicidad (Domaglaski y Kuivila, 1993; Fuller *et al.*, 1999; Venkatesan *et al.*, 1999).

En México, el uso del DDT está prohibido desde 1978 y actualmente es reservado únicamente para el ejecutivo federal en campañas de salud para el control del paludismo en estados como Guerrero, Chiapas, Sinaloa, Michoacán y Oaxaca (CICOPLAFEST, 2004). A pesar de ello, éste y sus productos de degradación se siguen encontrando en la biota, sedimento, suelo y aire. Por otro lado, algunos plaguicidas organoclorados que

aunque no son menos tóxicos si son menos persistentes, se siguen utilizando de manera controlada por el ejecutivo federal como son el endosulfán, clordano, lindano y metoxicloro (CICOPLAFEST, 2004). En México, el organismo regulador de los plaguicidas es la CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas), trabajando de manera coordinada con la secretaría de Energía (SE), de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y de Salud (SS), creada en octubre de 1987, sin embargo, hay pocos registros del uso de éstos compuestos en el transcurso de los años. CICOPLAFEST y las secretarías que lo integran han elaborado desde 1988 el Catálogo Oficial de Plaguicidas que contiene los productos registrados y sus usos autorizados, sus características principales, así como las indicaciones para su uso e información sobre los riesgos que los mismos implican y además el tratamiento en caso de intoxicaciones (CICOPLAFEST, 2004). A su vez están regulados por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, ubicando a los pesticidas como tóxicos ambientales, sin embargo ésta norma no maneja límites máximos permisibles para suelos. Existe un proyecto de norma mexicana de aplicación no obligatoria, PROY-NMX-AA-109SCFI-2007, que describe las materias, parámetros y características que determinan el desempeño ambiental de una industria para obtener un certificado ambiental en el marco del Programa Nacional de Auditoría Ambiental, en el apéndice A del documento se encuentra el listado de sustancias contaminantes, entre ellas varios tipos de plaguicidas y el nivel máximo permitido de dicha sustancia en el suelo. (Anexos, tabla A)

Tabla I. Plaguicidas que en su importación, fabricación, formulación, comercialización y uso han sido prohibidos en México, conforme al Diario Oficial de la Federación del 3 de enero de 1991.

<i>Plaguicidas prohibidos por la CICLOPLAFEST</i>	
<i>Acetato o propionato de fenil mercurio</i>	<i>Erbón</i>
<i>Acido 2,4,5-T</i>	<i>Formotión</i>
<i>Aldrín</i>	<i>Fluoracetato de sodio (1080)</i>
<i>Cianofos</i>	<i>Fumisel</i>
<i>Cloranil</i>	<i>Kepone/Clordecone</i>
<i>DBCP</i>	<i>Mirex</i>
<i>Dialifor</i>	<i>Monurón</i>
<i>Dieldrín</i>	<i>Nitrofén</i>
<i>Dinoseb</i>	<i>Schradán</i>
<i>Endrín Triamifos</i>	<i>Tramifos</i>

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) expone en trabajos de investigación que del total de los plaguicidas utilizados en la agricultura solamente el 1% del principio activo que los caracteriza llega a los cultivos con eficiencia, logrando así controlar ó eliminar la plaga; el resto de ellos se distribuye en el aire por evaporación, en el suelo, filtrándose a través de él hacia mantos freáticos ó directamente hacia cursos de agua como ríos, arroyos, lagos, pozos entre otros (Mata *et al.*, 2002).

Tras largos años de negociación con el fin de tener compromisos legales entre los países que los obligue de manera urgente a la eliminación de todos los compuestos orgánicos persistentes (COPs), el 23 de mayo del 2001, 152 países firmaron el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, el cual tiene como objetivo la protección de la salud humana y el medio ambiente, reduciendo prohibiendo y eliminando su uso. El convenio está determinado por una docena de compuestos conocidos como la docena sucia, nueve de ellos son plaguicidas (aldrin, endrin, dieldrin, DDT, clordano, toxafeno, heptacloro, hexaclorobenceno y mirex) sobre los cuales es necesario emprender medidas urgentes para su eliminación. Los COPs que abarca son:

Eliminar su producción y uso.

- Aldrin
- Clordano
- Dieldrin
- Endrin
- Heptacloro
- Hexaclorobenceno
- Mirex
- Toxafeno
- Bifenilos policlorados (BPC)

Restricción de producción y uso.

- DDT

Reducción y eliminación de liberaciones de productos químicos.

- Dioxinas
- Furanos

Una de las características que hace a éstos compuestos peligrosos para el medio ambiente y por ende para los seres vivos es que son bioacumulables, se acumulan vía cadenas alimenticias en los tejidos grasos de los seres vivos, donde persisten por años. Esta característica se debe a los enlaces carbono-cloro en su estructura química, hace a la mayoría de los organismos incapaces de degradarlos. En el ambiente éstos compuestos de alta toxicidad crónica tienen la característica de degradarse muy lentamente con vida media entre 2 y 15 años (clasificándose como contaminantes orgánicos persistentes, COPs), lo que permite una amplia distribución, acumulación, dispersión y transformación dados por la conducta ambiental regido por las propiedades físicas y químicas de cada sustancia individual y la fisicoquímica del medio (CCME, 1999).

1.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS.

Los pesticidas son compuestos orgánicos sintéticos, su clasificación radica en el tipo de organismo que atacan, entre ellos están: insecticidas, herbicidas, fungicidas y nematocidas. Los insecticidas a su vez se clasifican de acuerdo a su composición química en pesticidas organofosforados, carbamatos y organoclorados. Dentro del grupo de los plaguicidas organoclorados se encuentran cuatro subclasificaciones de acuerdo a su estructura química (Flores, 2006).

- a) Aromáticos clorados.** Su persistencia está dada por el anillo bencénico lo que le confiere estabilidad, incluyen al DDT y análogos: Dicofol, DDD, Bulan®, clorfenetol, clorobencilato, cloropropilato, etilan, metoxicloro y Prolan®.
- b) Cicloalcanos clorados.** Representados por el hexaclorociclohexano (HCH), este compuesto se sintetiza clorando el benceno. Este químico consiste en isómeros estéricos nombrados como α , β , γ , δ y ϵ - HCH, de éstos isómeros solo el γ - HCH tiene propiedades insecticidas, conocido comercialmente como lindano, los otros isómeros son menos tóxicos.
- c) Ciclodiénicos clorados.** Incluyen aldrín, endrín, dieldrín, telodrín, heptacloro, isobenzam, clordano, endosulfan y mirex. En este grupo se encuentran los compuestos más tóxicos.
- d) Terpenos clorados.** Entre ellos se encuentra el toxafeno también conocido como canfeclor. En este grupo se encuentran una mezcla compleja de químicos, muchos aún estructuralmente desconocidos.

Además de sus propiedades estructurales, los pesticidas poseen propiedades fisicoquímicas comunes, dentro de las más importantes en su distribución ambiental están su gran estabilidad química, su apreciable volatilidad a temperatura ambiente lo que permite ser transportados en fase vapor por todo el mundo. El enlace cloro-carbono le da estabilidad frente a la hidrólisis, mientras más sustituciones de cloro y/o grupos

funcionales es mas elevada su resistencia a la degradación biológica y mayor su toxicidad (UNEP, 1998). Debido a ésta halogenación, su solubilidad en agua es muy baja (hidrofóbicos) y por el contrario alta en lípidos ($\log K_{ow}$: 6.0, donde K_{ow} es el coeficiente de partición octanol-agua y representa la razón de solubilidad de un compuesto en octanol, solvente no polar, respecto a su solubilidad en agua, solvente polar; el $\log K_{ow}$ es un indicador relativo de la tendencia de un compuesto orgánico para ser adsorbido al suelo), lo que les confiere la propiedad de pasar fácilmente a través de la estructura fosfolipídica de las membranas biológicas y acumularse en los depósitos de grasa (Suntio *et al.*, 1988; Budavari *et al.*, 1989).

Entre las características químicas destacadas para los ciclodienos clorados se encuentra su relativa estabilidad ante la luz solar, por lo que son usados en contra de las termitas e insectos que se reproducen en los campos de cultivo (especialmente el clordano, heptacloro, aldrin y dieldrin) (Ware, 1978), es por ello de su éxito comercial. Para los aromáticos clorados teniendo al DDT como mejor representante sintetizado, se le atribuye al anillo aromático la resistencia a su degradación; posee dos isómeros en su formulación, en un 15% el 2,4-DDT que es muy difícil de remover y el 4,4-DDT en un 85%, éste es prácticamente insoluble en agua y moderadamente soluble en hidróxidos, solventes polares y en aceites de petróleo además se disuelve rápidamente en la mayoría de los solventes aromáticos clorinados (Reserbrough *et al.*, 1978). La degradación del 4,4-DDT se lleva a cabo en la parte alifática de la molécula, resultando dos metabolitos importantes el 4,4-DDD y el 4,4-DDE, siendo este último uno de los más estables, y como uno de los productos finales recientemente descubiertos (Bailey y Costa, 1994) es el 4,4-DDMU que surge a partir de la desclorinación del 4,4-DDE ó de la deshidrogenación del 4,4-DDD.

1.2 BIOACUMULACIÓN DE PLAGUICIDAS.

La bioacumulación es un proceso que consiste en el incremento de las concentraciones de los contaminantes en el organismo tanto del medio inerte como vía cadena alimenticia. Por definición, para que un compuesto pueda ser acumulativo en principio debe exceder a las capacidades del organismo para excretarlo, por lo tanto se espera que las concentraciones en los tejidos incrementen progresivamente con la edad. La excreción se lleva a cabo por biotransformación (conversiones metabólicas hacia formas más polares), el cual es un mecanismo de respuesta que ayuda a transformar el compuesto para que sea menos tóxico y sacarlo del organismo. Sin embargo, algunos contaminantes orgánicos pueden convertirse en metabolitos más persistentes que el compuesto primario por lo tanto dificulta su salida y tiende a acumularse en depósitos adiposos de animales y humanos (CCME, 1999).

En éste proceso las zonas estuarinas y sedimentos costeros son de gran importancia porque los sedimentos son el destino final de todos compuestos hidrofóbicos y entre ellos los plaguicidas; éstos compuestos orgánicos están estrechamente relacionados con la materia orgánica, debido al alto coeficiente de adsorción orgánica (Koc) (medida de la tendencia de un compuesto orgánico a ser adsorbido ó retenido por los suelos o sedimentos), una elevada medida de Koc indica que el plaguicida orgánico se fija con firmeza en la materia orgánica del sustrato en donde los procesos biológicos como la bioturbación y degradación microbiana de la cubierta orgánica de los sedimentos así como los procesos físicos viento y marea, son mecanismos de distribución de tales contaminantes (Pereira *et al.*, 1996), esto conduce a que sean preferentemente incorporados por organismos que se alimentan del fondo, a partir de aquí, mediante la trama alimenticia llegan a organismos superiores por lo que el estudio comparativo de las concentraciones de pesticidas entre sedimentos y organismos vivos dan una idea de su distribución entre estas dos fases del sistema (Thomas *et al.*, 1987). La presencia de los contaminantes orgánicos en los sedimentos no se atribuye a causas exclusivamente locales ya que las

concentraciones halladas pueden ser debidas también a fuentes alóctonas (Sánchez-Pardo y Rovira, 1985).

A pesar de que se haya restringido su uso en la mayoría de los países productores, se siguen encontrando altas concentraciones en organismos y sedimentos en diferentes partes del mundo. El daño causado por la persistencia de éstos compuestos está reflejado en la reducción de longevidad, alteraciones en el metabolismo celular (USEPA, 1980 en CCME, 1999), además de efectos adversos sobre la reproducción, crecimiento e inmunocompetencia. Se han observado efectos mutagénicos y carcinogénicos como resultado de exposiciones prolongadas en dietas de mamíferos. Además, una variedad de efectos neurotóxicos pueden presentarse, dentro de ellos se incluyen temblores, convulsiones, hiperexcitabilidad, hipertermia y taquicardia (ATSDR, 1994 en CCME, 1999). En particular para el DDT diversos estudios han confirmado que imita efectivamente al estrógeno, la hormona reproductiva, de manera que elevados niveles de DDT pueden reducir la fertilidad, el periodo de gestación, la fecundidad y el peso del feto (Wrenn *et al.*, 1970; Hart *et al.*, 1971).

Prado *et al.*, (2004) reportó niveles de pesticidas organoclorados en leche materna en la zona urbana y sub-urbana de la Ciudad de México, encontrando niveles críticos de aldrín, dieldrín, heptacloro y DDT mas sus metabolitos.

Entre 1996 y 1997, se realizó un estudio en tres poblados de Valle del Yaqui, zona de estudio de éste trabajo, donde se encontró la presencia de plaguicidas organoclorados en la sangre de los niños; se localizó DDT en 20% de las muestras y su metabolitos 4,4-DDE en 100% de las muestras; en la misma región con el apoyo del Instituto Tecnológico de Sonora y la Universidad de Arizona, se realizaron pruebas rápidas de aprendizaje para niños y niñas en edad pre-escolar expuestos a plaguicidas, con el objetivo de evaluar su coordinación motora, sentido de equilibrio, habilidades de percepción, capacidad de memoria y medidas físicas; los resultados se compararon con el mismo tipo de pruebas que se aplicaron a los hijos de mujeres de la Sierra, menos expuestos a los agro-tóxicos. Los niños con más exposición a plaguicidas tuvieron menos resistencia, coordinación gruesa y coordinación fina de vista y manos, así como falta de memoria. Uno de los

resultados más significativos en la medición de la actividad cognitiva fue la dificultad para dibujar a una persona, que manifestaron los niños y niñas de Valle del Yaqui más expuestos a las sustancias tóxicas, esto puede indicar alteraciones en el proceso de percepción debido a alguna disfunción neurológica (Guillette *et al.*, 1998).

Una de las preguntas que se hacen los investigadores es si aún se utiliza el DDT de manera irregular a pesar de su prohibición, para distinguir aplicaciones antiguas de recientes, se han propuesto algunas razones que pueden ayudar a distinguir esta temporalidad. Por ejemplo, Tavares y Costa en 1999 reportan la razón DDT/DDE, ésta razón indica si los plaguicidas medidos son de uso reciente (últimos cinco años) para valores de razón mayor de 0.91 ó si están ahí por su persistencia de aplicaciones anteriores con valores menor a 0.91. Mediante la razón aldrín/dieldrín también es posible estimar si la aplicación es reciente ó no, Karina *et al.*, (2003) y Gao *et al.*, (2005) reportan que si ésta es mayor a 1 el uso del pesticida medido es reciente, si ésta razón tiene un valor menor a 1 significa que la concentración encontrada es de aplicaciones del pasado.

2. ÁREA DE ESTUDIO.

El Valle del Yaqui, Sonora es una de las principales regiones agrícolas en el país, la aplicación de grandes cantidades de éstos compuestos en décadas pasadas son motivo de preocupación, la persistencia de estos compuestos combinada con su propensión a integrarse en la cadena alimenticia convierte a estos contaminantes en una amenaza a la salud de los ecosistemas y del hombre.

El estado de Sonora se localiza al noroeste de la República Mexicana entre las coordenadas geográficas 32° 28' 26'' a 26° 16' 21'' latitud norte y 115° 04' 35'' a 108° 35' 13'' longitud oeste; dentro de ésta región se encuentra el Valle del Yaqui, zona costera al sur del estado (Fig. 1). Está delimitado al Norte por la Sierra del Bacatete, al Sur por la cuenca del Río Mayo, al Este por las montañas de la provincia de Sierras y Valles Paralelos y al Oeste por el Golfo de California.

El Valle del Yaqui es ampliamente reconocido como una de las regiones más modernas en materia de agricultura bajo irrigación y por su constante crecimiento económico, así también porque es el lugar donde tuvo origen la famosa revolución verde (SAGARPA, 2013); su extensión territorial es de 5000 km² abarcando parcialmente los municipios de Cajeme, Bacum, Guaymas y San Ignacio Río Muerto. Entre las poblaciones más importantes que se localizan dentro del valle se encuentran Ciudad Obregón, Esperanza, Benito Juárez y Bacum. El Valle del Yaqui cuenta con una población cercana al millón de habitantes (INEGI, 2010). Los cultivos más importantes son el trigo, algodón, soya, cártamo y maíz, así como cultivos perennes como lo son la alfalfa y algunos frutales. Estos ocupan un total de 255,000 ha de riego (INIFAP, 2001). En la última década por problemas económicos y de sequía, el padrón de cultivos se ha modificado y se ha incrementado la superficie sembrada con hortalizas, sin embargo, el cultivo más importante sigue siendo el trigo con una superficie de siembra mayor a las 150,000 ha (Cruz, 2006).

En la costa del Valle, en el Golfo de California, desemboca el Río Yaqui que tiene su origen en la Sierra Madre Occidental, de éste río depende en gran medida el

funcionamiento de ésta zona agrícola, su longitud varía de 550 a 700 Km, tiene un volumen medio anual escurrido de 2,800 millones de metros cúbicos el cual termina en la presa Álvaro Obregón también conocida como Oviachic (Monreal *et al.*, 2003), la cual junto con la presa Lázaro Cárdenas (La Angostura) y Plutarco Elías Calles (El Novillo) forman el sistema de tres presas del valle (INEGI, 2013).

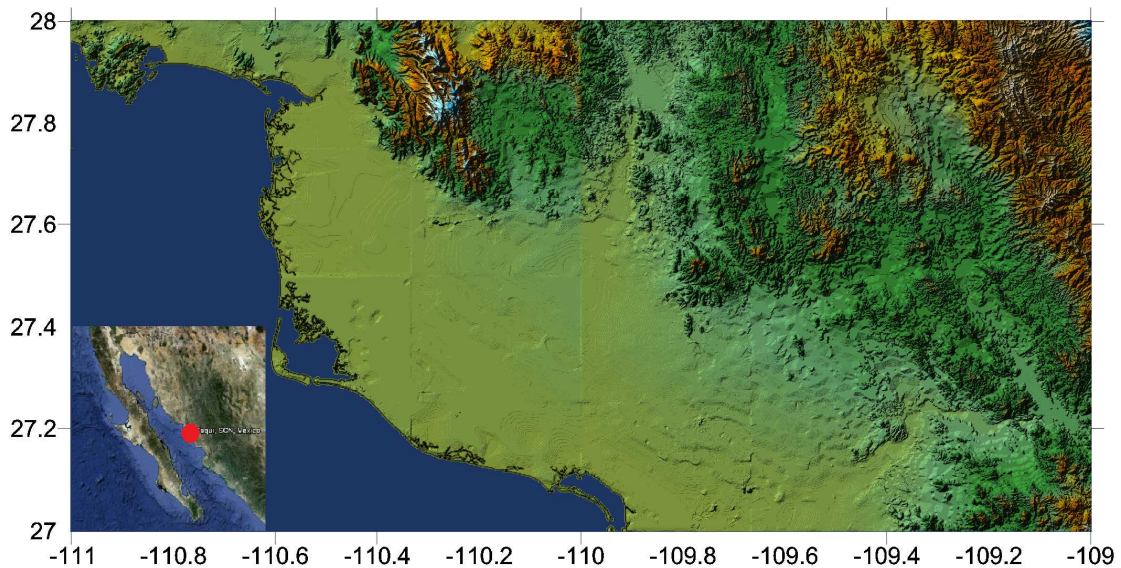


Figura 1. Localización de la zona de estudio. Valle del Yaqui, Sonora México.

El clima de la región es cálido semidesértico, las temperaturas van desde $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta más de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (INECC, 2013). La época de lluvias se presenta en los meses de julio, agosto y septiembre, los cuales representan aproximadamente el 70% de la precipitación total anual, mientras que el 30% restante lo originan las precipitaciones de diciembre y enero. Según registros estadísticos de los últimos años, la precipitación promedio anual en el Municipio era de 225 mm, sin embargo en los últimos años apenas superaba los 130 mm (INEGI, 2010).

La cuenca del Valle del Yaqui se encuentra cubierta casi en su totalidad por rocas ígneas, conglomerados, depósitos aluviales y residuales, la secuencia estratigráfica en la región es de origen volcánico. En la secuencia estratigráfica sobreyacen areniscas y

conglomerados (SISI, 2005). Los eventos geológicos que actualmente se efectúan en la región son la formación de materiales aluviales, depósitos de talud y suelo residual. La depositación presente es muy variada ya que se acrecienta el transporte de sedimentos hacia la cuenca por parte de las corrientes continentales, existe depositación en medio lacustre ó entrada de mar hacia la cuenca de depositación, con material de textura gruesa el cual tiene su origen en las altas montañas aledañas siempre y cuando haya periodos de alta erosión (SEMARNAT, 2004).

Los principales sistemas costeros en el Valle del Yaqui son Bahía Guásima, Los Algodones, Bahía Lobos y Tóbari, altamente inestables (Vásquez, 1987).

Bahía Guásima posee un área de 38 km², está integrada por una barra de arena de 7 kilómetros de longitud. La punta y la porción emergida de dicha barra forman lo que es la boca de la laguna, la cual posee una extensión aproximada de 2.5 km y una profundidad media de 3 m. Este sistema costero no recibe aportes de agua dulce, únicamente de escurrimientos continentales durante las épocas de lluvia. Su sustrato predominante es arcilloso-limoso con sedimentos arenosos en la región cercana a la boca de la laguna (Vásquez, 1987).

Las aguas del sistema costero Los Algodones comprende desde Bahía El Ciego hasta el Estero Santo Domingo incluyendo tres lagunas costeras: estero La Tortuga, Las Cruces y Los Algodones; posee un área de 9 km², separadas por una gran barra de arena de 4 kilómetros de longitud la cual se prolonga hacia el sur hasta la boca de la laguna por donde fluye el agua de mar y donde existe una zona de mezcla en composición química con el agua dulce que aporta el Río Yaqui. Se encuentra rodeado por mangle rojo, negro y blanco (Vásquez, 1987).

Bahía lobos tiene un área de 112 km² se comunica con mar abierto por medio de dos bocas, Norte y Sur, las cuales poseen una longitud aproximada de 2.3 y 0.9 km respectivamente. Estas dos bocas se encuentran separadas por una gran barra de arena de 17 kilómetros de longitud denominada Isla Lobos. Este gran cuerpo de agua es receptor de las aguas residuales del canal colector principal número dos del Valle del Yaqui, el cual aporta gran cantidad de sólidos en suspensión durante todo el año.

La laguna El Tobarí, se ubica al sur del Valle del Yaqui con una superficie de más de 7000 hectáreas, se encuentra separada del Golfo de California por una barra arenosa (llamada Isla Huivulai) de 12 kilómetros de longitud, ésta forma dos bocas en cada uno de sus extremos con la laguna. La profundidad promedio es de 1.4 m. Las zonas profundas se dan en los canales principales de acceso a las bocas, con profundidades de 5 m en la boca norte y 8 m en la boca sur (Cruz *et al.*, 2000). Éste sistema costero representa un importante humedal receptor de aguas residuales de origen agrícola y sitio para importantes actividades productivas como la pesca, el turismo y la acuicultura (Rosales *et al.*, 1992).

Estos sistemas costeros, a pesar de ser considerados inestables, se encuentran en su primera etapa de maduración donde los procesos de sedimentación predominan sobre los de erosión (Vásquez, 1987).

2.1 ANTECEDENTES.

A pesar de los efectos adversos que provocan a la salud y medio ambiente, la producción y el uso de plaguicidas ha aumentado en los últimos años, principalmente en países en vías de desarrollo, en los cuales se estima que el consumo de éstos es de más del 70% del total mundial producido (Bansala *et al.*, 2006). México ocupa el sexto lugar mundial del uso del DDT, con cerca de 250 mil toneladas de 1947 al año 2000. En el año de 1995 se consumieron cerca de 16,400 toneladas (Li y MacDonald, 2005) mientras que para el año 2003 INEGI reportó un consumo total de 35, 710 toneladas de DDT incrementándose cerca del 117 % el consumo en ocho años.

Actualmente no hay estudios publicados en donde se midan las concentraciones de pesticidas en Valle del Yaqui, Sonora ya sea en suelo, sedimento ó algún bioindicador. Localmente hay tesis donde se cuantifican los plaguicidas en el trigo (Valadez, 2004), en suero sanguíneo de habitantes de poblaciones aledañas a los cultivos agrícolas (Villareal, 2007; Tapia, 2006; Soto, 1998), los principales plaguicidas utilizados en Valle del Yaqui, Sonora y su impacto en la salud (Valenzuela, 2000), pesticidas en agua potable y de uso agrícola (García, 1998; González, 1991), presencia de plaguicidas en placenta de mujeres embarazadas, neonatos lactantes y leche materna (Ramírez, 1997; García, 1991; Reyes, 1990), determinación de plaguicidas en moluscos bivalvos en un sistema estuarino en Valle del Yaqui (Sainz, 1989). Existen estudios de concentraciones de plaguicidas en suelos y sedimentos hechos en otros estados de la república mexicana donde las actividades agrícolas son de gran aporte a la economía local. Algunas de las publicaciones se describen a continuación:

Guardado Puentes en 1975 midió la concentración de DDT y sus metabolitos en sedimentos y dos especies de almejas en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California, reportando concentraciones máximas entre 80.81 - 122.34 ppb y 5.65 - 14.08 ppm en sedimento y almejas respectivamente, estos resultados se ubican hacia la zona sur de la región agrícola concluyendo que los vientos dominantes que se observan en la región la

mayor parte del año (noroeste-suroeste) son los que conducen tales compuestos depositándolos hacia el sur.

Rueda *et al* reportaron en 1997 la presencia de plaguicidas organoclorados en dos sistemas lagunares del estado de Chiapas, México: Chantuto-Panzacola y Carretas-Pereyra durante el ciclo 1994-1995, midiendo los niveles de aldrín, endrín, dieldrín, heptacloro, epóxido de heptacloro, endosulfán I, endosulfán II, endosulfán sulfato, p,p'-DDD, p,p'-DDE y p,p'-DDT, α , β , γ , δ - HCH en sedimentos y dos especies de organismos *Panaeus vannamei* y *Lutjanus novemfasciatus* (camarón y pez, respectivamente). La concentración promedio más alta de plaguicidas organoclorados que registraron fue en el sistema lagunar Carretas-Pereyra con concentración de 120.43 ng/g respecto a la observada en el sistema Chantuto Panzacola de 47.91 ng/g. En relación a los organismos, *Lutjanus novemfasciatus* presentó niveles de plaguicidas organoclorados mas elevados teniendo una concentración total de 93.90 ng g⁻¹, mientras que *Panaeus vannamei* con 21.42 ng g⁻¹. Los compuestos predominantes en sedimentos fueron endosulfán II, aldrín y epóxido de heptacloro; en *Panaeus vannamei* p,p'-DDE y heptacloro mientras que en *Lutjanus novemfasciatus* fueron heptacloro y aldrín. Debido a que los niveles de plaguicidas más elevados en ambos sistemas lagunares fueron registrados en la época de estiaje concluyeron que las tasas altas de evaporación son lo que podría estar facilitando la concentración de estos agroquímicos.

Gutiérrez *et al* (2003) midieron concentraciones de contaminantes orgánicos persistentes en la región sur de la Cuenca de las Californias, reportando para pesticidas totales concentraciones que oscilan entre 0.09 a 19.71 ng/g. De los pesticidas totales del 92 al 97% lo constituyen el 4,4 -DDT y sus metabolitos 4,4 -DDD y 4,4 -DDE siendo éste último el más abundante. Otros pesticidas encontrados fueron el γ - clordano, α - HCH.

En Tepic Nayarit, México el uso antropogénico del río Mololoa provocó la deficiencia en su capacidad hidráulica por lo cual fue sometido a obras de rectificación y encauzamiento en un tramo de 16.2 km, éstas obras implicaban la remoción de sedimentos. Antes y después de la remoción, Rodríguez *et al* (2008) midió la concentración de plaguicidas en sedimentos superficiales en ésta región. Antes de la

remoción no se encontraron plaguicidas, pero después de tal se encontraron un total de ocho compuestos organoclorados: α , β , γ , δ - HCH; dieldrín, endosulfán II, endrín aldehído y 4,4 -DDT, las concentraciones reportadas se encuentran en un intervalo de 0.02 a 2.43 ng/g, siendo las de 4,4 -DDT las más bajas y las más altas de δ -HCH, este último compuesto encontrado con mayor frecuencia junto con dieldrín.

3. JUSTIFICACIÓN.

El 23 de mayo del 2001 México firmó el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), siendo aprobado por el Congreso de la Unión el 17 de octubre de 2002. Con ello el Gobierno Mexicano adquiere el compromiso de encontrar cuales son los niveles de estos compuestos en el ambiente y proceder a reducir, sustituir y/o eliminar el uso de estos compuestos en México. Para ello, fue necesario el desarrollo de un plan conocido como Plan Nacional de Implementación (PNI) del Convenio de Estocolmo establecido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) que a su vez creó a la Unidad Coordinadora del Proyecto (UCP), la cual será responsable de ello. Parte de las actividades de la UCP han consistido en elaborar diagnósticos sobre la situación del país respecto a la liberación de COP's, sus fuentes así como la identificación de sectores posiblemente liberadores.

La presente tesis forma parte de los resultados obtenidos a partir del proyecto donde la SEMARNAT en colaboración con el Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) busca elaborar el diagnóstico de COP's en la región de Sonora, México conocida como Valle del Yaqui. Se busca que las investigaciones realizadas sirvan de base a los objetivos del Programa Nacional de Monitoreo y Evaluación (PRONAME). Este pretende cumplir los acuerdos derivados del Convenio de Estocolmo en cuanto a realizar un balance nacional del estatus de estos contaminantes a lo largo del país.

Éste trabajo reporta únicamente los isómeros alfa, beta, gama (lindano) y delta del hexaclorociclohexano (HCH ó BHC), los metabolitos del DDT, y diez COPs incluidos en el convenio de Estocolmo cuantificados en suelo y sedimento.

El convenio de Estocolmo se hizo para la protección de la salud tanto de personas como animales, las medidas de reducción de tales compuestos deben ser inmediatas debido a la biomagnificación que implica su persistencia. A pesar de que el muestreo no se llevó a cabo en personas (leche materna, sangre, orina), la importancia de éste trabajo radica, con base a las concentraciones halladas, en que permite **hacer una estimación del**

riesgo existente por la presencia de éstas sustancias químicas a la población, teniendo como principal foco de afectación los niños.

La población infantil es especialmente vulnerable y susceptible a los compuestos organoclorados en comparación con los adultos, esto debido a que están expuestos a mayores concentraciones porque consumen más alimentos, agua y aire por unidad de peso por su alto nivel de actividad; el acto de gatear y su costumbre de llevarse cosas a la boca. Así también son más susceptibles a los efectos tóxicos debido a su desarrollo fisiológico inmaduro, es decir, que los mecanismos de desintoxicación se encuentran en formación por lo que retienen una proporción mayor de tóxicos; la formación de órganos de vital importancia del cuerpo está en proceso como es el caso de los riñones, excretan con menor eficiencia ciertos compuestos sobre todo en los primeros años de vida; tienen mayores años de vida futura para desarrollar enfermedades crónicas que pueden originarse en las primeras etapas de exposición ambiental (Shea, 2009).

4. OBJETIVOS.

4.1 Objetivo general.

Determinar la distribución superficial de los isómeros α , β , γ y δ del HCH, los metabolitos del DDT y diez compuestos orgánicos volátiles (COP's) a partir de muestras en suelo y sedimento en el Valle del Yaqui, Sonora.

4.2 Objetivos particulares.

- Cuantificar y cualificar las concentraciones de plaguicidas organoclorados presentes en el Valle del Yaqui, Sonora.
- Identificar el/los compuestos más abundantes en la zona de estudio.
- Comparar los plaguicidas encontrados en la región con los pesticidas prohibidos y restringidos por la CICOPLAFEST.
- Comparar las concentraciones de los contaminantes encontrados en Valle del Yaqui con las concentraciones de DL_{50} del catálogo de la CICOPLAFEST.
- Comparar las concentraciones de los contaminantes encontrados en Valle del Yaqui con los límites permisibles en suelos por la norma PROY-NMX-AA-109SCFI-2007.
- Determinar si las concentraciones de los compuestos DDT, son resultado de aplicaciones recientes ó del pasado.
- Comparar las concentraciones de compuestos organoclorados medidos con las concentraciones halladas en otras regiones de México y del mundo.
- Indirectamente estimar el nivel de riesgo a el cual está sujeto la población debido a las concentraciones halladas.

5. MÉTODOS.

5.1 Selección de estaciones de muestreo.

El Valle del Yaqui comprende una amplia extensión de tierra ocupada principalmente por campos agrícolas; ésta región se encuentra dividida en pueblos. Para determinar los sitios de muestreo en primera instancia se tomó a consideración la cobertura geográfica de la zona, eligiendo estratégicamente pueblos como estaciones (Figura 2, Tabla I).

Los estratos a muestrear en las estaciones fueron suelo y sedimento. Para suelo se seleccionaron áreas de fuerte conexión con las actividades humanas, y en especial la continua presencia de infantes: escuelas, parques y campos deportivos. Se muestrearon tanto sedimentos de río como marinos.

Es de importancia mencionar que los muestreos se llevaron a cabo en zonas de escasa ó nula remoción de tierra, esto debido a que los COPs por su volatilidad, característica fisicoquímica, les permiten transferirse a la atmósfera. Por ello los campos agrícolas no fueron muestreados ya que son zonas removidas constantemente.

5.2 Procedimiento in situ.

El muestreo se llevó a cabo en agosto del 2008. Mediante un cuadrante de tres por cuatro metros, con cuadrículas de un metro cuadrado se obtuvieron las muestras de suelo. En cada estación se colocó el cuadrante numerando los cuadros del uno al doce, mediante un sistema de aleatoriedad se procedía a obtener tres números, los números obtenidos correspondían a los cuadros a escarbar para obtener las muestras de suelo. La profundidad de escarbado es entre 15-20 centímetros. Se utilizó este criterio ya que se conoce que la movilidad vertical de los organoclorados es relativamente baja por su carácter hidrofóbico (Vega *et al.*, 2007). Las tres muestras se recolectaban en tres recipientes del mismo volumen (para conservar el mismo volumen de muestra) y se vaciaban a un recipiente

mayor el cual era homogenizado para obtener la muestra definitiva por estación para suelo.

La toma de muestras de sedimento consistió en el lanzamiento de una draga tipo Petite Ponar (152 x152 mm de área de muestra) con capacidad de 3 kg. A partir del sedimento capturado en la draga se tomó la muestra.

Las muestras colectadas se mantuvieron en hieleras durante el tiempo en campo y en laboratorio a una temperatura de -10 °C hasta su análisis químico.

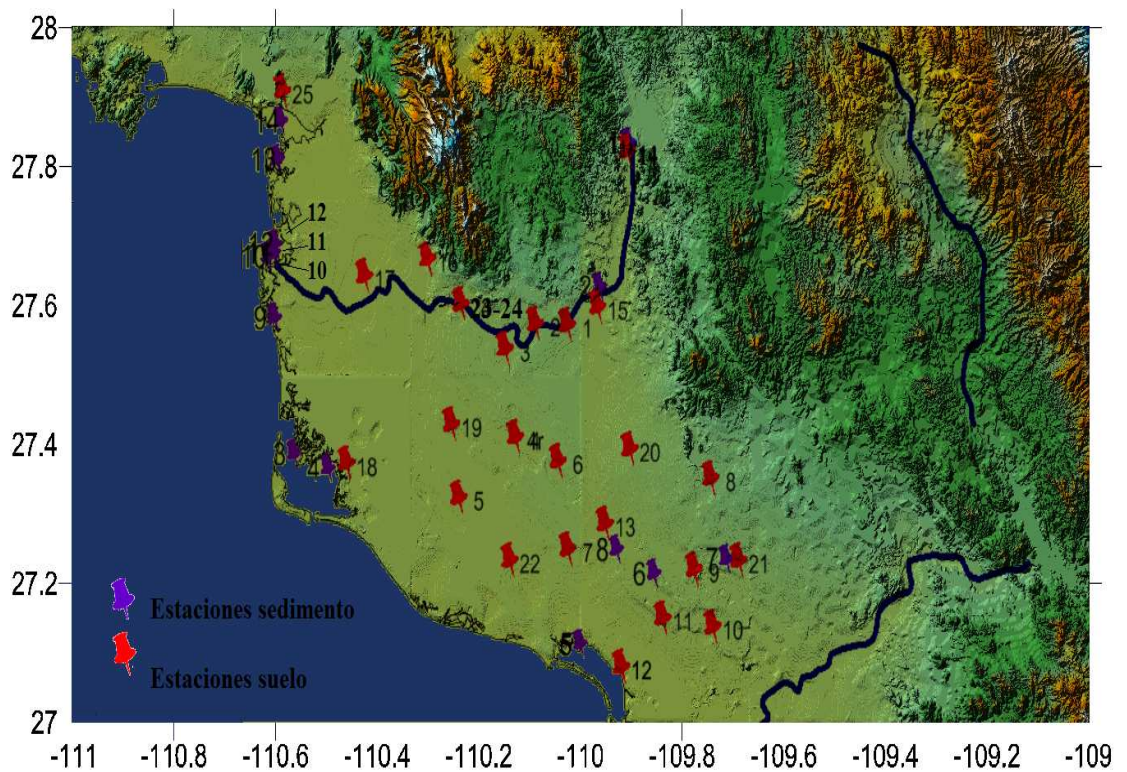


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en Valle del Yaqui, Sonora; en color rojo las estaciones de muestreo en suelo, en color morado las estaciones de muestreo en sedimento.

Tabla II.- Localidades de Valle del Yaqui donde se localizan las estaciones de muestreo (Figura 2)

Estaciones en Suelo	Localidad	Estaciones en sedimento	Localidad
1	Santa Teresa – Tinajera	1	Buena Vista
2	Bacum	2	Cocorit
3	San José de Bacum	3	Bahía de Lobos I
4	Ejido 1o de mayo	4	Bahía de Lobos II
4 – Réplica	Ejido 1o de mayo	5	Estero el Tobarí
5	Bachomobampo	6	Arroyo Mochoraque
6	Pueblo Yaqui	7	Canal Alto
7	Ejido Morelos	8	Canal Bajo
8	Fundición	9	Baira
9	Col. Jecopaco	10	Algodones I
10	Agua Blanca	11	Algodones II
11	Villa Juárez	12	Algodones III
12	El Paredoncito	13	Río Muerto
12 – Réplica	El Paredoncito	14	Guásima
13	Quechehueca		
14	Buena Vista		
15	Cocorit		
16	Vicam		
17	Potam		
18	Liliba		
19	Col. Militar		

20	<i>El Tobarito</i>
21	<i>Agustin Mergar (Tesopaco)</i>
22	<i>Villa Guadalupe</i>
23	<i>Torim</i>
24	<i>Torim (Cauce del arroyo)</i>
25	<i>Guásima</i>

5.3 Análisis químico.

La extracción y cuantificación de los plaguicidas organoclorados se llevaron a cabo en el laboratorio de contaminación del IIO en la UABC, Ensenada Baja California, usando la técnica propuesta por Zeng & Vista (1997).

Para el control de calidad durante el proceso experimental se adquirió en el National Institute of Standards & Technology (NIST), material estándar de referencia certificado SRM-1941b proveniente de sedimentos marinos cuyos niveles de contaminación ya han sido cuantificados y pueden ser utilizados como estándar de referencia primario para conocer los porcentajes de recuperación de cada compuesto, y de este modo, conocer la eficiencia de extracción del método empleado.

El control de calidad llevado a cabo en laboratorio se realizó mediante el análisis de un blanco de procedimiento, el estándar de referencia SRM-1941b y diez muestras, todas ellas conformando una corrida. Para cuantificar los analitos, se usó el método del estándar interno. Para determinar el porcentaje de recuperación se adicionó a cada muestra 100 μ l de surrogado TCMX y PCB209, y antes de inyectar las muestras en el equipo cromatográfico se les adicionó 10 μ l de estándar interno PCB30 y PCB 205.

Previo al análisis químico las muestras son preparadas secándolas en una estufa a 45° C, homogenizadas y almacenadas en frascos de vidrio. El procedimiento de extracción y obtención de éstos compuestos organoclorados consta de una serie de pasos: a) extracción y primera concentración, b) segunda concentración, c) cromatografía en columna y tercera concentración, d) inyección en el cromatógrafo de gases, identificación

por tiempos de retención, preparación de curva de calibración, y finalmente, cuantificación de los compuestos.

El total de muestras analizadas fueron cuarenta y uno, veintisiete corresponden a muestras en suelo y catorce a muestras en sedimento marino.

a) Extracción y primera concentración.

Para la extracción de los compuestos se empleó la extracción con Soxhlet. 40 gr de muestra fue colocada en un dedal de porcelana y cubiertas con fibra de vidrio adicionándose el estándar surrogado. Asimismo, se colocaron 150 ml de diclorometano en el matraz y 50 ml en la corneta. A cada matraz se le colocó dos bolitas de alambre de cobre activado (HCl al 50% por media hora y posteriores lavados con agua destilada y solventes) con 1 cm de diámetro aproximadamente para eliminar interferencias de los sulfuros provenientes de la muestra. El tiempo total de extracción fue de 24 horas llevando a cabo un reflujo cada 7 minutos. Una vez terminado este tiempo los matraces se conectaron a columnas Snyder y se concentró el extracto ~ 1ml mediante baño maría a 50° C.

b) Segunda concentración.

El extracto obtenido en el baño maría se transfirió a tubos de concentración efectuando varios lavados con hexano. Los tubos de concentración de sometieron a un sistema de presión con nitrógeno grado industrial, hasta obtener 1 ml de concentrado.

c) Cromatografía líquida en columna y tercera concentración.

Para la separación y purificación del concentrado se usaron columnas de 30 cm de longitud por 1 cm de diámetro empacadas en húmedo con hexano en secuencia de abajo

hacia arriba con un tapón de fibra de vidrio, 0.5 cm en altura de arena calcinada, 12 cm de gel de sílice activado al 3% con agua (grado HPLC) en suspensión con hexano, 6 cm de alúmina activada al 3% con agua (grado HPLC) en suspensión con hexano y 0.5 cm de arena calcinada.

El último concentrado (extracto) fue transferido a la columna eluyéndose con 15 ml de hexano para extraer la fracción alifática. Posteriormente, con 40 ml de la mezcla hexano:diclorometano (70:30) se usaron para extraer los hidrocarburos aromáticos y los organoclorados, capturándose en matraces bola de fondo plano. Ambas fracciones fueron concentradas a 0.5 ml por medio de un rotaevaporador a una presión de 0.04 Mpa (~30 cmHg) en baño de agua a 60° C.

d) Inyección en el cromatógrafo de gases.

Los matraces de los extractos se lavaron varias veces con hexano (aproximadamente 8 ml de hexano en total) concentrándose a 0.5 ml en flujo de nitrógeno grado industrial. Este volumen fue colocado en un vial cromatográfico de 1 ml. Previo a su inyección en el cromatógrafo a las muestras se les agrego 10 µl del estándar interno PCB 30 y PCB 205 a una concentración de 5000 ng/ml, seguido de agitación vigorosa utilizando un mezclador vortex.

Para la cuantificación de los plaguicidas organoclorados se inyectó una alícuota de 1 µl al cromatógrafo de gases Hewlett Packard 6890 Plus (temperatura del inyector de 280 °C) con detector de captura de electrones (temperatura de detector de 330 °C). Se utilizó una columna capilar DB-XLB de 60 metros de longitud, 320 µm ID y 0.25 µm grosor de capa estacionaria; la temperatura inicial de la columna fue de 80 °C y la temperatura final fue de 330 °C. Como gas acarreador se usó nitrógeno grado UAP con un flujo de 1 ml/min. El tiempo total de corrida es de 86 minutos.

d) Identificación y cuantificación. (curva de calibración)

Los plaguicidas fueron identificados por medio de estándares individuales y mezcla de estándares, obtenidos de ultrasintético. Para su cuantificación se utilizó el método del estándar interno.

La curva de calibración se preparó a partir del estándar de referencia a concentraciones de 200, 100, 50, 25, 10, 5, 2, 1, 0.5 y 0.25 ng/ml. Finalmente se añadió 10 µL de estándar interno PCB 30 y PCB 205 previo a la inyección de 1 µL en el cromatógrafo.

Los cromatogramas fueron obtenidos digitalmente por el software integrado en el CG-DCE (Cromatógrafo de Gases con Detector de Captura de Electrones) GC Chemstation Rev B.04.01, arrojando información de tiempos de retención, áreas bajo la curva de cada compuesto, las áreas del estándar interno y surrogados. A partir de la información de concentración conocida y áreas bajo la curva de cada compuesto se obtuvieron las áreas ($x = [\text{área de std} / \text{área del std interno}]$) y concentraciones relativas de cada compuesto ($y = [\text{concentración del std} / \text{concentración del std interno}]$). Con la curva de calibración se obtuvo las constantes intercepto y la pendiente.

f) Cuantificación de los compuestos.

La concentración de los compuestos se calculó mediante la siguiente fórmula (Zeng & Vista, 1997):

$$C = A * [A_a / A_{int}]^B * I_{int} [V_{final} / S_w]$$

Donde:

C = Concentración de analito de interés.

A = Constante (intercepto) obtenida en la curva de calibración.

B = Constante (pendiente) obtenida en la curva de calibración

A_a = Área del analito de interés.

A_{int} = Área del estándar interno.

I_{int} = Concentración del estándar interno agregado a la muestra.

V_{final} = Volumen final de la muestra.

Sw = Peso seco de la muestra.

Las concentraciones obtenidas son reportadas en ng/g en peso seca del suelo y sedimento.

El porcentaje de recuperación (Anexos, tabla H) para cada compuesto se calculó a partir de datos obtenidos del cromatograma de un estándar preparado con concentraciones conocidas de surrogado y estándar interno, calculado mediante la siguiente fórmula (Zeng & Vista, 1997)

$$PR = ([A_{SM}/A_{IM}]/[A_{SE}/A_{IE}]) * 100$$

Donde:

PR = Porcentaje de recuperación del analito de interés.

A_{SM} = Área del surrogado de la muestra.

A_{IM} = Área del estándar interno de la muestra

A_{SE} = Área del surrogado en el estándar preparado.

A_{IE} = Área del estándar interno en el estándar preparado.

5.4 Estadística aplicada.

El tipo de estadística empleada en éste trabajo es no paramétrica, aplicándolo a dos ó más conjuntos de datos para establecer diferencias significativas ó no significativas usando el programa STATISTICA 10. Las pruebas empleadas son las siguientes:

- Prueba de friedman.
- Prueba estadística exacta de fisher.

6. RESULTADOS.

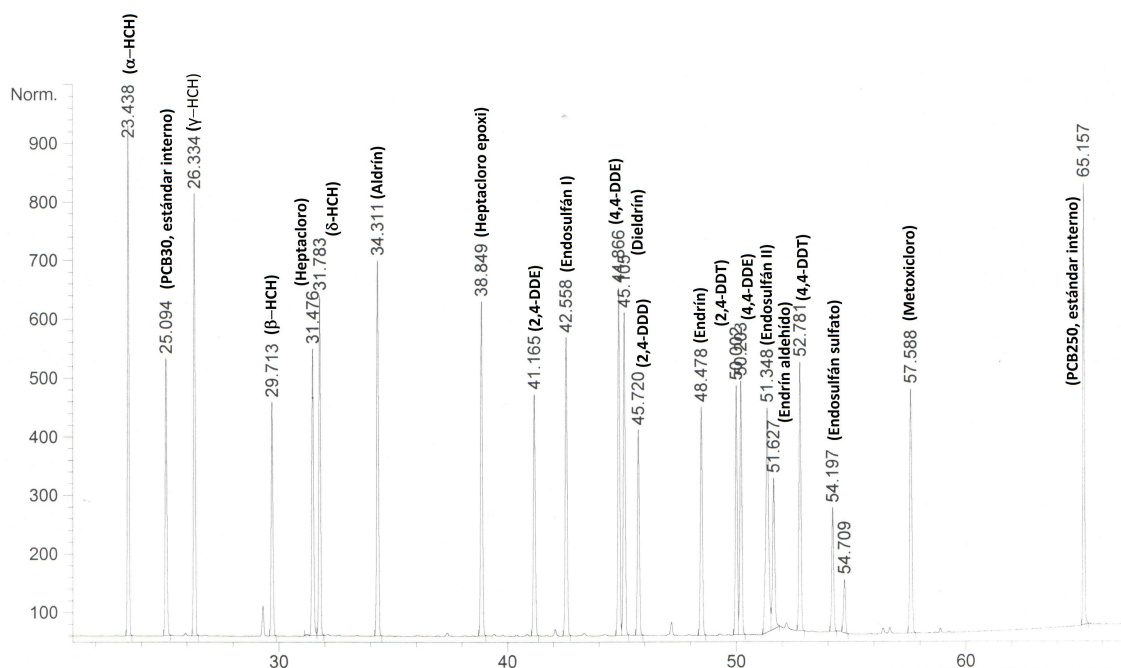


Figura 3. Cromatograma de los 20 plaguicidas organoclorados y los dos estándares interno, un punto de la curva de calibración con una concentración de 200 ng/ml.

El diagrama de cajas y bigotes de la figura 4 está basado en la suma total de compuestos organoclorados de cada estación de muestreo ó localidad. De las catorce localidades de muestreo en sedimentos, once de ellas tienen un valor medio de concentración de 0.3 ng/g dentro de un rango de 0.18 a 2 ng/g, las tres estaciones restantes tienen concentraciones mayores a el rango de la caja y son Buena Vista con 2.4 ng/g, Estero el Tóbari con 3.9 ng/g y Arroyo Cocoraque con 12.7 ng/g (Figura 5). En las veintisiete estaciones de muestreo en suelo del 25 al 75% de las localidades tienen un rango de concentración de 2.2 a 35.6 ng/g; seis estaciones sobresalen de la caja: Torim, Ejido Morelos, Bachomobampo y Bacum alrededor de 100 ng/g, Buena Vista con 132.7 ng/g y Villa Juárez con 675.1 ng/g.

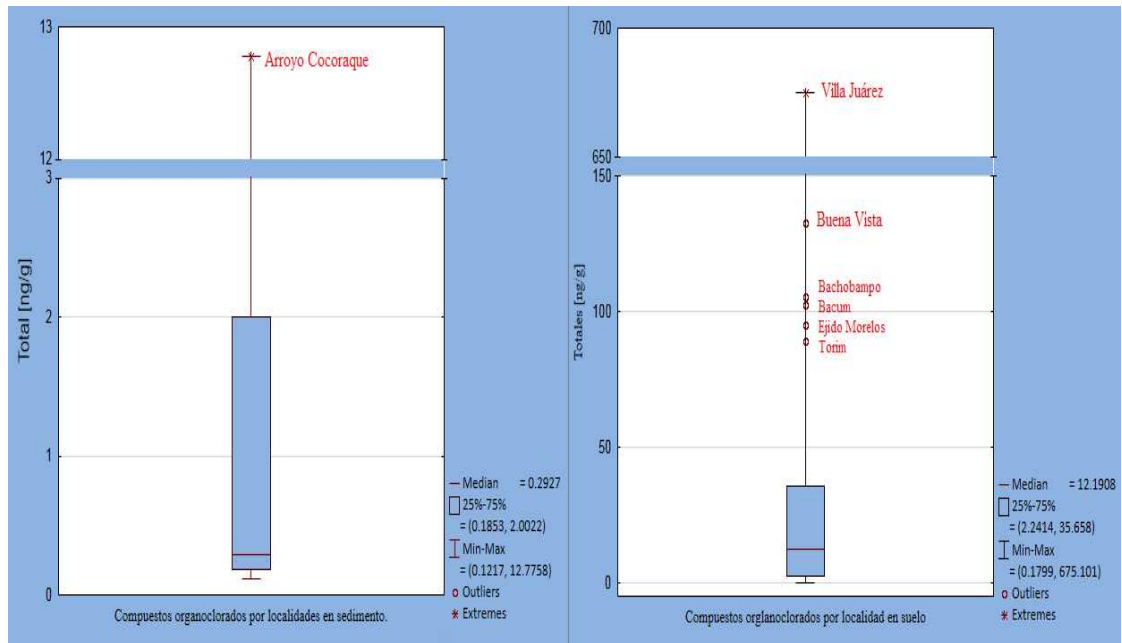


Figura 4. Diagramas de concentración total de compuestos organoclorados (suma total) en suelo y sedimento por localidad de muestreo.

En muestras de sedimentos la máxima concentración de compuestos organoclorados se presentó en el Arroyo Cocoraque con 12.78 ng/ (Figura 5 a), mientras que la mínima concentración de organoclorados se presentó en la localidad Guásima con 0.18 ng/g (figura 5 b). En suelo la máxima concentración de compuestos organoclorados se presentó en Villa Juárez con 675.1 ng/g (figura 6 a) y la mínima concentración la tiene al igual que en sedimento la localidad de Guásima con 0.18 ng/g (figura 6 b).

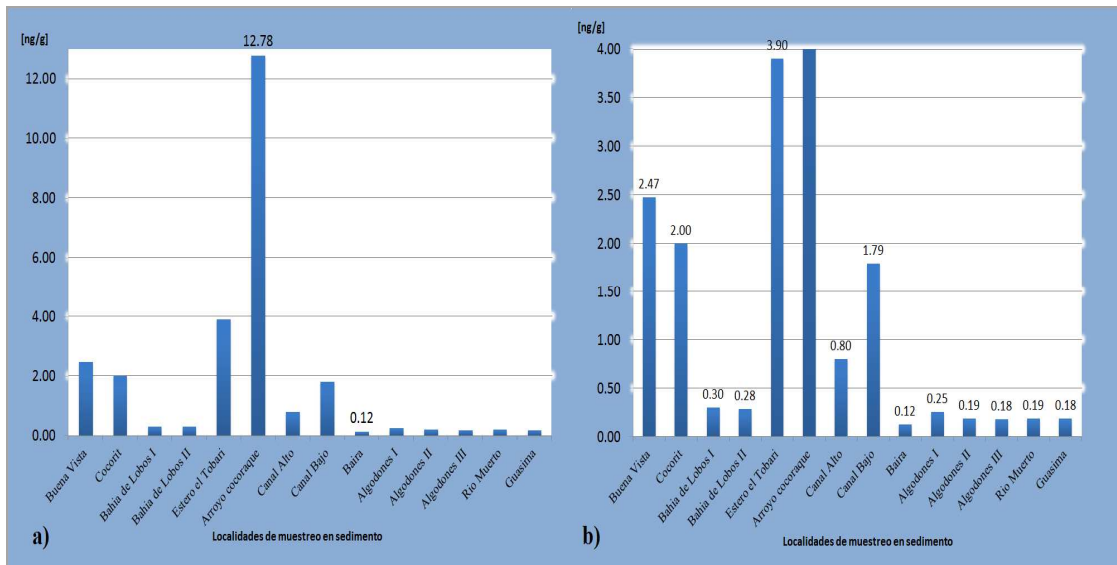


Figura 5. Concentración total de compuestos organoclorados por estación en muestras de sedimento en Valle del Yaqui, Sonora; la figura b) es una ampliación de la figura a).

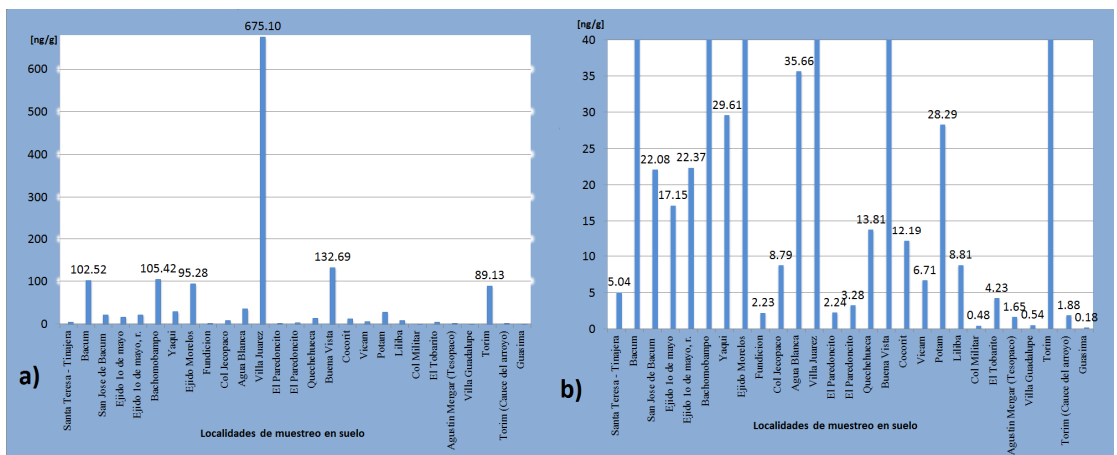


Figura 6. Concentración total por compuesto en muestras de suelo cuantificados en Valle del Yaqui, Sonora; la figura b) es una ampliación de la figura a).

En la figura 7 se observa que los compuestos organoclorados medidos en muestras de sedimentos se encuentran presentes en más del cincuenta por ciento de las localidades excepto el endosulfán II que solo se encontró en dos localidades y el endrín aldehído en cinco localidades. Al igual que en los sedimentos, los compuestos

organoclorados en suelo están presentes en más del cincuenta por ciento de las localidades a excepción del d-HCH, endosulfán I, endrín aldehído y endosulfán sulfato que están por debajo del cincuenta por ciento (figura 8).

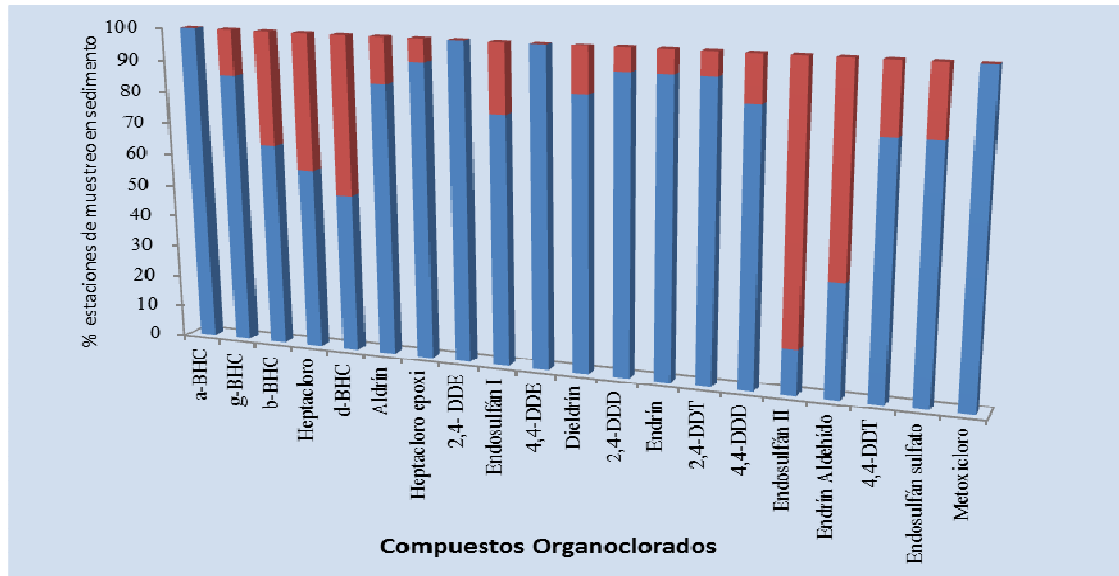


Figura 7. Frecuencia de la presencia de los veinte compuestos medidos en las catorce estaciones de muestreo en sedimentos. El color azul indica la presencia del compuesto y el color rojo indica la ausencia del compuesto.

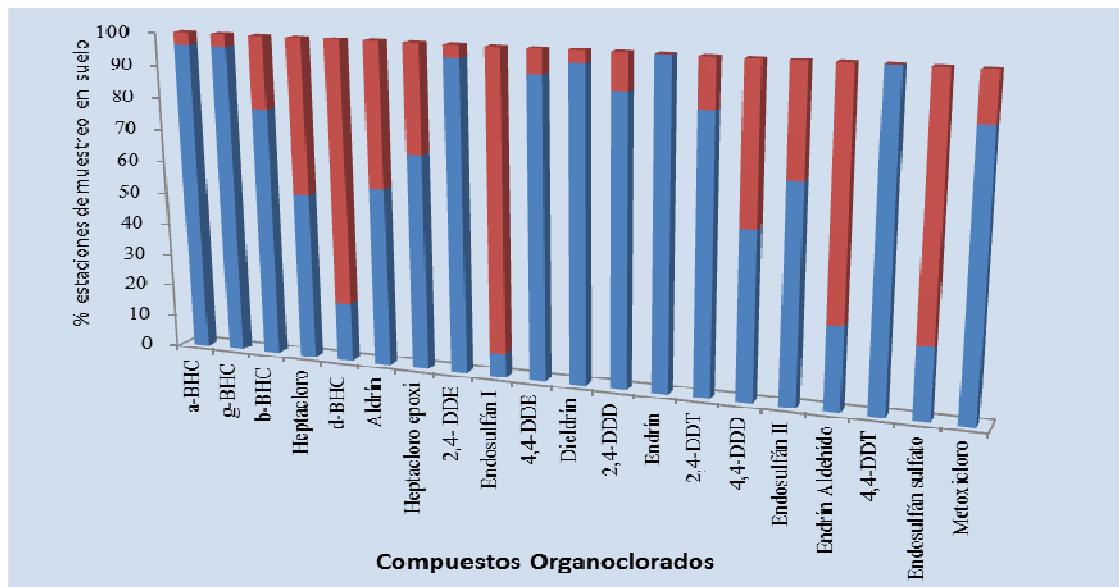


Figura 8. Frecuencia de la presencia de los veinte compuestos medidos en las veintisiete estaciones de muestreo en suelo. El color azul indica la presencia del compuesto y el color rojo indica la ausencia del compuesto.

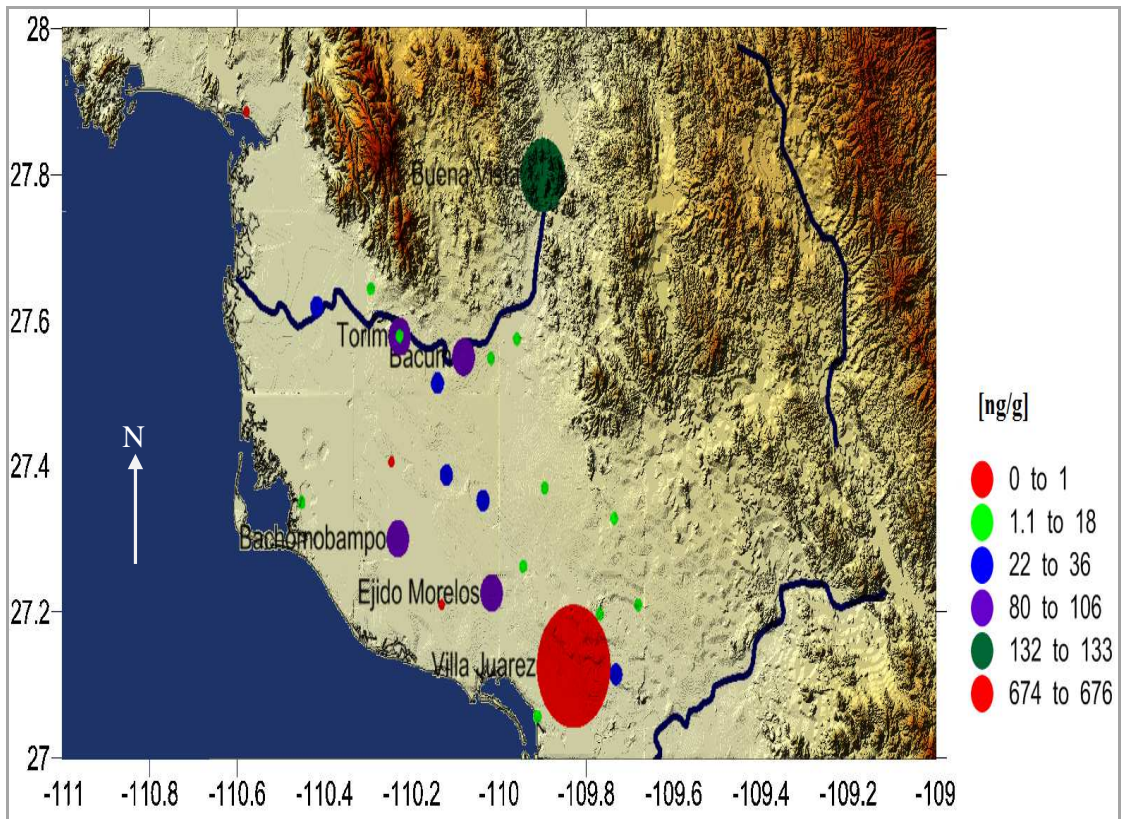


Figura. 9 Distribución espacial de compuestos organoclorados totales en muestras de suelo, nombrando las localidades que presentaron mayor concentración.

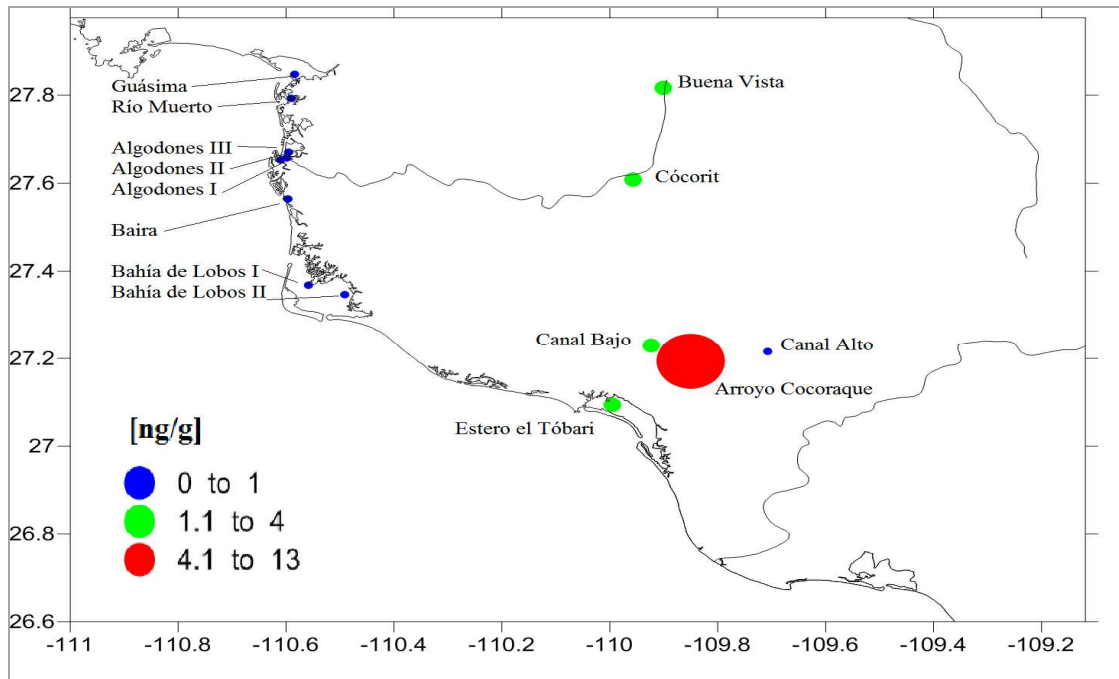


Figura 10. Distribución espacial de compuestos organoclorados totales en muestras de sedimento.

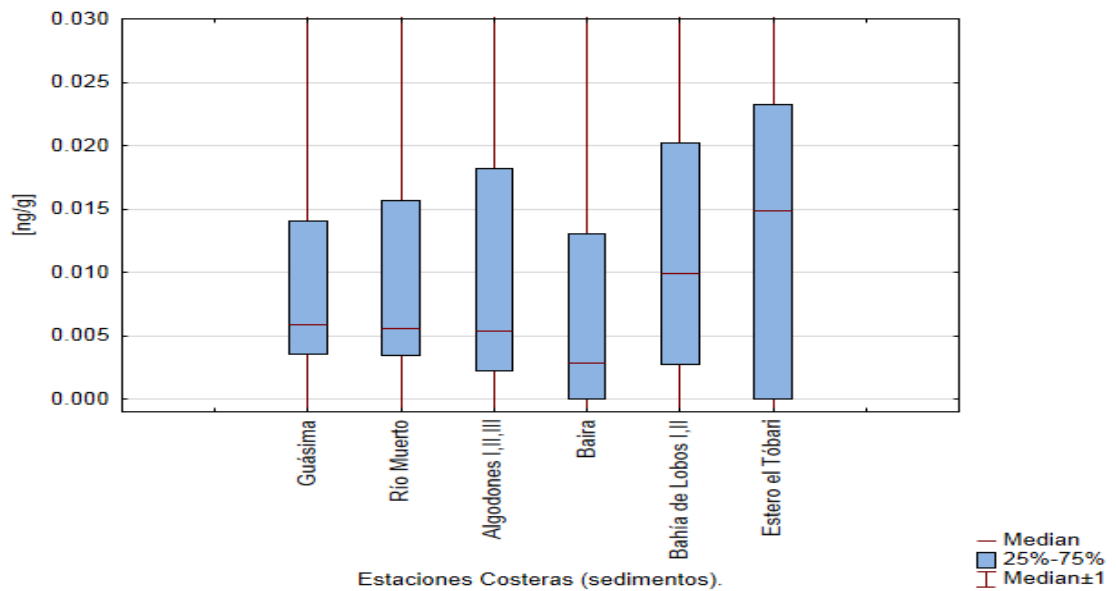


Figura 11. Concentración de compuestos organoclorados en las estaciones de sedimentos costeros, donde Guásima, Río Muerto y Algodones representan la zona costera norte del valle, Baira y Bahía Lobos la zona costera centro del valle y Estero el Tóbari la zona costera sur del valle.

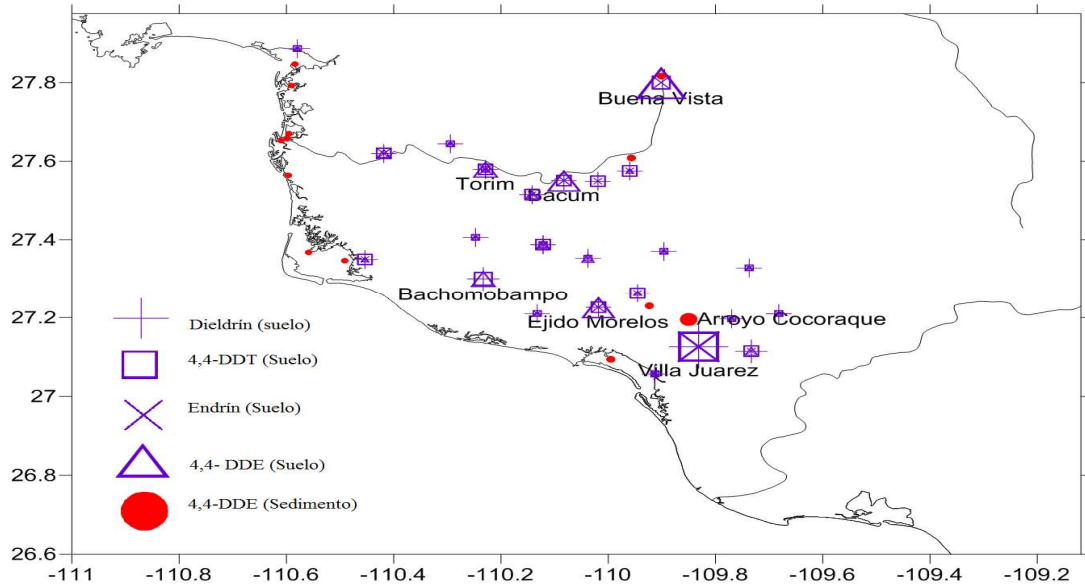


Figura 12. Distribución espacial de los compuestos organoclorados en suelo y sedimento que presentaron las concentraciones más altas en Valle del Yaqui, Sonora. El tamaño de cada signo de identificación del compuesto es proporcional a su concentración.

El mapa de la figura 9 muestra dos máximos de concentración de compuestos organoclorados en muestras de suelo, uno al norte en la localidad Buena Vista y el mayor al sur del Valle del Yaqui en la localidad Villa Juárez, las concentraciones intermedias están distribuidas en la parte central del valle. Al igual que en suelo, la distribución espacial de compuestos organoclorados en sedimentos (figura 10) muestra que el máximo de concentración están al sur del Valle del Yaqui en Estero El Tóbari, Canal Bajo y Arroyo Cocoraque. Las menores concentraciones están ubicadas en la zona costera del Valle y las concentraciones entre estaciones son cercanos entre sí; se observan que las mayores concentraciones se encuentran en la zona costera al sur del valle (figura 11).

Los compuestos organoclorados que presentaron la mayor concentración en todo el valle son 4,4-DDE (sedimento), 4,4-DDT, 4,4-DDE, Dieldrín y Endrín (suelo), éstas concentraciones no solo destacan por su concentración, también por la marcada

diferencia de concentraciones que es en más de cientos unidades de ng/g; en el mapa de la figura 12 se observa que las concentraciones más altas de éstos compuestos están distribuidas al sur del Valle del Yaqui en Arroyo Cocoraque y la localidad de Villa Juárez, solo exceptuado por el 4,4-DDE en suelo donde su ubicación de máxima concentración está al norte del valle en la localidad de Buena Vista. Ésta distribución es igual a la de compuestos organoclorados totales.

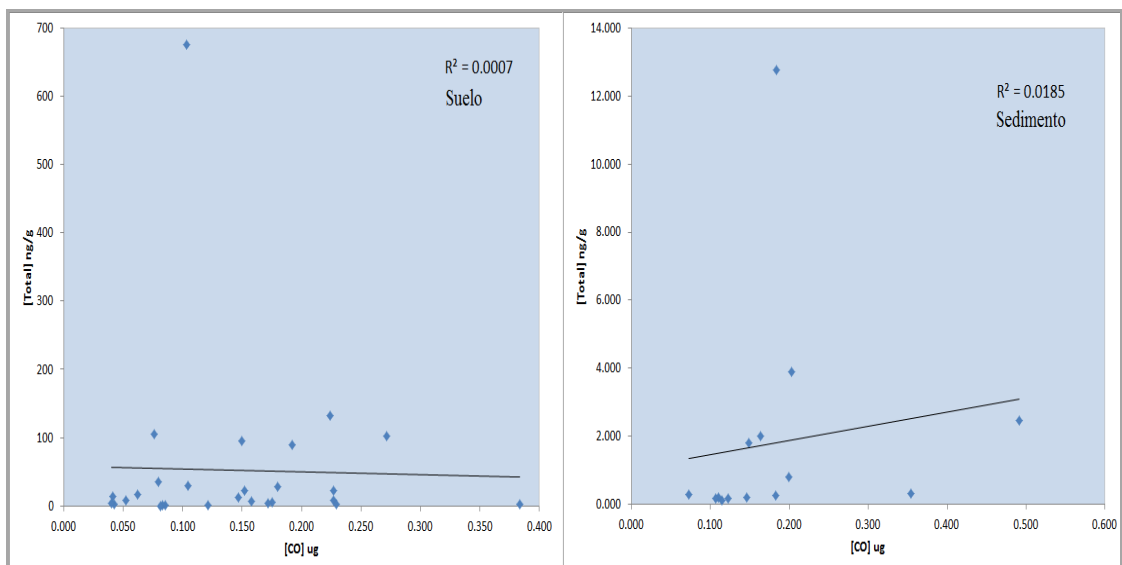


Figura 13. Correlación de la concentración total de compuestos organoclorados vs carbono orgánico en muestras de suelo y sedimento.

Los gráficos de la figura 13 muestran que no existe una correlación entre la concentración total de organoclorados y la concentración de carbono orgánico (materia orgánica) para muestras en suelo, mientras que en el sedimento muestra una ligera tendencia, a mayor concentración de carbono orgánico, mayor concentración de pesticida.

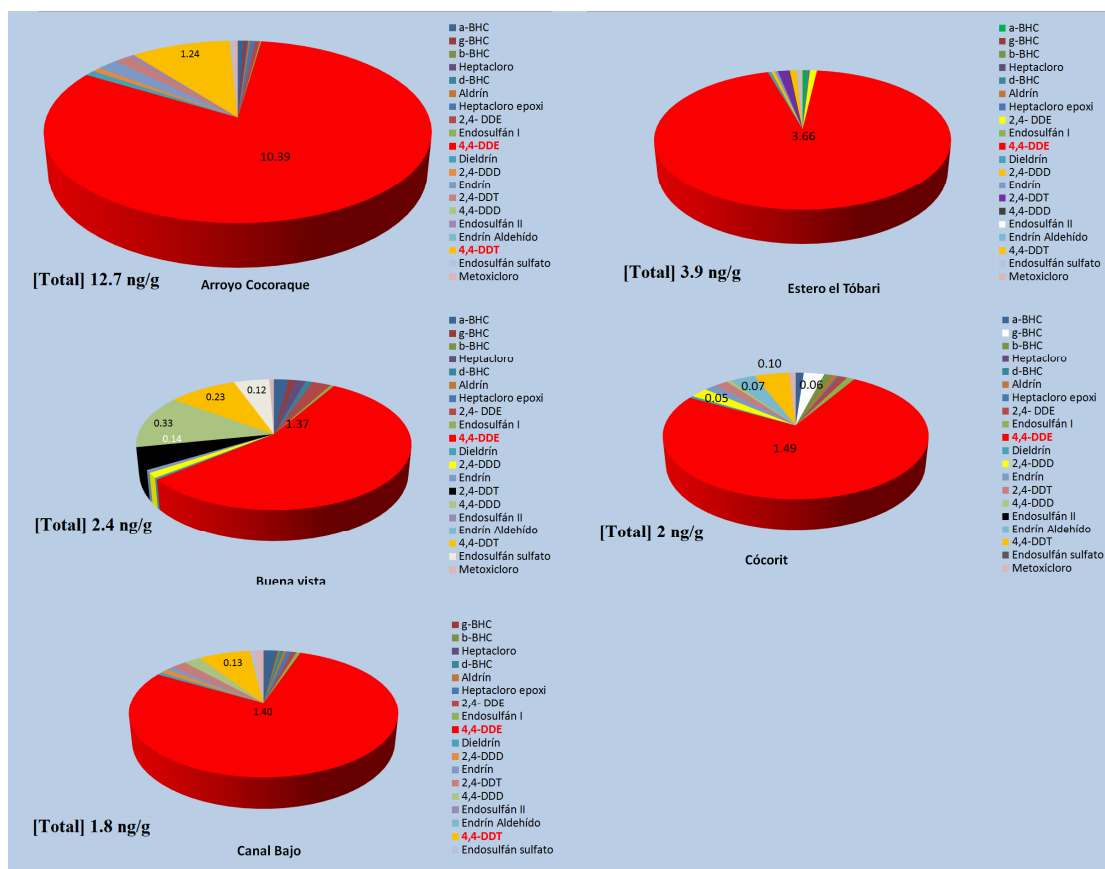


Figura 14. Distribución de pesticidas organoclorados de sedimentos en las localidades que presentaron mayor concentración.

Los pesticidas organoclorados presentaron una distribución similar en proporción de concentración por compuesto en cada localidad, tal como se muestra en la figura 14 donde el compuesto más abundante en un 60 a 90 % es el 4,4-DDE.

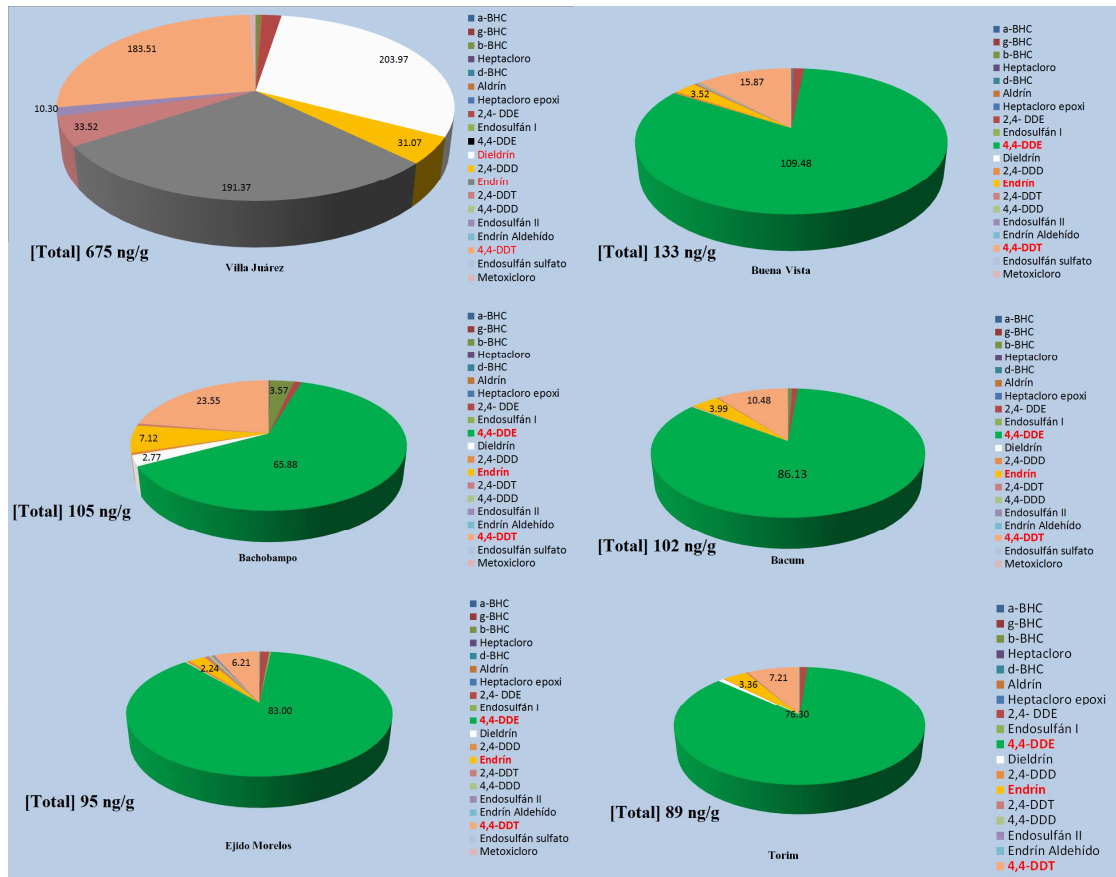


Figura 15. Distribución de pesticidas organoclorados en suelo de las localidades que presentaron mayor concentración.

Al igual que en los sedimentos, en muestras de suelo (Figura 15), el compuesto con mayor concentración cubriendo más del 70% de la concentración total por localidad es el 4,4-DDE, solamente la localidad de Villa Juárez no presentó la misma distribución, los compuestos predominantes son dieldrín, endrín y 4,4-DDT con concentraciones alrededor de los 200 ng/g ocupando cada uno cerca del 30% de la concentración total de pesticidas.

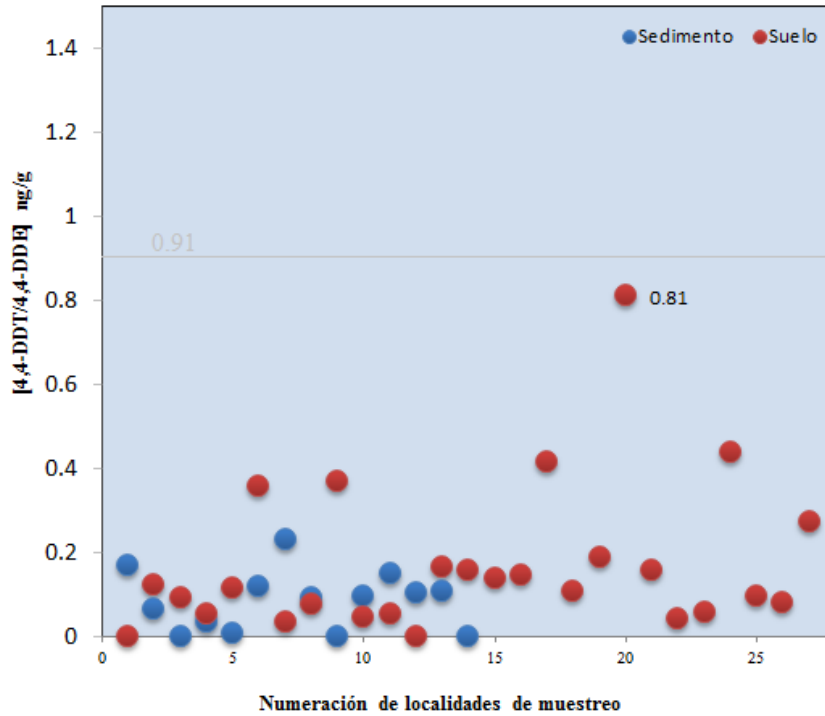


Figura 16. Razón DDT/DDE.

El resultado de la razón DDT/DDE indica que todos los valores en cada una de las localidades de muestreo se encuentran por debajo de 0.91. Solo hay una estación que tiene un valor de razón relativamente alto, 0.81 y corresponde a la localidad de Liliba muestreada en suelo (Figura 2, tabla II).

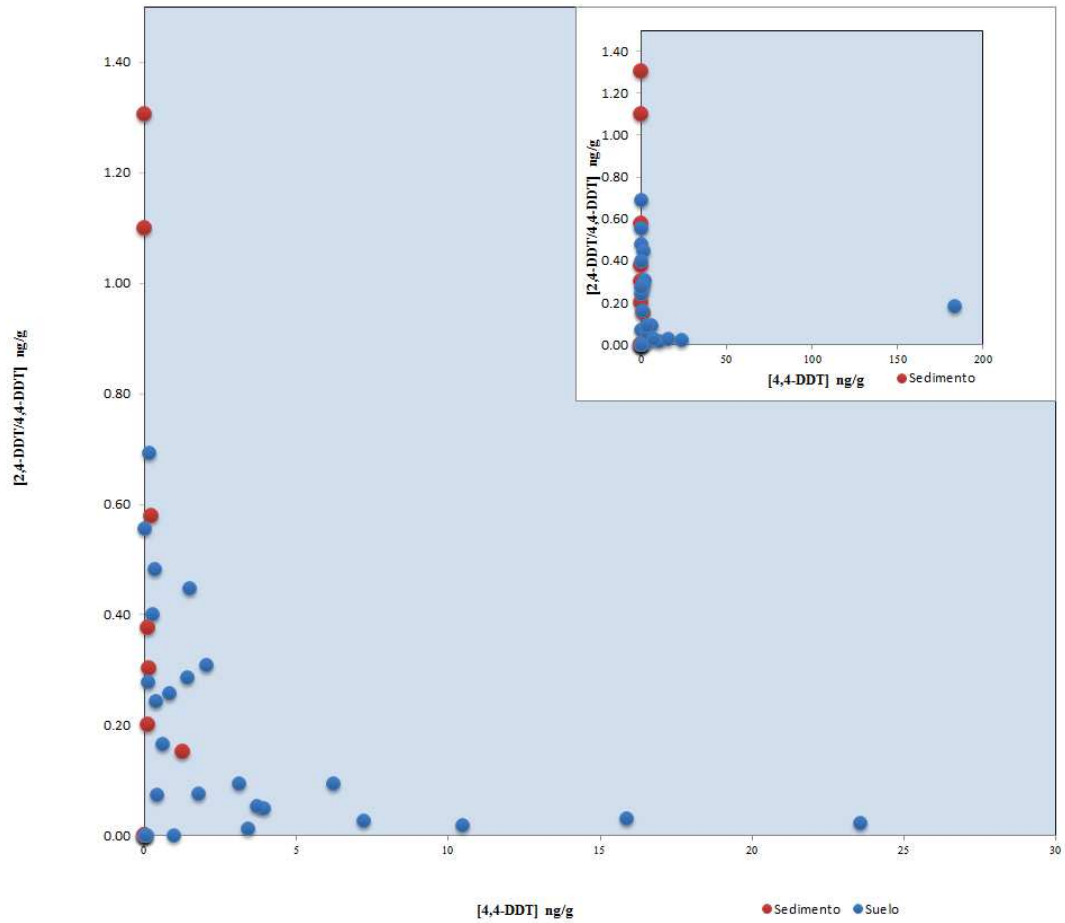


Figura 17. Razón del proceso de degradación del 4,4-DDT en suelo y sedimento.

La distribución de la razón 2,4-DDT/4,4-DDT muestra una tendencia similar en suelo comparando con el sedimento; esto habla de procesos de degradación similares en éstas dos matrices.

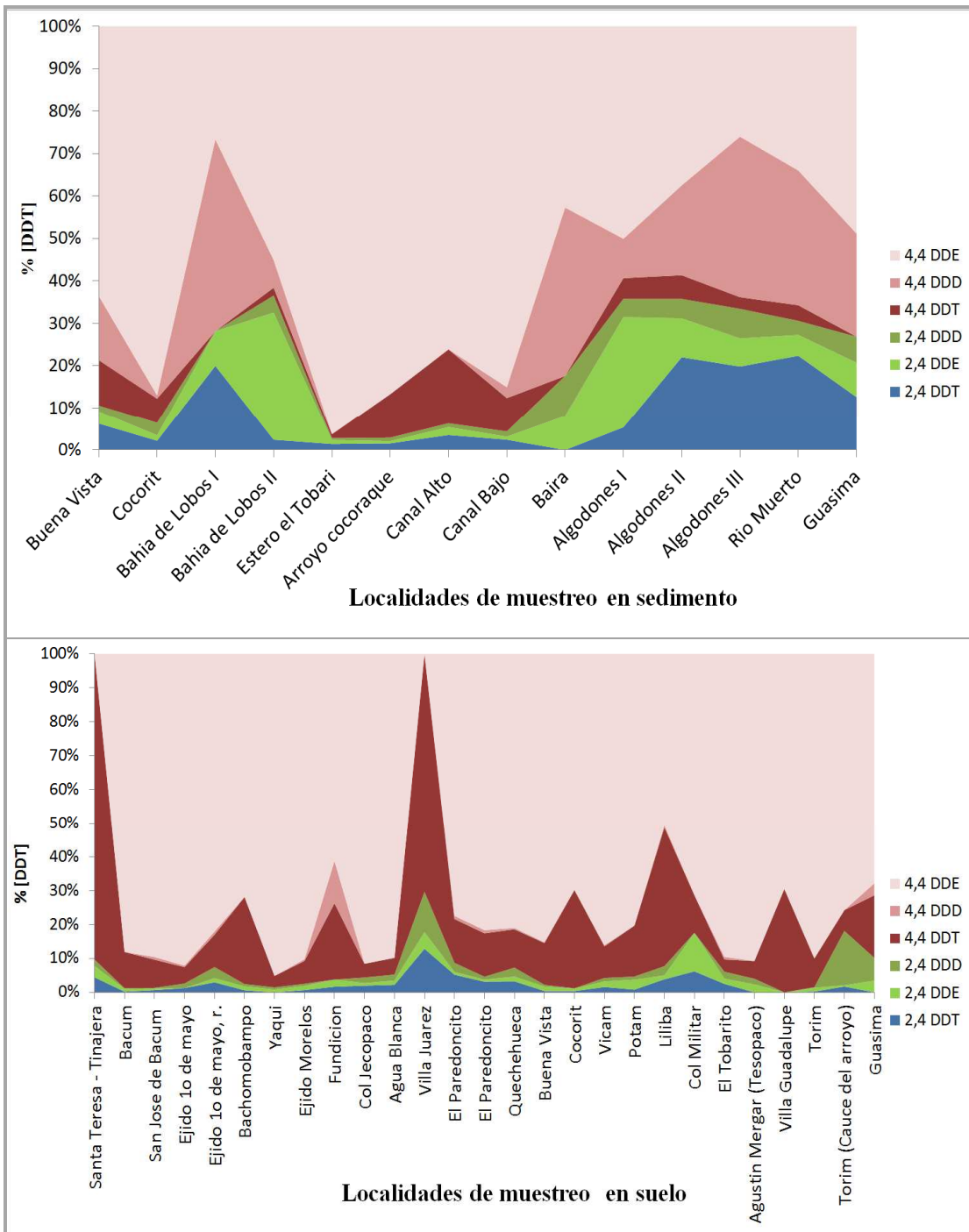


Figura 18. Porcentaje de concentración de los metabolitos del DDT respecto al DDT total

La figura 14 muestra que los metabolitos del DDT entre cada localidad de muestreo presentan un comportamiento similar en proporciones de concentración tanto para las muestras en suelo como sedimento. El DDT es considerado como la suma total de todos sus metabolitos, tomando en cuenta que el producto final de degradación del DDT es el DDE se observa (Figura 14) que del DDT total el metabolito 4,4-DDE presenta mayor porcentaje, es decir, en cantidades hay mayor proporción de éste respecto a los demás metabolitos. En el gráfico de las localidades de muestreo en suelo hay una excepción respecto al comportamiento antes mencionado, la localidad Villa Juárez es predominada por el metabolito 4,4-DDT.

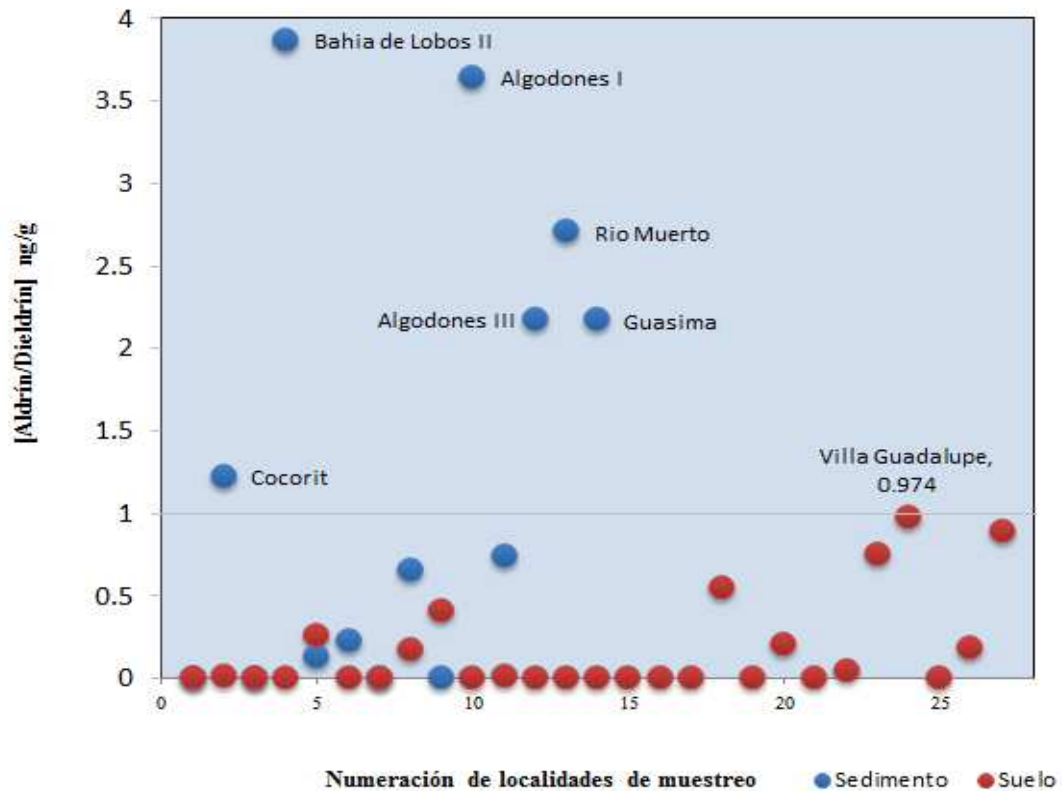


Figura 19. Razón Aldrín/Dieldrín.

El resultado de la razón Aldrín/Dieldrín (Figura 19) para las estaciones de suelo es menor a 1, la localidad Villa Guadalupe presenta un valor de 0.97 las mas cercana a la unidad. En las estaciones de sedimento hay seis que resultaron con razones mayor a 1, éstas localidades son Cócorit, Algodones I, Algodones III, Guásima, Río Muerto y Bahía Lobos II.

Tabla III.-Plaguicidas prohibidos, restringidos, así como su DL50 incluidos en el catálogo de la CICOPLAFEST

CICOPLAFEST				
Plaguicidas medidos en Valle del Yaqui	Uso prohibido	Uso restringido	DL50 Oral (rata) [mg/kg]	DL50 Dérmica (conejo)[mg/kg]
<i>α-HCH</i>				
<i>β-HCH</i>				
<i>γ-HCH</i>		X	88	500
<i>δ-HCH</i>				
Heptacloro				
Heptacloro epoxi				
Aldrín	X			
Dieldrín	X			
Endrín	X			
Endrín Aldehído				
Endosulfán I			22.7	359
Endosulfán II				
Endosulfán sulfato				
DDT		X	113	2500
2,4-DDD				
2,4- DDE				
2,4-DDT				
4,4-DDD				
4,4-DDT				
Metoxicloro		X	1855	6000

Tabla IV. Límites máximos permisibles de contaminantes en suelo contenido en el apéndice A de la norma PROY-NMX-AA-109-SCFI-2007 comparado con la concentración máxima encontrada de cada compuesto en éste trabajo.

Contaminante	PROY-NMX-AA-109-SCFI-2007		En éste trabajo	
	Concentración máxima en suelo, mg/kg base seca		Concentración en Suelo, mg/kg	
	Residencial	Industrial	Éste trabajo	Localidad
<i>Aldrín</i>	0.29	0.1	0.001	Villa Juárez
<i>DDD</i>	2.4	10	0.031	Villa Juárez
<i>DDE</i>	1.7	7	0.109	Buena Vista
<i>DDT</i>	1.7	7	0.183	Villa Juárez
<i>Dieldrín</i>	0.03	0.11	0.203	Villa Juárez
<i>Endosulfán</i>	370	3700	0.01	Villa Juárez
<i>Endrín</i>	18	180	0.19	Villa Juárez
<i>Heptacloro</i>	0.11	0.38	6×10^{-5}	Tesopaco
<i>Eptacloro epoxi</i>	0.053	0.19	2×10^{-4}	Buena Vista
<i>HCH (γ) lindano</i>	0.44	1.7	2×10^{-4}	Fundición

Tabla V. Comparación de concentraciones total promedio de DDT en muestras de suelo en diferentes países respecto al reportado en éste trabajo.

Pais	DDT [ng/g]	Referencia
<i>Beijing, China</i>	140.79	<i>Zhu et al., 2005</i>
<i>North-East China</i>	79.3	<i>Wang et al., 2006</i>
<i>Hong Kong</i>	1.85	<i>Zhang et al., 2006</i>
<i>E.U.A.</i>	211	<i>Bidleman y Leone, 2004</i>
<i>Polonia</i>	110	<i>Falandysz et al., 2001</i>
<i>Nagaon, India</i>	903	<i>Mishra et al., 2012</i>
<i>Nibrugarth, India</i>	757	<i>Mishra et al., 2012</i>
<i>Vietnam</i>	110	<i>Thao et al., 2010</i>
<i>Valle del Yaqui, México</i>	36	<i>Éste trabajo</i>

Tabla VI. Comparación de rango de concentraciones y concentraciones promedio de compuestos organoclorados medidos en distintos lugares de la república mexicana en muestras de sedimento, [ng/g].

	Laguna Chantuto Panzacola y Carretas-Pereira Chiapas México	Laguna de Términos, Campeche	Costa Sur de Campeche	Valle de Mexicali	Valle del Yaqui, Sonora
α -HCH		1.3×10^{-03} - 2.9	0.086		0.03
γ -HCH	22	3.7×10^{-04} - 1.1	0.74 - 2.23		0.01
Aldrín	151	2×10^{-03} - 0.1	3.62 - 45.99		0.01
Metoxicloro		3.0×10^{-03}	2.7 - 6.07		0.02
Heptacloro	23				0.02
Heptacloro epoxi	113	2.2×10^{-03} - 3.3×10^{-02}	0.47 - 1.02		0.01
Endosulfán II	250				0.01
2,4-DDT		5.6×10^{-04} - 3.2	0.236	80 - 122	0.04
2,4-DDD		1.4×10^{-03} - 2.9	1.07 - 8.70		0.02
2,4-DDE		5.2×10^{-04} - 2.8	14.936		0.02
4,4-DDT		8×10^{-05} - 2.1	0.34 - 3.023		0.13
4,4-DDE	22				1.37
Referencia	Botello et al., 2000	Rendon-von Osten et al., 2000	Rendon-von Osten et al., 2003	[Máximas] Guardado,1975	[Total promedio] Este trabajo

7. DISCUSIÓN.

A partir de la suma total de compuestos organoclorados en cada una de las estaciones de muestreo, las mayores concentraciones medidas en los dos sustratos se encontraron en el suelo, (Figura 4). En las muestras de sedimento el máximo de concentración está localizado en la estación Arroyo Cocoraque, Canal Bajo y Estero el Tóbari ubicado al sur del valle y Buena Vista ubicado al norte del valle (Figura 10), lo cual tiene similitud con las estaciones de suelo donde el máximo de concentración se localizó en las estaciones de Villa Juárez, Ejido Morelos y Bachomobampo localizados al sur del valle y Buena Vista, Bacum y Torim al norte del valle (Figura 12). Los veinte pesticidas organoclorados presentaron concentración en cada una de las localidades de muestreo (Figura 7 y 8), esto habla de lo extenso de la contaminación que se generó con las aplicaciones en el pasado. Los veinte compuestos organoclorados presentaron una distribución de concentración proporcionalmente similar en las diferentes localidades ó estaciones de muestreo (Figura 9 y 10), por ello la descriptiva de los resultados se enfoca a partir de las localidades que presentaron las concentraciones más altas.

Aparentemente la distribución y localización de las mayores concentraciones en el Valle del Yaqui muestran que hay dos sentidos en la dirección de la distribución, uno en el norte y otro en el sur tanto para pesticidas medidos en suelo como sedimento; así mismo se identifica otro patrón menos marcado en la distribución donde las concentraciones decrecen conforme hay proximidad a la costa encontrando las concentraciones más bajas en todo el Valle, sin embargo éste patrón de distribución no predominan respecto a la distribución norte y sur. En el mapa de la figura 12 se observa que de la estación Buena Vista siguiendo el curso del río Yaqui las concentraciones decrecen encontrando las mínimas en el sistema costero Algodones donde desemboca el río Yaqui. Si bien, el mes de muestreo fue en época de lluvia, durante ese año la precipitación anual fue menor a años anteriores debido a que el periodo de lluvias se retrasó (SIAP, 2013) por lo tanto hasta el día del muestreo la zona no presentó escurrimientos significantes, siendo este uno de los medios de transporte de éstos

compuestos más importantes a nivel local (Pereira et al., 1996), esto y el sistema de presas que intervienen en el curso del río Yaqui hace que el transporte hacia la zona costera sea menor lo cual puede ser un factor que explique por qué conforme hay proximidad a la zona costera encontramos concentraciones menores; hipotéticamente nos dá una aproximación de una zona donde en el pasado pudo haber grandes cantidades de aplicaciones de pesticidas.

Como se ha mencionado en los sistemas costeros se encontraron las concentraciones mas bajas de plaguicidas organoclorados, los diagramas de la figura 11 muestran que hay una diferencia estadísticamente significativa (Anexos, figura A. Prueba de Friedman con α de 0.05) de concentración en cada sistema costero, encontrando las menores concentraciones al norte en Guásima y Río Muerto donde el aporte de agua dulce es debido a escurrimientos continentales (Vásquez, 1987) estando los días de muestreo en época de estiaje, mayores concentraciones en Algodones y Baira al centro del valle donde hay una zona de mezcla proveniente del flujo de agua del Río Yaqui cuando las precipitaciones anuales son buenas, sin embargo la inestabilidad de su cauce debido a las retenciones de agua por las presas, el flujo débil y las sequias ha hecho que con el paso del tiempo su curso se modifique y se ramifique en canales incluso sin llegar al mar (Googleearth, 2013); y Bahía Lobos, Estero el Tóbari al sur del valle siendo éste último el que presentó mayor concentración. Un caso especial es el que representa Bahía Lobos (I,II) ya que es el receptor de aguas residuales durante todo el año, esto y el alto valor del coeficiente de partición (K_{oc}) de los pesticidas (Pereira et al., 1996) podría favorecer a encontrar mayores concentraciones de éstos compuestos en ésta zona, teniendo un máximo de 0.58 ng/g (0.30 y 0.28 ng/g, figura 5). La relación de carbono orgánico (materia orgánica) y pesticidas medidos en suelo no presentaron una correlación, en sedimentos se aprecia en la figura 13 una tendencia con una correlación estadísticamente no significativa (Anexos, figura B. Prueba exacta de Fisher con α de 0.05) la materia orgánica con los pesticidas, esto podría ser un factor que respaldara que Bahía Lobos sea una de las estaciones con mayores concentraciones en la zona costera, sin embargo en el Estero el Tóbari, zona que presentó las mayores

concentraciones de las estaciones muestreadas a lo largo de la costa de Valle del Yaqui (concentración máxima de 3.9 ng/g (Figura 5 b)), entre los factores que podrían explicar esta relativas concentraciones mayores es la dinámica del estero y el tipo de aportes que a él llegan. El Estero El Tóbari es una zona de baja energía donde los aportes de agua dulce son por canales de uso agrícola y escurrimientos pluviales (Lankford, 1977 en Beman y Christopher, 2006), éstos canales provienen de la zona sur de Valle del Yaqui donde en suelo se presentaron las mayores concentraciones, además la geografía del estero le confiere estabilidad a la zona, a diferencia de Bahía Lobos que es una zona dinámica de entrada y salida de agua del Golfo de California debido al tamaño de sus bocas.

La época de muestreo fue a principios de agosto, en la transición de las estaciones verano y otoño, donde los eventos de lluvias y escurrimientos están por ocurrir y el patrón general de vientos en la zona cambia viniendo del sur en época de verano y del noroeste en otoño (SIAP, 2013). Éste patrón de vientos podría favorecer el transporte atmosférico local teniendo aporte depositacional de éstos compuestos hacia el sur del Valle, confirmando la distribución de concentraciones en todo el Valle del Yaqui que va de menor a mayor de norte a sur, así mismo la dirección del viento da el sentido de la corriente litoral (Bagnold, 1963) lo cual podría ser uno de los factores que explique porque en la zona costera norte se encuentran las menores concentraciones de pesticidas y en el sur las mayores; la localidad de Buena Vista no forma parte de éste patrón de distribución, esto podría deberse a que se encuentra entre dos sistemas montañosos, la Sierra Madre Occidental y la Sierra Bacatete ejerciendo una barrera en el transporte aéreo lo cual dificulta el desplazamiento de éstos compuestos y por ello se acumulan mas en ésta zona encontrándolas relativamente altas.

A pesar de que los eventos climáticos del periodo de muestreo expliquen que las concentraciones menores se localicen en las estaciones costeras, también un factor que es importante mencionar es que éstos sistemas costeros se encuentran en su primera fase de maduración, es decir los procesos de sedimentación son predominantes, por lo cual

especulando se podrían esperar concentraciones de pesticidas clorados más bajas en éstos sistemas que del aporte terrestres (Vázquez, 1987).

Las estaciones de muestreo en sedimento Arroyo Cocoraque, Estero el Tóbari, Buena Vista, Cócorit y Canal Bajo son las que presentaron mayor concentración, observando en la figura 14 la distribución de cada compuesto organoclorado por estación encontramos que la muestra está contenida en un porcentaje mayor al 70% en cada una de las estaciones por el metabolito 4,4-DDE; al hacer una comparación con las muestras de suelo (Figura 15) donde las máximas concentraciones se presentaron en las localidades de Villa Juárez, Buena Vista, Bachomobampo, Bacum, Ejido Morelos y Torim, se encuentra que el mismo metabolito, 4,4-DDE, es el predominante en la concentración total de cada estación, excepto por lo localidad de Villa Juárez resaltando que es donde se encontró las máximas concentraciones en todo el Valle con 675 ng/g de organoclorados totales. Villa Juárez tiene valores de concentración para dieldrín de 204.0 ng/g, endrín 191, 4,4-DDT 183.5 ng/g, 2,4-DDT 33.5 ng/g, 2,4-DDE 31.1 ng/g, siendo éstos los compuestos que presentaron mayor concentración.

En base a lo anterior se infiere que el proceso predominante en cada una de las estaciones del Valle del Yaqui es la deshidrocloración aerobia es decir, el DDE es producto del DDT cuando éste en condiciones aeróbicas pierde un átomo de cloro y uno de hidrógeno (Zeng y Venkatesan 1999), en la figura 18 se muestra en base a la concentración total de DDT las proporciones que hay de cada metabolito. Esto no significa que éstos valores estén dentro de un total de aplicación de éste pesticida en la zona de estudio, simplemente dan una idea de la etapa del proceso de degradación del DDT en las muestras de suelo y sedimento en todas las localidades.

La frecuencia con la que predominan en el Valle éstos compuestos y sus altas concentraciones, el uso de las razones de los metabolitos 2,4-DDT/4,4-DDT respecto al DDT total corrobora que las dos fases del sistema de distribución medida (suelo y sedimento) presenta una tendencia similar en el proceso de degradación de los compuestos, como se ha descrito anteriormente (Figura 17).

Tavares y Costa en 1999 reportan que valores de razón DDT/DDE mayor a 0.91 corresponden a que los compuestos organoclorados medidos son de uso reciente, en la figura 16 se observa que todos los compuestos encontrados en el Valle del Yaqui para muestras en suelo son provenientes de aplicaciones del pasado.

Villa Juárez, una de las estaciones localizadas al sur del valle no solo es la localidad que presentó las máximas concentraciones de pesticidas, también es la única estación que no presenta el mismo patrón de proporción de concentraciones de los pesticidas en cada una de las estaciones (Figura 15), los compuestos abundantes son los metabolitos del DDT, endrín y dieldrín (Figura 12), para éste último Karina *et al.*, (2003) y Gao *et al.*, (2005) reportan que valores mayor a 1 de la razón de concentraciones aldrín/dieldrín corresponden a aplicaciones recientes, de lo contrario la presencia de los compuestos es debido a la persistencia de aplicaciones pasadas; las estaciones de sedimento Bahía Lobos II, Algodones I,III, Río Muerto, Guásima y Cócorit tienen un coeficiente de razón mayor a 1, lo cual indica la posibilidad de que la presencia de aldrín y dieldrín en éstas estaciones sean causa de aplicaciones recientes, sin embargo por ser estaciones costeras se sabe que son zonas receptoras de éstos compuestos, por lo tanto puede haber regiones agrícolas de Valle del Yaqui donde recientemente se hayan aplicado éstos compuestos a pesar de su prohibición (CICOPLAFEST). En las estaciones de muestreo en suelo todas las localidades presentaron un coeficiente menor a 1 de ésta razón.

El catálogo de la CICOPLAFEST indica cuales son los compuestos que están prohibidos ó restringidos en México (tabla III), en éste trabajo se reportan valores de tres compuestos que actualmente está restringido su uso en México: el γ -HCH, DDT y metoxicloro, su distribución homogénea dentro de la dinámica del Valle descrita con anterioridad y bajas concentraciones sugieren que la presencia de éstos compuestos no obedece a un uso reciente. Así también éste trabajo reporta valores de concentraciones para aldrín, dieldrín y endrín los cuales se encuentran prohibidos sin embargo para el caso del aldrin y dieldrín como se ha mencionado antes, la figura 19 indica que éstos compuestos se siguen usando actualmente; el caso del endrín las concentraciones

halladas se encuentran debajo del 1 ng/g y cinco estaciones alrededor de los 5 ng/g, sin embargo Villa Juárez destaca sobre las demás con una concentración de 191ng/g (Figura 15), esto indica que hay una fuente potencial en ésta zona la cual podrían ser el resultado de aplicaciones clandestinas. De acuerdo a la DL₅₀ reportada en la CICOPLAFFEST, ninguno de los compuestos medidos en éste trabajo rebasan éstos valores.

El proyecto de norma PROY-NMX-AA-109-SCFI-2007 reporta valores máximos permisibles de contaminantes en suelo, de acuerdo a la norma, uno de los compuestos medidos en éste trabajo, dieldrín (tabla IV), mostró valores superiores a los permisibles en residencias como industrias, reportando una concentración de 0.20 mg/kg (203 ng/g), cuando el valor máximo permisible es de 0.03 mg/kg para residencias y de 0.11 mg/kg para industrias.

Los compuestos con mayor frecuencia de aparición en cada una de las estaciones así como los que presentaron las mayores concentraciones son los metabolitos del DDT, la tabla V muestra la concentración promedio de DDT en diferentes lugares del mundo donde el uso de éstos compuestos en el pasado fue desmedida; Valle del Yaqui, México comparado con otras regiones presenta una concentración relativamente baja. La tabla VI reporta valores de concentración de compuestos organoclorados medidos en sedimentos en diferentes zonas costeras de México, haciendo una comparación de éstos valores con los encontrados en Valle del Yaqui, éste trabajo reporta valores por debajo de las concentraciones halladas en otros sistemas costeros.

La población de Valle del Yaqui, con cerca de un millón de habitantes se encuentra expuesta constantemente a los agroquímicos de uso actual y también a los agroquímicos usados en décadas pasadas. Los compuestos y valores de concentración reportados en éste trabajo nos muestran que a pesar de su prohibición y restricción en las regulaciones de éstos, aún se encuentran presentes en el suelo y en el sedimento, algunos inclusive con altas concentraciones mas allá de las permisibles; si bien éstas concentraciones halladas son en base a un muestreo aleatorio en zonas de tránsito poblacional tomando una muestra por localidad, pensando en términos de concentraciones por metro cuadrado (área) de los compuestos encontrados podemos

inferir la gran cantidad de compuestos aplicados en décadas pasadas en todo el territorio y la repercusión que ha tenido con el tiempo en la población ya que son compuestos altamente tóxicos. En la zona sur del Valle, especialmente la localidad Villa Juárez es donde se localizan las mayores concentraciones y así también un compuesto que aparentemente se sigue utilizando, dieldrín. Existe un foco rojo en ésta zona para la población, son concentraciones elevadas donde quizá no rebasen los límites permisibles ni se acerquen a las dosis letales pero son compuestos altamente tóxicos que aun que estén restringidos ó prohibidos se siguen encontrando, las mayores concentraciones medidas corresponden a compuestos organoclorados con mayor tiempo de vida, se encontraron aplicaciones recientes y además al tomar en cuenta que es una concentración medida en un área determinada aleatoriamente (12m² del cuadrante de muestreo), la distribución de éstos compuestos en todo el valle es homogénea, a pesar de que en algunas localidades las concentraciones sean bajas, la biomagnificación y bioconcentración puede estar presente, teniendo en cuenta que la pesca es otra de las actividades locales de donde la población se sostiene y aunado a las condiciones de vida de la población donde la mayoría de las calles no cuenta con pavimento y un gran número de hogares no cuenta con piso cementado la población se encuentra en alto riesgo, principalmente la población infantil el cual tendrá repercusiones con el paso del tiempo.

7. CONCLUSIÓN.

- La concentración media de compuestos organoclorados medidos en suelo es mayor a la encontrada en sedimentos, 12.19 ng/g y 0.29 ng/g respectivamente.
- Las máximas concentraciones de los pesticidas organoclorados se localizan al sur del valle.
- Villa Juárez es la estación con mayor concentración de pesticidas organoclorados.
- El compuesto que predomina por frecuencia de aparición y mayor concentración en todo el valle es el metabolito del DDT, 4,4-DDE.
- La fase del proceso de degradación de DDT predominante en Valle del Yaqui es la deshidrocloración aerobia.
- La degradación en suelo como en sedimento presentan una tendencia similar.
- Las concentraciones de DDT medidas parecen corresponder a aplicaciones del pasado.
- En el Valle del Yaqui parecen existir aplicaciones recientes de aldrín y dieldrín.
- Tres de los compuestos restringidos por la CICOPALAFEST fueron encontrados en Valle del Yaqui: γ -HCH, DDT y metoxicloro.
- Tres de los compuestos prohibidos por la CICOPALAFEST fueron encontrados en Valle del Yaqui: aldrín, dieldrín y endrín.
- Ningún compuesto organoclorado rebasa la concentración letal media (DL₅₀) reportada por la CICOPALAFEST.
- De acuerdo con la norma PROY-NMX-AA-109-SCFI-2007, sólo el dieldrín presentó una concentración por arriba de la permisible en suelos por ésta norma con 0.203 mg/kg en la localidad de Villa Juárez.
- El Valle del Yaqui, Sonora presenta concentraciones bajas comparando con estudios en otras localidades a nivel mundial.
- La población de la zona sur está en un riesgo mayor de exposición a pesticidas organoclorados que los de la zona norte del Valle del Yaqui, con principal foco de afectación en la localidad de Villa Juárez.

9. REFERENCIAS.

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 1989. Toxicological profile for DDT, DDE, and DDD. U.S. Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA.
- Bailey, A., Costa, H. J. Chemical analyses of sediment cores data report. U.S. Department of Justice, South California Bight Natural Resource Damage Assessment Expert Reports; U.S. Department of Justice, 1994; Chapter 2, Appendix H, p 138.
- Bagnold, R.A., 1963. Beach and nearshore processes, I: mechanics of marine sedimentation. In: *The Sea* (M.N. Hill, Ed.), Wiley, New York: 507-549.
- BEMAN, J. M. y F, CHRISTOPHER A., 2006. Diversity of Ammonia-Oxidizing Archaea and Bacteria in the Sediments of a Hypernutrified Subtropical Estuary: Bhatia del Tabard, Mexico. (Diversidad de Archaea Amoníaco-Oxidativas y bacterias en los sedimentos de un estuario subtropical hipernitrificado: estero de Tóbari, México.) *Applied & Environmental Microbiology*. 72 (12): 11.
- Budavari, S., M.J. O'Neil, A. Smith, and P.E. Heckelman. 1989. *The Merck index: An encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals*. Merck and Company, Inc., Rahway, NJ.
- CCME, Canadian Environmental Quality Guidelines. Canada Council of Ministers of the Environment, 1999.
- CICOPLAFEST, Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. Catálogo de plaguicidas 2004.

- Cruz, M.R.C. 2006. Análisis de la influencia del ENSO en el Valle del Yaqui (Sonora, México) mediante modelos de regresión dinámica y múltiple. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 2 (2): 65-80.
- Cruz C., M. E., J. A. Delgado C., y M. Muñoz V., 2000. Observaciones Oceanográficas en la Laguna el Tóbari, Sonora. Trabajo presentado en el XII Congreso Nacional de Oceanografía, Huatulco, Oaxaca, México.
- Domaglaski, J.L., K.M. Kuivila. 1993. Distributions of pesticides and organic contaminants between water and suspended sediment, San Francisco Bay, California. *Estuaries* 16 (3A): 416-426.
- Flores, L.N.A. 2006. Plaguicidas organoclorados y bifenil policlorados como indicadores de la estructura poblacional de la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) del Golfo de California. Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional – Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz B.C.S., México, 80 p.
- Fuller, C.C., A. Van Green, M. Baskaran, R. Anima. 1999. Sediment chronology in San Francisco Bay, California
- Gao, H.J., Jian, X., Wang, F., Bian, Y.R., Wang, D.Z., Deng, J.C. and Yan, D.Y. 2005. Residual levels and new inputs of chlorinated POPs in agricultural soils from Taihu Lake region. *Pedosphere*, 15(3):301-309.
- García Bañuelos M. L. Estudio de las principales fuentes de contaminación por plaguicidas en neonatos lactantes residentes en Pueblo Yaqui, Sonora, México. 1991. Tesis para obtener el grado en Profesional Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.

- García Calleja I.E. Estudio preliminar de plaguicidas y metales pesados en agua potable y de uso general en el Valle del Yaqui, Sonora, México. 1998. Tesis para obtener el grado en Profesional Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.
- Gillette, A.E., Meza M. M., Aguilar M.G., Delia S.A., Enedina G.E. 1998. An antropological approach to the evaluation of preschool children exposure to pesticides in Mexico. *Enviromental Health Perspectives*. Vol. 106, num. 6.
- González Enríquez R. Contaminación por plaguicidas en el acuífero del Valle del Yaqui, Sonora, México. 1991. Tesis para obtener el grado de maestría en Administración de Recursos Hidráulicos. Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.
- Guardado Puentes J. Concentración de DDT y sus metabolitos en especies filtroalimentadoras y sedimentos en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. California cooperative oceanic fisheries investigations. Reportes volumen xviii, 1 julio 1973 a 30 junio 1975.
- Gutiérrez Partida D.I., Villaescusa J.A., Macías Zamora J. V., Castellón F. F. Contaminantes orgánicos persistentes en núcleos de sedimentos de la región sur de la Cuenca de las Californias. *Ciencias Marinas*, 2003. Vol. 29 no. 004. UABC.
- Hart, M.M., R.H. Adamson, and S. Fabro. 1971. Prematurity and intrauterine retardation induced by DDT in the rabbit. *Arch. Int. Pharmacodyn. Ther.* 192:286.
- INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Fecha de consulta: mayo 2013. URL: http://www2.inecc.gob.mx/cclimatico/edo_sector/estados/sonora.html

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de población y vivienda 2010.

URL: <http://www.inegi.org.mx/>

INIFAP, 2001. Guía técnica para los cultivos del área de influencia del campo experimental del Valle del Yaqui. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. SAGARPA. 282 pp.

Karina, S.B., Miglioranza, J.E., Aizpon, D.M. and Victor, J.M. 2003. Dynamics of organochlorine pesticides in soils from a southeastern region of Argentina. *Environ. Toxicol. Chem.* 22(4):712-717.

Li Y.F., Macdonald R.W. Sources, Occurrence, Trends and Pathways of Contaminants in the Arctic, 2005. Volume 342, Issues 1-3. 106 pp.

Mata., *et al;* en http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/cossio_c_hj/capitulo4.pdf fecha de consulta: enero 2010.

Monreal *et al.*, 2003 en Universidad de Sonora. Hidroestratigrafía del acuífero del Valle del Río Yaqui, Sonora. Departamento de geología. Fecha de consulta: noviembre 2009. URL: <http://www.biblioteca.uson.mx/digital/tesis/docs/18919/Introducci%C3%B3n.pdf>

Nicholson, H.P., 1967. Pesticide Pollution Control. *Science* 158 (3803): 871-875.

Pereira, W.E., Hostettler F.D., Rapp J.B. 1996. Distribution and fate of chlorinated pesticides, biomarkers and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments along a contamination gradient from a point source in San Francisco Bay, California. *Marine Environmental Research.* 41:299-314.

- Prado, G., G. Díaz, M. Noa, I. Méndez, I. Cisneros, F. Castoreña y M. Pinto. 2004. Niveles de pesticidas organoclorados en leche humana de la Ciudad de México. *AGRO SUR* 32(2) 60-69.
- Ramírez Pardo M.C. Determinación del pasaje trasplacentario de plaguicidas de mujeres embarazadas a sus neonatos residentes en el pueblo Yaqui, Sonora, Mexico 1997. Tesis para obtener el grado en Profesional Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.
- Reserbrough, R.W., E. Huscherberth, S. Jesen and J. E. Portman. 1978. Halogenated hydrocarbons. A guide to marine pollution. E. D. Golberg Gordon and Breach. Science Publishers. 1-18.
- Reyes Blanco B. L. Estudio preliminar sobre la presencia de plaguicidas organoclorados en leche materna de residentes de Pueblo Yaqui, Sonora, México. 1990. Tesis para obtener el grado en Profesional Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.
- Rodríguez C., Robledo M. M de L., Jáuregui M. C., Quintero H. B., Ramírez H. S., Tovar R. R., Espinosa R. M. A., 2008. Niveles de plaguicidas organoclorados en sedimentos superficiales de un tramo del río Mololoa. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (2): 146-154. 146.
- Rosales P., J Dwarak, C. WATTS y J. R. Campoy, 1992. Caracterización del Sistema Lagunar Tóbari-Siaric, Sonora Por Percepción Remota. Trabajo presentado en el XII Congreso Nacional de Oceanografía, Huatulco, Oaxaca, México.

Rueda L., Botello V. Alfonso, Díaz G. Presencia de plaguicidas organoclorados en dos sistemas lagunares del estado de Chiapas, México, 1997. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 13(2), 55-61.

SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
Fecha de consulta: mayo, 2013. URL:
<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/discursos2/Paginas/2010D002.aspx>

Sainz Covarrubias L. J. Determinación de plaguicidas organoclorados por cromatografía gas-liquidado en moluscos bivalvos en el sistema estuarino La Atanasia Santo Domingo, Valle del Yaqui. 1989. Tesis para obtener el grado en Profesional Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.

Sánchez-Pardo, J., y J. Rovira. 1985. Hidrocarburos alifáticos, DDT's y PCB's en sedimentos marinos de la zona Catalano-Balear (Mediterráneo Occidental). *Investigación pesquera* 49(4) : 531-536.

SEMARNAT. Fecha de consulta: Marzo, 2013. URL:
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/son/resumenes/2004/26SO2004FD008.pdf>

Shea M. Katherine. Physicians for social Responsibility (PSR.). *Low-Dose Pesticide Exposures in Infants and Children*. Washington D.C, 2009. Fecha de consulta: octubre 2010. URL: <http://www.psr.org/assets/pdfs/reducing-low-dose-pesticide.pdf>

SIAP. Fecha de consulta: marzo, 2013. URL:
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=24

- SISI. Sistema de Solicitudes de Información Instituto Federal de Acceso a la Información Pública. Fecha de consulta: Marzo, 2013. URL: http://www.sisi.org.mx/jspsi/documentos/2005/seguimiento/16101/1610100108805_065.doc
- Soto A. D. Estudio preliminar para la determinación de plaguicidas organoclorados en suero sanguíneo de niños residentes del Valle del Yaqui, Sonora. 1998. Tesis para obtener el grado en Profesional Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.
- Suntio, L.R., W.Y. Shiu, D. Mackay, J.N. Seiber, and D. Glotfelty. 1988. Critical review of Henry's law constants for pesticides. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 103:1–59.
- Tapia Quirós P. Determinación de plaguicidas organoclorados (POC) en niños residentes del ejido Guadalupe Victoria, Valle del Yaqui, Sonora. 2006. Tesis para obtener el grado en Profesional Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.
- Tavares, T.M., Beretta, M. and Costa, M.C. 1999. Ratio of DDT/DDE in all saints bay, Brazil and its use environmental management *Chemosphere*, 38(6): 1445-1452.
- Thomas, R., R. Evans, A. Hamilton, M. Munawar, T. Reynoldson and S. Sadar. 1987. Interactions between sediment contaminants and benthic organisms. Ecological effects of in situ sediment contaminants *Hydrobiologia* 149:53-66, Dr W. Junk publishers.
- Turk, Wittes J.T. 1973. *Ecología-contaminación-medio ambiente*. Ed. Interamericana. México D.F.

- UNEP/ POPS/ INC.1/ Inf.10. 1998. Preparación de un instrumento internacional jurídicamente vinculante para la aplicación de medidas internacionales respecto de ciertos contaminantes orgánicos persistentes. Programa de las Naciones Unidas, Montreal. Fecha de consulta: noviembre 2009. URL: <http://www.pops.int/documents/meetings/inc1/spanish/ritter-sp.html>
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1979. Water-related environmental fate of 129 priority pollutants. EPA 440/4/79/029a. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA United States Environmental Protection Agency, 1990b. Fish kills caused by pollution, 1977-1987. Draft Report of the US Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, DC.
- Valdez Hurtado S. Cuantificación e identificación de residuos de plaguicidas en el trigo y sus fracciones, producido y almacenado en el estado de Sonora. 2004. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias y tecnología de alimentos. Universidad de Sonora, división de Ciencias Biológicas y de la Salud. Hermosillo, Sonora.
- Valenzuela Gómez L. Principales plaguicidas utilizados en el Valle del Yaqui, Sonora, y su impacto en la salud, por su uso y manejo en el periodo 1995-1999. 2000. Tesis para obtener el grado en Profesional Químico en el Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.
- Vankatesan, M.I., R.P. de Leon, A. Van Geen, S.N. Lumoa. 1999. Chlorinated hydrocarbon pesticides and polychlorinated biphenyls in sediments cores from San Francisco Bay. *Mar. Chem.* 64:85-97.
- Vásquez del Castillo, D.A. 1987. Estudio del comportamiento y distribución de metales pesados y su relación con algunos parámetros físico-químicos en la columna

sedimentaria en tres sistemas costeros del Estado de Sonora. Tesis de licenciatura Químico-Biólogo. Universidad de Sonora. Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Hermosillo, Sonora.

Vega, F. A., Covelo, E. F., Andrade, M. L., 2007. Accidental organochlorine pesticides contamination of soil in Porriño, Spain. *Journal of Environmental Quality*. 36(1): 272-279.

Villarreal Barrón A. 2007. Determinación de plaguicida organoclorados en suero sanguíneo en niños residentes en el Tobarito Valle del Yaqui, Sonora. Tesis de Maestría en Recursos Naturales en el Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON. Ciudad Obregón, Sonora.

Ware, G.W. 1978. *The pesticide Book*. W.H. Freeman and Company. San Francisco. Pp. 27-52.

WHO, World Health Organization. *Public Health Impact of Pesticides Used in Agriculture*, 1990. Geneva.

Wrenn, T.R., J.R. Wood, G.F. Fries, and J. Bitman. 1970. Tests of estrogenicity in rats fed low levels of *o,p'*-DDT. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 5(1):61-66.

Zeng E. Y., Vista L.C., 1997. Organic pollutants in the coastal environment off San Diego, California. 1. Source identification and assessment by compositional indices of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Toxicologic Chemistry*. 16(2):179-188.

Zeng E. Y., Venkatesan MI. 1999. Dispersion of sediment DDTs in the coastal ocean off southern California. *Sci. Total Environ.* 229:195-208.

10. ANEXOS.

Tabla A. Límites permisibles de contaminantes en suelo contenidos en la norma PROY-NMX-AA-109SCFI-2007

CAS No.	CONTAMINANTE	Concentración máxima en suelo (mg/Kg) base seca	
		Residencial	Industrial
107-13-1	Aclonitrilo	0.055	0.120
309-00-2	Aldrin	0.029	0.100
62-53-3	Anilina	85.000	300.000
1912-24-9	Atrazina	2.200	7.800
100-52-7	Benzaldehido	6.100.000	62.000.000
92-87-5	Bencidina	0.002	0.008
56-23-5	Tetracloruro de carbono	0.250	0.550
55285-14-8	Carbosulfan	610.000	6.200.000
12789-03-6	Clordano (técnico)	1.600	6.500
108-90-7	Clorobenceno	150.000	530.000
67-66-3	Cloroformo	0.940	2.000
74-87-3	Clorometano	47.000	160.000
95-57-8	2-Clorofenol	63.000	240.000
98-82-8	Cumeno (isopropil benceno)	570.000	2.000.000
72-54-8	DDD	2.400	10.000
72-55-9	DDE	1.700	7.000
50-29-3	DDT	1.700	7.000
1918-00-9	Dicamba	1.800.000	18.000.000
95-50-1	1,2-Diclorobenceno	600.000	600.000
541-73-1	1,3-Diclorobenceno	530.000	600.000
106-46-7	1,4-Dichlorobencene	3.400	7.900
75-34-3	1,1-Dicloroetano	510.000	1.700.000
107-06-2	1,2-Dicloroetano (EDC)	0.280	0.600
142-28-9	1,3-Dicloropropano	100.000	360.000
60-57-1	Dieldrin	0.030	0.110
124-40-3	Dimetilamina	0.067	0.250
115-29-7	Endosulfan	370.000	3.700.000
72-20-8	Endrin	18.000	180.000
76-44-8	Heptacloro	0.110	0.380
1024-57-3	Epóxido de heptacloro	0.053	0.190
118-74-1	Hexaclorobenceno	0.300	1.100
87-68-3	Hexaclorobutadieno	6.200	22.000
58-89-9	HCH (gamma) Lindano	0.440	1.700
608-73-1	HCH-técnico	0.320	1.300
77-47-4	Hexaclorociclopentadieno (HCCPD)	370.000	3.700.000
67-72-1	Hexacloroetano	35.000	120.000
78-00-2	Tetraetilo de plomo	0.006	0.062
121-75-5	Malatión	1.200.000	12.000.000
7487-94-7	Bicloruro de mercurio	23.000	310.000
108-10-1	Metil isobutil cetona	5.300.000	47.000.000
298-00-0	Metil paratión	15.000	150.000
1634-04-4	Éter Metil Tert-butílico (MTBE)	32.000	70.000
56-38-2	Paratión	370.000	3.700.000
87-86-5	Pentaclorofenol	3.000	9.000
8001-35-2	Toxafeno	0.440	1.600
81-81-2	Warfarina	18.000	180.000

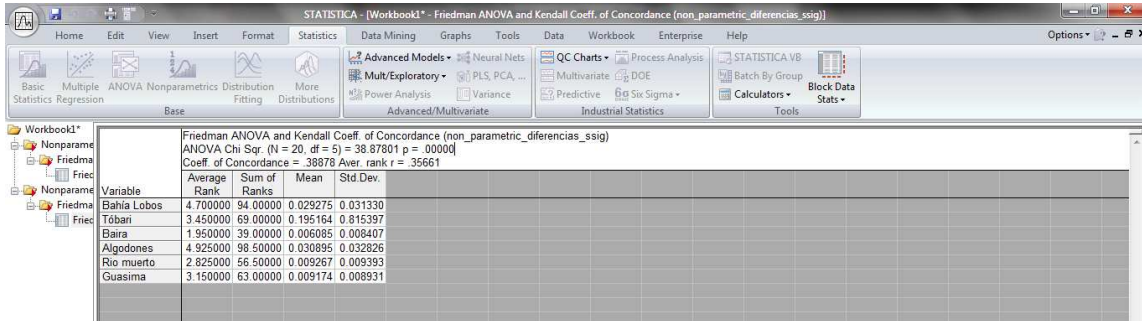


Figura A. Prueba estadística no paramétrica de Friedman aplicada a los datos de concentraciones totales en cada estación de muestreo de la zona costera del Valle del Yaqui, Sonora para establecer diferencias significativas usando un α 0.05 en el programa STATISTICA 10.

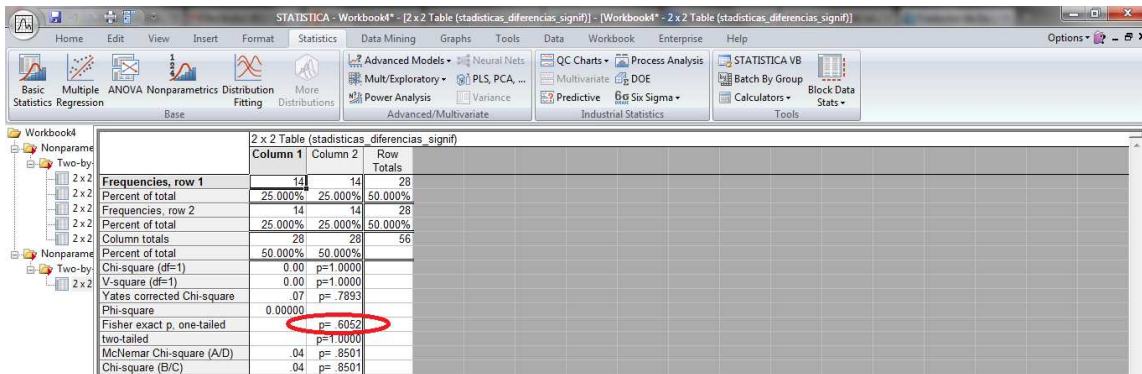


Figura B. Prueba estadística no paramétrica exacta de fisher aplicada a la correlación de datos de carbono orgánico y pesticidas organoclorados medidos en sedimentos para establecer diferencias significativas usando un α 0.05 en el programa STATISTICA 10

Tabla B. Tiempo de retención de los 20 compuestos organoclorados en cada una de las concentraciones establecidas en la curva de calibración.

Compuesto		0.25 ng/ml	0.5 ng/ml	1 ng/ml	2 ng/ml	5 ng/ml	10 ng/ml	25 ng/ml	50 ng/ml	100 ng/ml	200 ng/ml
		Tiempo de retención (TR)	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
α -BHC	1	23.31	23.32	23.329	23.309	23.436	23.437	23.441	23.44	23.488	23.467
γ -BHC	2	26.198	26.214	26.233	26.201	26.332	26.333	26.337	26.336	26.334	26.364
β -BHC	3	29.599	29.608	29.618	29.597	29.713	29.712	29.714	29.715	29.713	29.735
Heptacloro	4	31.314	31.329	31.339	31.318	31.476	31.478	31.481	31.477	31.476	31.514
δ -BHC	5	31.656	31.672	31.678	31.657	31.78	31.781	31.786	31.785	31.783	31.806
Aldrin	6	34.139	34.153	34.163	34.142	34.311	34.311	34.316	34.312	34.311	34.354
Heptaclor epoxi	7	38.676	38.695	38.702	38.682	38.851	38.85	38.857	38.851	38.849	38.891
2,4- DDE	8	40.993	41.009	41.021	40.996	41.167	41.165	41.17	41.164	41.165	41.203
Endosulfan I	9	42.386	42.405	42.415	42.388	42.563	42.558	42.564	42.56	42.558	42.6
4,4-DDE	10	44.713	44.709	44.719	44.698	44.867	44.869	44.873	44.866	44.866	44.906
Dieldrin	11	44.931	44.948	44.958	44.934	45.106	45.106	45.112	45.106	45.105	45.143
2,4-DDD	12	45.556	45.572	45.579	45.556	45.725	45.721	45.726	45.721	45.72	45.757
Endrin	13	48.306	48.326	48.328	48.304	48.482	48.48	48.487	48.481	48.478	48.518
2,4-DDT	14	49.845	49.86	49.867	49.847	50.007	50.007	50.009	50.003	50.002	50.036
4,4-DDD	15	50.042	50.055	50.066	50.045	50.201	50.203	50.208	50.203	50.203	50.235
Endosulfan II	16	51.191	51.205	51.213	51.189	51.352	51.351	51.352	51.351	51.348	51.381
Endrin Aldehido	17	51.464	51.48	51.493	51.468	51.628	51.628	51.631	51.628	51.627	51.659
4,4-DDT	18	52.607	52.623	52.632	52.613	52.787	52.781	52.786	52.781	52.781	52.817
Endosulfan sulfato	19		54.027		54.036	54.205	54.201	54.206	54.2	54.197	54.232
Metoxiclor	20	57.452	57.457	57.461	57.438	57.59	57.586	57.594	57.591	57.588	57.622
PCB 30 [100 ng/ml]	Std.int	24.31	24.972	24.982	24.961	25.099	25.097	25.099	25.096	25.094	25.124
PCB205 [100 ng/ml]	Std.int	65.046	65.059	65.065	65.05	65.161	65.161	65.163	65.157	65.157	65.179

Tabla C. Áreas de la curva de calibración de los 20 compuestos organoclorados.

Compuesto	Área[0.25 ng/ml]	Área[0.5 ng/ml]	Área[1 ng/ml]	Área[2 ng/ml]	Área[5 ng/ml]	Área[10 ng/ml]	Área[25 ng/ml]	Área[50 ng/ml]	Área[100 ng/ml]	Área[200 ng/ml]
α -BHC	8.47727	16.95377	33.18611	72.12653	131.354	282.38458	903.26141	1911.74438	4010.35815	6978.19922
γ -BHC	8.28528	16.73123	33.35291	71.96313	134.92607	284.9003	870.53346	1800.89465	3711.68286	6182.56689
β -BHC	7.05846	12.81551	28.95926	67.6991	104.74523	212.82687	566.59222	1096.70251	2103.12329	3332.37305
Heptacloro	6.61715	12.57351	26.4876	65.0771	127.98546	253.17523	685.9345	1302.65491	2682.33643	3672.97412
δ -BHC	3.81543	7.33449	16.48625	31.49066	98.1507	212.95715	647.59485	1320.0708	2939.34985	4435.94385
Aldrin	9.64984	19.98033	39.81544	91.94281	131.95409	270.51306	769.68103	1689.79541	3495.40747	6434.88721
Heptaclor epoxi	11.74043	21.59964	43.25318	100.91532	146.61638	287.52435	796.81317	1584.56616	3193.07007	5415.50391
2,4- DDE	8.57828	15.66174	34.39835	81.44921	117.86163	227.29799	617.55261	1224.97388	2399.48926	4078.34717
Endosulfan I	9.56835	18.57726	39.05256	84.31145	136.12935	265.42953	735.8559	1455.90161	2961.02563	5144.78711
4,4-DDE	21.18857	32.40915	41.45258	99.58188	132.17822	267.75299	780.65295	1633.45068	3381.50659	5201.84473
Dieldrin	7.38574	17.14608	37.6772	91.85677	128.95668	268.54987	757.35291	1538.51929	3175.52393	4826.29297
2,4-DDD	6.71867	16.03793	29.2848	67.26262	104.09435	203.72429	536.5271	1046.50024	2043.80408	2599.1189
Endrin	10.59076	26.52126	42.54991	81.30867	124.23589	242.96169	634.15088	1196.03333	2352.48071	3158.85962
2,4-DDT	4.70587	11.22066	26.8827	60.25249	107.59483	212.27043	574.45538	1167.99365	2404.56396	2673.97803
4,4-DDD	22.45237	12.10589	31.73378	48.35883	124.82476	247.77498	663.7619	1243.53284	2545.20581	3679.73852
Endosulfan II	7.58178	19.14411	40.18789	87.57716	177.88693	325.0925	846.59534	1714.58423	3294.75098	3785.4707
Endrin Aldehido	4.31404	8.11126	15.19099	52.46086	69.91512	118.20446	349.08075	931.27057	1674.15295	1999.30469
4,4-DDT	6.9434	13.30049	27.93308	66.64912	117.83163	238.40132	647.55273	1267.2356	2641.08789	3013.57324
Endosulfan sulfato		4.20491		6.3608	64.0183	139.83762	364.11816	476.31158	1243.60034	1520.20105
Metoxiclor	5.86949	10.95234	24.18692	57.94201	175.64893	383.49988	903.65625	1067.22815	2618.89771	3117.12329
PCB 30 [100 ng/ml]	1648.07239	2913.69458	2945.46411	2841.63354	2182.49902	2280.21948	2057.34326	2292.32544	2474.62231	1781.43262
PCB205 [100 ng/ml]	2087.50293	3895.31128	3893.0354	3839.97852	3058.77783	3195.88721	2925.30933	2939.95239	3478.79272	1695.8457

Tabla D. Áreas relativas al estándar interno de la curva de calibración de los 20 compuestos organoclorados.

Concentración relativa al std. Int.	0.0025	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.25	0.5	1	2
Compuesto	Area relativa	Area relativa	Area relativa	Area relativa	Area relativa	Area relativa	Area relativa	Area relativa	Area relativa	Area relativa
α -BHC	0.005143749	0.005819	0.011267	0.025382	0.060185	0.123841	0.439043	0.833976	1.620594	3.917184
γ -BHC	0.005027255	0.005742	0.011323	0.025325	0.061822	0.124944	0.423135	0.785619	1.499899	3.470559
β -BHC	0.004282858	0.004398	0.009832	0.023824	0.047993	0.093336	0.2754	0.478424	0.849876	1.870614
Heptacloro	0.004015085	0.004315	0.008993	0.022901	0.058642	0.111031	0.333408	0.568268	1.083938	2.061809
δ -BHC	0.002315086	0.002517	0.005597	0.011082	0.044972	0.093393	0.314772	0.575865	1.187797	2.490099
Aldrin	0.004622671	0.005129	0.010227	0.023944	0.043139	0.084644	0.263111	0.57477	1.004776	3.7945
Heptaclor epoxi	0.00562415	0.005545	0.01111	0.02628	0.047933	0.089967	0.272386	0.538977	0.917867	3.193394
2,4- DDE	0.00410935	0.004021	0.008836	0.021211	0.038532	0.071122	0.211107	0.416665	0.689748	2.404905
Endosulfan I	0.004583634	0.004769	0.010031	0.021956	0.044504	0.083053	0.251548	0.495213	0.851165	3.033759
4,4-DDE	0.010150199	0.00832	0.010648	0.025933	0.043213	0.08378	0.266862	0.555604	0.972035	3.067404
Dieldrin	0.003538074	0.004402	0.009678	0.023921	0.04216	0.08403	0.258897	0.523314	0.912824	2.845951
2,4-DDD	0.00321852	0.004117	0.007522	0.017516	0.034031	0.063746	0.183409	0.355958	0.587504	1.532639
Endrin	0.005073411	0.006809	0.01093	0.021174	0.040616	0.076023	0.216781	0.406821	0.676235	1.862705
2,4-DDT	0.002254306	0.002881	0.006905	0.015691	0.035176	0.06642	0.196374	0.397283	0.691206	1.576781
4,4-DDD	0.010755611	0.003108	0.008151	0.012594	0.040809	0.077529	0.226903	0.422977	0.731635	2.169855
Endosulfan II	0.003631985	0.004915	0.010323	0.022807	0.058156	0.101722	0.289404	0.583201	0.947096	2.232202
Endrin Aldehido	0.002066603	0.002082	0.003902	0.013662	0.022857	0.036986	0.119331	0.316764	0.481245	1.178943
4,4-DDT	0.003326175	0.003414	0.007175	0.017357	0.038522	0.074596	0.221362	0.431039	0.759197	1.777033
Endosulfan sulfato	0	0.001079	0	0.001656	0.020929	0.043755	0.124472	0.162013	0.35748	0.896427
Metoxiclor	0.002811728	0.002812	0.006213	0.015089	0.057425	0.119998	0.30891	0.363009	0.752818	1.838094

Tabla E. Parámetros de las funciones obtenidas de la curva de calibración para obtener las concentraciones de cada compuesto.

Compuesto	Pendiente	Intercepto con eje X	Exponencial	Coefficiente de correlación
α -BHC	0.954	-0.490	0.613	0.99
γ -BHC	0.969	-0.429	0.651	0.99
β -BHC	1.044	0.087	1.091	0.99
Heptacloro	0.999	-0.117	0.890	0.99
δ -BHC	0.886	-0.184	0.832	0.99
Aldrin	0.984	-0.178	0.837	0.99
Heptaclor epoxi	1.028	-0.099	0.906	0.99
2,4- DDE	1.028	0.169	1.184	0.99
Endosulfan I	1.011	-0.032	0.968	0.99
4,4-DDE	1.074	-0.071	0.931	0.96
Dieldrin	0.991	-0.060	0.942	0.99
2,4-DDD	1.061	0.442	1.556	0.99
Endrin	1.116	0.321	1.378	0.99
2,4-DDT	0.991	0.284	1.329	1.00
4,4-DDD	1.020	0.117	1.124	0.94
Endosulfan II	1.014	-0.069	0.933	1.00
Endrin Aldehido	0.994	0.642	1.899	0.99
4,4-DDT	1.008	0.202	1.223	0.99
Endosulfan sulfato	1.015	0.921	2.513	0.99
Metoxiclor	0.964	0.038	1.039	0.99

Tabla F.1. Concentración de los compuestos organoclorados medidos en Valle del Yaqui, Sonora. Parte I/IV.

	Compuesto	a-HCH	g-HCH	b-HCH	Heptacloro	d-HCH	Aldrín	Heptacloro epoxi	2,4-DDE	Endosulfán I	4,4-DDE
E1	Conc [ng/g]	0.014	0.011	0.045				0.009	0.145		
E2	Conc [ng/g]	0.025	0.014	0.572	0.029		0.001	0.015	0.782		86.129
E3	Conc [ng/g]	0.036	0.022	0.061				0.007	0.106		19.172
E4	Conc [ng/g]	0.012		0.210	0.019						15.293
E4r	Conc [ng/g]	0.028	0.006		0.037		0.072		0.255		17.562
E5	Conc [ng/g]	0.099	0.065	3.570	0.009	0.015	0.001	0.023	1.067		65.876
E6	Conc [ng/g]		0.027	0.104	0.005			0.014	0.233		26.932
E7	Conc [ng/g]	0.018	0.017	0.083			0.022	0.065	1.155	0.268	82.997
E8	Conc [ng/g]	0.020	0.229				0.011	0.006	0.039		1.143
E9	Conc [ng/g]	0.024	0.004	0.039	0.009	0.027		0.030	0.062		7.676
E10	Conc [ng/g]	0.012	0.016	0.096	0.012		0.012	0.038	0.388		26.962
E11	Conc [ng/g]	0.042	0.040	2.595	0.052	0.325	1.194		12.783		
E12	Conc [ng/g]	0.034	0.003					0.004	0.016		1.563
E12	Conc [ng/g]	0.010	0.016	0.052					0.018	0.062	2.395
E13	Conc [ng/g]	0.018	0.014	0.100				0.063	0.175		10.200
E14	Conc [ng/g]	0.051	0.031	0.025	0.035		0.051	0.236	1.685		109.479
E15	Conc [ng/g]	0.012	0.009	0.032	0.012				0.084		8.165
E16	Conc [ng/g]	0.037	0.016	0.070			0.032	0.012	0.106		5.477
E17	Conc [ng/g]	0.108	0.007	0.340	0.022				0.722		19.728
E18	Conc [ng/g]	0.082	0.010	0.046			0.011	0.004	0.087		3.824
E19	Conc [ng/g]	0.055	0.003			0.027			0.016		0.103
E20	Conc [ng/g]	0.015	0.007	0.023			0.007	0.012	0.061		3.535
E21	Conc [ng/g]	0.007	0.005		0.060		0.013	0.005	0.035		1.355
E22	Conc [ng/g]	0.105	0.005	0.063			0.007	0.002			0.029

E23	Conc [ng/g]	0.051	0.012	0.073	0.011			0.007	0.928		76.295
E24	Conc [ng/g]	0.013	0.011				0.003		0.007		1.376
E25	Conc [ng/g]	0.002	0.001	0.021	0.018	0.014	0.009		0.003		0.060
S1	Conc [ng/g]	0.050	0.021		0.037	0.022		0.002	0.063	0.013	1.375
S2	Conc [ng/g]	0.023	0.059	0.025			0.014	0.006	0.022	0.023	1.492

Tabla F.2. Concentración de los compuestos organoclorados medidos en Valle del Yaqui, Sonora. Parte II/IV.

	Dieldrín	2,4-DDD	Endrín	2,4-DDT	4,4-DDD	Endosulfán II	Endrin Aldehído	4,4-DDT	Endosulfán sulfato	Metoxiclor
E1	0.025	0.082	0.432	0.192		0.083		3.932		0.073
E2	0.100	0.185	3.987	0.187				10.476		0.017
E3	0.071	0.033	0.314	0.137	0.168	0.063	0.066	1.783		0.043
E4	0.176	0.226	0.117	0.207	0.074			0.799		0.023
E4r	0.278	0.705	0.380	0.632	0.203	0.165		2.049		
E5	2.772	0.615	7.121	0.552				23.548		0.081
E6	0.408	0.175	0.548			0.053		0.959	0.097	0.049
E7	0.130	0.563	2.240	0.592	0.470	0.378		6.210		0.075
E8	0.027		0.072	0.031	0.232			0.420		
E9	0.086	0.141	0.142	0.164		0.006		0.340		0.044
E10	1.254	0.516	0.781	0.663		1.956		1.481	0.064	1.406
E11	203.967	31.071	191.369	33.520		10.299		183.507		4.336
E12	0.058	0.054	0.065	0.105	0.019	0.015		0.261		0.044
E12	0.053	0.025	0.105	0.091	0.027	0.024	0.003	0.376		0.018
E13	0.251	0.335	0.500	0.408	0.052	0.121	0.004	1.421	0.036	0.114
E14		0.651	3.523	0.486	0.283	0.064	0.200	15.866		0.026
E15	0.053	0.010	0.355	0.042				3.397		0.019
E16	0.058	0.066	0.112	0.098	0.020			0.593		0.014
E17	0.740	0.223	2.325	0.196	0.006	0.035		3.693	0.041	0.101
E18	0.054	0.205	0.550	0.290	0.051	0.172	0.144	3.096		0.185
E19	0.006		0.009	0.009			0.232	0.016		
E20	0.146	0.081	0.051	0.098	0.031			0.142		0.022
E21	0.017	0.025	0.034			0.004		0.077	0.009	0.002
E22	0.007		0.058			0.010	0.162	0.013	0.068	0.007

E23	0.799	0.134	3.358	0.200		0.033		7.209		0.025
E24	0.016	0.292	0.016	0.031				0.111		
E25	0.011	0.006	0.005		0.003	0.001		0.016		0.009
S1	0.010	0.030	0.018	0.135	0.327			0.233	0.121	0.015
S2	0.012	0.051	0.035	0.037	0.014		0.071	0.099		0.019

Tabla F.3. Concentración de los compuestos organoclorados medidos en Valle del Yaqui, Sonora. Parte III/IV.

	Compuesto	a-HCH	g-HCH	b-HCH	Heptacloro	d-HCH	Aldrín	Heptacloro epoxi	2,4-DDE	Endosulfán I	4,4-DDE
S3	Conc [ng/g]	0.010	0.006	0.020		0.027	0.018		0.013	0.019	0.041
S4	Conc [ng/g]	0.013	0.003	0.013	0.022		0.011	0.009	0.048	0.004	0.087
S6	Conc [ng/g]	0.071	0.025		0.033		0.027	0.058	0.062	0.017	10.391
S7	Conc [ng/g]	0.016	0.003	0.006	0.017	0.004	0.001	0.004	0.013	0.005	0.526
S9	Conc [ng/g]	0.015	0.001				0.006	0.032	0.003		0.015
S10	Conc [ng/g]	0.030	0.002	0.012		0.006	0.010	0.004	0.038	0.005	0.073
S11	Conc [ng/g]	0.020	0.003	0.004	0.039		0.002	0.003	0.008		0.034
S12	Conc [ng/g]	0.018	0.002		0.036		0.004	0.002	0.005	0.004	0.021
S13	Conc [ng/g]	0.035	0.004	0.007	0.018	0.004	0.006	0.004	0.003	0.002	0.024
S15	Conc [ng/g]	0.024	0.004	0.009	0.028	0.005	0.008	0.003	0.005	0.006	0.028
Tobari	Conc [ng/g]	0.023	0.001				0.002	0.011	0.035		3.659
C bajo	Conc [ng/g]	0.034	0.002	0.006		0.008	0.008	0.013	0.012	0.010	1.401
SPIKE	Conc [ng/g]	0.609	0.623	0.592	0.632	0.607	0.824	0.518	0.512	0.938	0.534
STD1	Conc [ng/g]	0.137			1.724		2.314	0.273	0.449	2.153	3.291
STD2	Conc [ng/g]	0.138					2.200	0.250	0.402	2.294	2.936
STD3	Conc [ng/g]	0.082					2.155	0.343	0.326	3.097	3.072
STD4	Conc [ng/g]	0.065	0.496		1.498		1.977	0.264	0.285	2.331	2.602
STD5	Conc [ng/g]	0.244			1.525		1.878	0.344	0.356	1.864	2.428
STD6	Conc [ng/g]	0.335			1.758		2.545	0.371	0.557	2.292	3.081
BLN	Conc [ng/g]										0.004
BLN2	Conc [ng/g]	0.418	0.526	0.553	0.406	0.379	0.622	0.497	0.499	0.416	0.506
BLN3	Conc [ng/g]										0.004

BLN4	Conc [ng/g]	0.172	0.298	0.465	0.332	0.155	0.304	0.379	0.411	0.450	0.429
BLN5	Conc [ng/g]										0.019
BLN6	Conc [ng/g]	0.173	0.333	0.451	0.291	0.330	0.335	0.420	0.416	0.517	0.431
BLN7	Conc [ng/g]										
BLN8	Conc [ng/g]	0.011	0.001						0.001		
BLN9	Conc [ng/g]	0.371	0.394	0.388	0.405	0.200	0.417	0.315	0.317	0.439	0.323
BLN10	Conc [ng/g]	0.017	0.002			0.001	0.002	0.008	0.004		0.001

Tabla F.4. Concentración de los compuestos organoclorados medidos en Valle del Yaqui, Sonora. Parte IV/IV.

	Dieldrín	2,4-DDD	Endrín	2,4-DDT	4,4-DDD	Endosulfán II	Endrin Aldehído	4,4-DDT	Endosulfán sulfato	Metoxiclor
S3				0.031	0.070		0.008			0.038
S4	0.003	0.006	0.006	0.004	0.010		0.010	0.003	0.017	0.016
S6	0.121	0.102	0.261	0.187		0.076		1.243	0.031	0.070
S7	0.002	0.006	0.006	0.024			0.026	0.121	0.012	0.010
S9		0.003	0.002		0.014		0.013		0.013	0.006
S10	0.003	0.006	0.006	0.008	0.014			0.007	0.008	0.019
S11	0.003	0.004	0.005	0.020	0.019			0.005		0.016
S12	0.002	0.006	0.005	0.016	0.031			0.002	0.017	0.008
S13	0.002	0.002	0.004	0.016	0.022	0.006		0.003	0.007	0.015
S15	0.003	0.004	0.005	0.007	0.014			0.000	0.013	0.017
Tobari	0.017	0.018	0.015	0.054	0.004			0.034	0.015	0.015
C bajo	0.012	0.021	0.016	0.040	0.043			0.131	0.010	0.025
SPIKE	0.540	0.553	0.559	0.562	1.593	0.425	0.415	1.223	0.667	0.751
STD1	1.166		0.479	3.060	5.838			6.796		0.637
STD2	1.066	7.277	0.347	2.526	5.405			6.107		0.425
STD3	1.128	7.287	0.454	2.590	5.557			8.139		0.237
STD4	0.974	6.290	0.289	2.267	4.854			5.453		0.247
STD5	0.876	5.865	0.577	2.247	4.459			5.112	4.820	0.606
STD6	1.084	7.388	0.362	2.620	5.947	0.099		6.899		0.813
BLN										0.010
BLN2	0.546	0.495	0.499	0.488	1.038	0.561	0.104	1.123		0.397
BLN3										0.013

BLN4	0.560	0.477	0.478	0.494	0.922	0.473	0.117	1.070	1.223	0.397
BLN5										
BLN6	0.544	0.513	0.523	0.535	1.004	0.509	0.137	1.154	1.280	0.365
BLN7										0.002
BLN8		0.003	0.003		0.005				0.014	0.006
BLN9	0.358	0.365	0.357	0.384	0.690	0.366	0.057	0.807	0.897	0.259
BLN10	0.001	0.006	0.004	0.004	0.015	0.001		0.001	0.020	0.007

Tabla G. Porcentajes de recuperación de las muestras analizadas en Valle del Yaqui, Sonora.

	% Recuperación, fracción 1		% Recuperación, fracción 2		Porcentaje de recuperación total	
	Compuestos de peso molecular bajo (ligeros)		Compuestos de peso molecular alto (pesados)		Ligeros	Pesados
Santa Teresa - Tinajera	16.52	17.66	42.47	76.95	59.00	94.60
Bacum	15.56	12.37	47.97	71.56	63.53	83.93
San Jose de Bacum	19.24	22.40	36.09	74.58	55.33	96.98
Ejido 1o de mayo	17.21	15.57	49.76	71.74	66.97	87.31
Ejido 1o de mayo	17.80	24.05	0.00	71.58	17.80	95.63
Bachomobampo	21.62	31.61	23.83	53.34	45.45	84.95
Yaqui	24.81	27.12	33.29	54.34	58.10	81.45
Ejido Morelos	10.98	13.09	40.14	74.15	51.12	87.24
Fundicion	13.85	15.53	28.78	56.89	42.63	72.42
Col Jecopaco	10.39	29.75	29.53	61.33	39.92	91.08
Agua Blanca	11.21	20.43	16.88	66.50	28.09	86.93
Villa Juarez	4.81	3.63	64.66	71.03	69.47	74.65
El Paredoncito	21.23	21.26	44.36	67.71	65.59	88.97
El Paredoncito	22.75	30.65	17.35	60.76	40.11	91.40

Quechehueca	13.17	13.16	47.18	81.44	60.35	94.60
Buena Vista	18.80	23.54	39.24	66.68	58.04	90.22
Cocorit	10.15	13.31	34.50	78.39	44.65	91.70
Vicam	14.11	11.97	45.70	81.85	59.80	93.82
Potam	4.27	3.62	43.93	80.23	48.21	83.85
Liliba	4.02	8.14	40.29	73.35	44.31	81.49
Col Militar	4.11	12.27	19.72	65.05	23.83	77.32
El Tobarito	2.36	1.80	48.06	78.62	50.43	80.42
Agustin Mergar (Tesopaco)	1.53	24.14	11.98	59.62	13.51	83.76
Villa Guadalupe	1.48	16.07	11.56	58.52	13.04	74.59
Torim	20.28	24.06	37.94	66.05	58.21	90.11
Torim (cauce del arroyo)	14.64	21.85	20.70	64.66	35.34	86.51
Guasima	3.78	21.07	10.71	56.47	14.50	77.54
Buena Vista	19.07	14.28	53.21	70.98	72.28	85.26
Cocorit	9.59	17.71	32.12	52.35	41.72	70.06
Bahia de Lobos I	7.92	7.50	40.66	81.52	48.58	89.02
Bahia de Lobos II	25.79	27.34	36.86	65.04	62.65	92.39
Estero el Tobarito	20.13	16.24	51.85	72.25	71.98	88.49
Arroyo cocoraque	22.01	21.32	50.29	68.46	72.31	89.79
Canal Alto	15.96	18.77	33.35	62.16	49.31	80.93
Canal Bajo	17.75	15.38	51.86	69.20	69.61	84.58
Baira	8.99	13.93	28.27	62.04	37.26	75.96
Algodones I	35.83	35.24	28.26	47.79	64.09	83.03
Algodones II	14.78	13.39	42.38	62.50	57.17	75.88
Algodones III	16.36	16.36	37.43	55.34	53.79	71.70
Rio Muerto	23.54	21.78	42.81	57.55	66.35	79.33

Guasima	39.08	42.81	31.61	40.55	70.69	83.36
Blanco 1	0.41	23.66	16.12	56.42	16.53	80.08
Blanco 2	5.30	11.94	30.83	74.11	36.13	86.05
Blanco 3	12.93	14.78	37.38	73.13	50.30	87.91
Blanco 4	-	-	2.75	62.38	-	-
Blanco 5	0.79	14.19	1.30	72.08	2.09	86.26
Blanco 6	0.00	7.55	4.21	78.01	4.21	85.56
Blanco 7	0.00	42.19	0.00	49.66	0.00	91.85
Blanco 8	4.23	8.67	23.86	65.73	28.09	74.40
Blanco 9	-	-	36.29	48.73	-	-
Blanco 10	10.19	8.16	53.50	78.51	63.69	86.67
Estándar fortificado 1	13.86	23.85	42.13	86.21	55.99	110.06
Estándar fortificado 2	18.31	28.32	36.99	80.50	55.29	108.82
Estándar fortificado 3	29.56	45.16	35.17	75.04	64.73	120.20
Estándar fortificado 4	19.35	38.89	23.68	71.80	43.03	110.69
Estándar fortificado 5	6.61	8.55	41.22	89.69	47.83	98.25
Estándar fortificado 6	36.24	50.98	35.25	60.17	71.49	111.15



Un día en el campo, calor.