



Doctorado en Ciencias Ambientales

TESIS

“Niveles de plaguicidas organoclorados en leche materna de habitantes de diferentes regiones del Estado de Guerrero”

PRESENTA:

M. en C. Luis Alberto Chávez Almazán

Para obtener el grado de:

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Director de Tesis

Dr. Stefan M. Waliszewski Kubiak

Co-Director

Dr. José Luis Rosas Acevedo

Asesores

Dr. Agustín Santiago Moreno

Dr. Saúl López Silva

Dra. María Laura Sampedro Rosas

Acapulco, Gro; Noviembre de 2015

**“Niveles de plaguicidas organoclorados en leche materna de habitantes de
diferentes regiones del Estado de Guerrero”**

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE

	Página
Tabla de cuadros	i
Tabla de figuras	ii
Resumen	1
Abstract	2
I. INTRODUCCION	3
II. ANTECEDENTES	4
III. JUSTIFICACIÓN	23
IV. OBJETIVOS	25
V. METODOLOGÍA	25
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
VII. CONCLUSIONES	68
VIII. BIBLIOGRAFIA	70
IX. ANEXOS	82
X. GLOSARIO	95

Tabla de cuadros

	Página
Cuadro 1. Clasificación de los plaguicidas en función de su persistencia	9
Cuadro 2. Procedencia y edades de las donadoras	27
Cuadro 3. Características de la población de estudio	35
Cuadro 4. Resultados de la evaluación del desempeño analítico del método	37
Cuadro 5. Niveles de plaguicidas organoclorados (mg/kg en base lipídica) y variabilidad entre las donantes	39
Cuadro 6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov de las concentraciones de plaguicidas	40
Cuadro 7. Mediana de las concentraciones de plaguicidas (mg/kg en base lipídica) entre los grupos de edad (años) y análisis de correlación	47
Cuadro 8. Concentración de plaguicidas organoclorados (mg/kg en base lipídica); medianas para cada región económica de Guerrero	49
Cuadro 9. Riesgo calculado (OR) para altas concentraciones de plaguicidas según el nivel de consumo de distintos alimentos	67

Tabla de figuras

	Página
Figura 1. Estructura de algunos plaguicidas organoclorados	5
Figura 2. Metabolismo del DDT	7
Figura 3. Situación orográfica de Guerrero	10
Figura 4. Ríos en el territorio guerrerense	11
Figura 5. Tipos de climas de Guerrero	13
Figura 6. Proceso de bioacumulación de contaminantes	14
Figura 7. Distribución de los plaguicidas en el medio ambiente	16
Figura 8. Esquema operativo de la cromatografía de gases	22
Figura 9. Esquema de un detector de captura de electrones	23
Figura 10. Localización del estado de Guerrero y su división territorial	24
Figura 11. Municipios que fueron incluidos en el estudio	34
Figura 12. Tiempos de retención de los plaguicidas organoclorados	36
Figura 13. Distribución de las concentraciones de los plaguicidas organoclorados de la población estudiada	41
Figura 14. Comparación de los niveles de HCB (mg/kg en base lipídica) en algunos países y los resultados obtenidos en Guerrero	42
Figura 15. Comparación de los niveles de β -HCH (mg/kg en base lipídica) en algunos países y estados mexicanos con los resultados obtenidos en Guerrero	43
Figura 16. Comparación de los niveles de <i>pp'</i> DDT (mg/kg en base lipídica) en algunos países y estados mexicanos con los resultados obtenidos en Guerrero	44
Figura 17. Comparación de los niveles de <i>pp'</i> DDE (mg/kg en base lipídica) en algunos países y estados mexicanos con los resultados obtenidos en Guerrero	45
Figura 18. Tendencia de los niveles de HCB (A), β -HCH (B), <i>pp'</i> DDE (C), <i>op'</i> DDT (D), <i>pp'</i> DDT (E) y Σ -DDT (F) con respecto a la edad	46
Figura 19. Proporción relativa (%) de los plaguicidas entre los grupos de edad	49
Figura 20. Distribución espacial de los isómeros del DDT en leche materna en Guerrero	50

Figura 21. Distribución espacial del HCB y β -HCH en leche materna en Guerrero	51
Figura 22. Proporción relativa (%) de los plaguicidas entre las regiones	52
Figura 23. Concentraciones de plaguicidas en distintas localidades	54
Figura 24. Proporción relativa del impacto de los plaguicidas en el área urbana y rural del Estado de Guerrero	55
Figura 25. Concentraciones de plaguicidas de acuerdo al número de partos	56
Figura 26. Tendencia en las concentraciones de <i>pp'</i> DDE y Σ -DDT y el número de partos	56
Figura 27. Niveles de <i>pp'</i> DDE (A) y Σ -DDT (B) vs días de lactancia	58
Figura 28. Concentraciones de plaguicidas respecto a las semanas de lactancia	59
Figura 29. Tendencia en el tiempo de la concentración de <i>pp'</i> DDE y Σ -DDT	60
Figura 30. Relación entre consumo de pescado y plaguicidas	61
Figura 31. Relación entre la clase de pescado consumido y plaguicidas	62
Figura 32. Relación entre consumo de productos cárnicos y plaguicidas	64
Figura 33. Relación entre consumo de huevo y plaguicidas	64
Figura 34. Relación entre consumo de productos lácteos y plaguicidas	65
Figura 35. Niveles de plaguicidas entre mujeres que fueron amamantadas con respecto a las que no lo hicieron	67

Resumen

Este es un estudio que trata sobre la presencia de plaguicidas organoclorados en leche materna en el Estado de Guerrero, México. Se analizaron por medio de cromatografía de gases muestras de 171 mujeres procedentes de siete regiones que conforman esta entidad federativa. Se encontraron residuos de isómeros del hexaclorobenceno, hexaclorociclohexano y derivados del DDT en la mayoría de las participantes, con diferencias importantes entre ellas según la región y el tipo de localidad donde habitan. Los niveles encontrados fueron menores que los obtenidos en otras poblaciones mexicanas con las que se comparte una historia similar de exposición a dichos contaminantes. Se observó que factores como la edad, el número de partos, la etapa de lactancia y los hábitos de alimentación influyen sobre las concentraciones de estos compuestos. La información generada en este trabajo tiene una utilidad potencial para el diseño de políticas públicas e investigaciones científicas sobre este tema de salud ambiental en Guerrero.

Abstract

This is a study that deals about the presence of organochlorine pesticides in breast milk in Guerrero, México. Samples of 171 women from seven regions of this State were analyzed by gas chromatography technique. Residues of hexachlorobenzene, hexachlorocyclohexane and DDT isomers were found in most participants, with significant differences between them depending of the regions and locality where they live. The found levels were lower than those obtained in other Mexican populations with a similar history of exposure to these pollutants. It was noted that the factors such as age, parity, stage of lactation and eating habits affect the concentrations of these compounds. The information generated in this work is useful for designing public policies and scientific research on this subject of environmental health in Guerrero.

I. INTRODUCCIÓN.

La utilización de plaguicidas organoclorados por el hombre ha permitido un incremento en la productividad agrícola por la protección que brindaron a los cultivos y semillas, también han sido de gran beneficio en el control de enfermedades transmitidas por artrópodos, como es el caso del paludismo, enfermedad de Chagas e intoxicación por picadura de alacrán, por mencionar algunos.¹ Estos compuestos poseen una gran estabilidad química, son de naturaleza lipofílica y tienden a acumularse en los distintos ambientes así como en los seres vivos. Se les conoce también como disruptores endocrinos por su actividad estrogénica y antiandrogénica en modelos animales y el hombre, por lo que existe un creciente interés por investigar su papel en el desarrollo de enfermedades como resultado de la exposición crónica.²⁻³

Los niveles de plaguicidas en muestras biológicas reflejan la cantidad de estos contaminantes presentes en el ambiente que es absorbida por los seres humanos,⁴ y debido a que en el estado de Guerrero no hay antecedentes de investigaciones que revelen la magnitud y distribución geográfica de las concentraciones de estos compuestos, son necesarios estudios que evalúen el grado de exposición de la población a través del análisis de muestras para generar conocimiento e información para brindar un panorama de la problemática existente que permita y/o coadyuve a la toma de decisiones de las instituciones públicas ambientales y sanitarias tendientes a disminuir el contacto con estos contaminantes para prevenir sus efectos adversos a largo plazo en las personas expuestas.

Una de las aportaciones de este trabajo es el hecho de que la información generada puede ser de utilidad para el desarrollo de investigaciones futuras, proporcionando una base sobre el estado de la contaminación por plaguicidas organoclorados para poder establecer posibles relaciones con el perfil epidemiológico de Guerrero.

El objetivo del trabajo es conocer los niveles de plaguicidas organoclorados presentes en individuos del sexo femenino de diferentes regiones y municipios del estado de Guerrero, México, comparar los datos obtenidos con respecto a otros registros en poblaciones mexicanas y otros países. Además, determinar la influencia de factores como el sitio de residencia, hábitos alimenticios y características de la población de estudio sobre las concentraciones

encontradas, así como plantear las perspectivas a mediano y/o largo plazo en torno al grado de contaminación existente.

II. ANTECEDENTES

Los plaguicidas fueron desarrollados para brindar beneficios económicos y productivos al hombre; su uso se masificó a mediados del siglo pasado y están estrechamente vinculados con los cambios introducidos en los modelos de productividad agrícola y para el control de vectores de enfermedades que han afectado muchos países en el mundo, como es el caso del paludismo, sólo por mencionar alguna de éstas.⁵⁻⁶

Los plaguicidas se clasifican tomando en consideración los siguientes criterios:

a) Por los organismos que controlan, se denominan: insecticidas, acaricidas, fungicidas, bactericidas, herbicidas, molusquicidas y rodenticidas.

b) Por su toxicidad, la cual puede ser: extremada (I), alta (II), moderada (III) y ligera (IV).

c) Por el grupo químico al que pertenecen, como son los de los tipos organofosforados, carbamatos, piretroides y organoclorados

d) Por su persistencia en el ambiente, pueden ser ligeramente persistentes (menos de cuatro semanas), poco persistentes (de cuatro a veintiséis semanas), moderadamente persistentes (de veintisiete a cincuenta y dos semanas), altamente persistentes (más de un año y menos de veinte) y permanentes (más de veinte años).^{5,7}

2.1 Plaguicidas organoclorados

Estos compuestos son el objeto de estudio en este trabajo. Los aril, carbocíclicos o heterocíclicos de peso molecular entre 291 y 545 actúan como insecticidas por medio de la ingestión y por contacto directo, tienen una naturaleza química diversa, pero comparten similitud en el hecho de que están constituidos por cloro en su estructura (Figura 1). Una considerable parte de estos contaminantes orgánicos persistentes (COP) se encuentran enlistados en el Convenio de Estocolmo, el cual establece el compromiso de los países

miembros de prohibir la síntesis, distribución, comercialización y aplicación debido a su toxicidad, permanencia en el ambiente y por la creciente preocupación por sus efectos no deseados en el humano.⁸

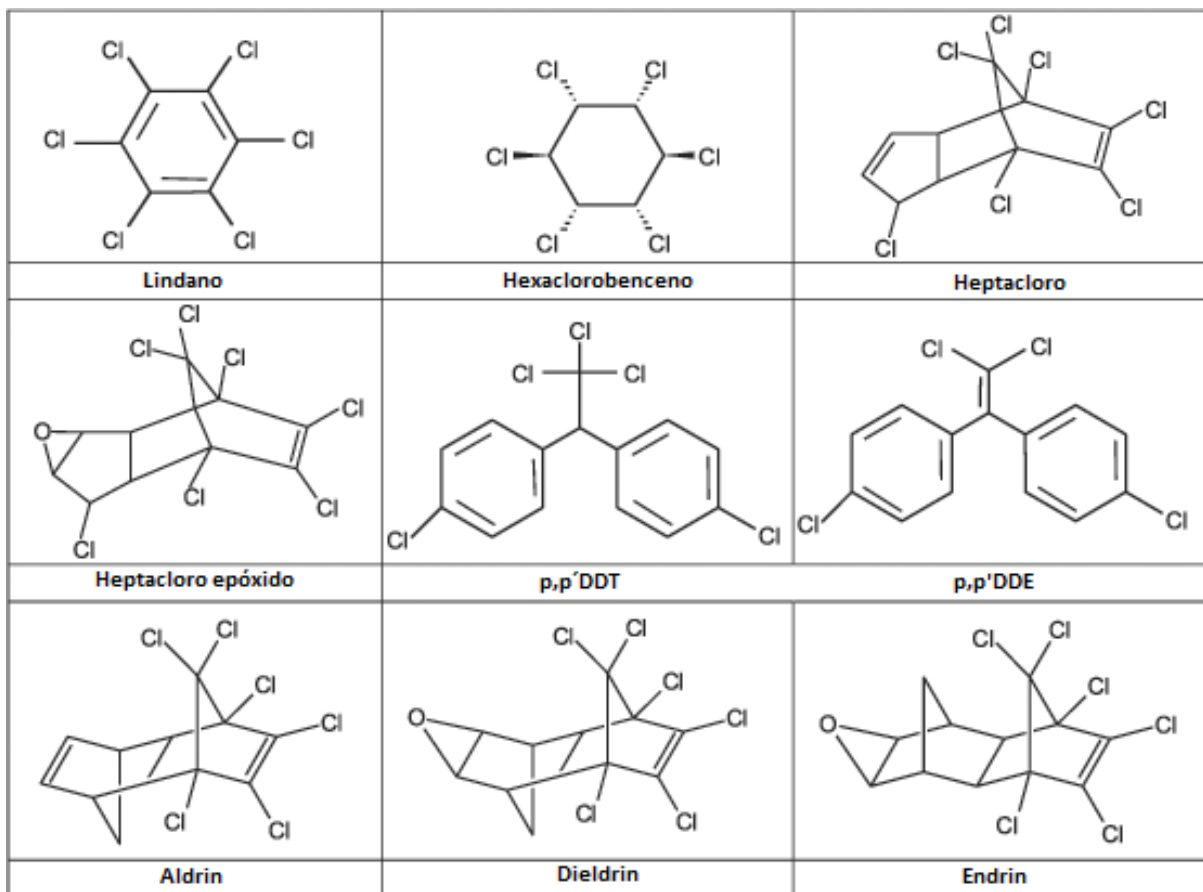


Figura 1. Estructura de algunos plaguicidas organoclorados (Fuente: Elaboración propia con datos de Ritter y colaboradores)⁸

Estos plaguicidas se encuentran agrupados de la siguiente manera:⁸

1) Compuestos aromáticos clorados:

- a. DDT: 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano ó Dicloro Difenil Tricloroetano
- b. DDE: 1,1-dicloro-2,2-bis(p-diclorobifenil)etileno ó Dicloro Difenil Dicloroetileno
- c. Metoxicloro: 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-metoxifenil)etano

2) Cicloalcanos clorados.

- a. Hexaclorociclohexano (HCH): 1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano y sus isómeros, incluyendo el γ - lindano.

3) Ciclodienos clorados.

- a. Aldrin: 1,2,3,4,10,10-hexacloro-1,2,4 α ,5,8,8 α -hexahidro-1,4-endo,exo-5,8-dimetanonaftalina
- b. Dieldrin: 1,2,3,4,10,10-hexacloro-6,7-epoxi-1,4,4 α ,5,6,7,8,8 α -octahidro-1,4-endo,exo-5,8-dimetanonaftalina
- c. Endrin: 1,2,3,4,10,10-hexacloro-6,7-epoxi-1,4,4 α ,5,6,7,8,8 α -octahidro-exo-1,4-exo-5,8-dimetanonaftaleno
- d. Heptacloro: 1,4,5,6,7,8,8-heptacloro-3 α ,4,7,7 α -tetrahidro-4,7-metanoindeno
- e. Clordano: 1,2,3,4,5,6,7,8,8-octacloro-2,3,3 α ,4,7,7 α -hexahidro-4,7-metanoindeno
- f. Endosulfan: 6,7,8,9,10,10-hexacloro-1,5,5 α ,6,9,9 α -hexahidro-6,9-metano-2,4,3-benzodioxatiepina-3-oxido
- g. Mirex: dodecacloropentaciclo[5.2.1.0₂,6.0₃,9.0₅,8]decano)

4) Terpenos clorados. Toxafeno y compuestos relacionados, clordecona.

2.1.1 Características químicas de los plaguicidas organoclorados

Los enlaces carbono–cloro son muy estables frente a la hidrólisis y conforme aumenta el número de éstos, más elevada es la resistencia a la degradación por acción fotolítica o biológica. Se caracterizan además por ser estructuras en anillo con una cadena sencilla o ramificada. Por su baja solubilidad en el agua y alta en los lípidos pueden pasar a través de las membranas biológicas y acumularse en los depósitos de grasa de los organismos en un largo plazo.⁶

El DDT y su metabolito DDE, se encuentran presentes en el tejido adiposo de forma constante; el DDE es el más persistente de todos los metabolitos del DDT. Los distintos isómeros del HCH se acumulan de forma muy distinta, en mayor grado el beta y de menor manera el gamma. Algunos se transforman en derivados tóxicos liposolubles como es el caso

del DDT cuyos metabolitos DDE, DDD y, en menor proporción, el DDA, son lipofílicos y acumulables (Figura 2). Los derivados del lindano se transforman en compuestos epóxidos, más tóxicos, antes de hidroxilarse, igual que los derivados de ciclohexano. Así, el aldrín se epoxida a dieldrín en una reacción mono-oxigenasa dependiente del citocromo P-450. También el heptacloro, isodrín y fotoaldrín son sustrato de la actividad microsomal epoxidasa. El lindano y otros isómeros del hexaclorociclohexano producen 2,4,6-triclorofenol como producto mayor de su oxidación. La mayor parte de ellos son potentes inductores enzimáticos. Se eliminan por todas las vías y se encuentran metabolitos en bilis, heces, orina y leche.⁸

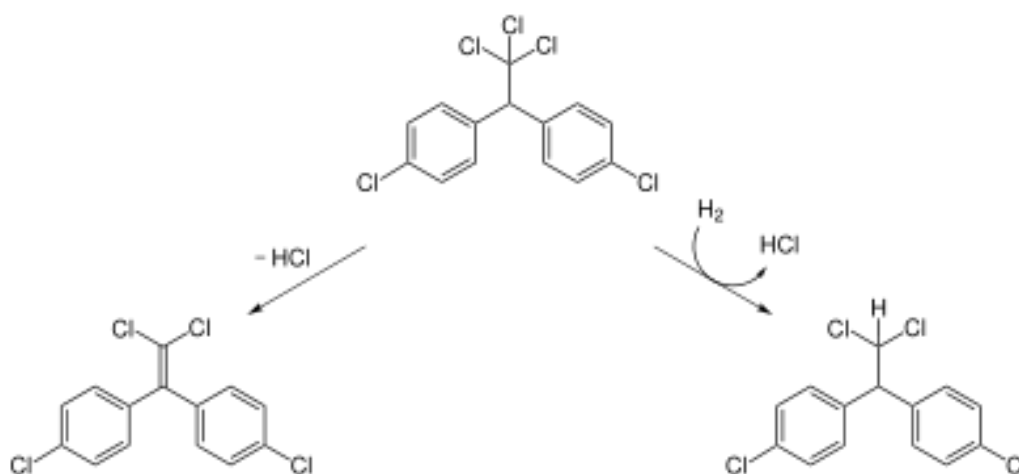


Figura 2. Metabolismo del DDT.- El *pp'*DDT se transforma en *pp'*DDE (izq.) y *pp'*DDD (der.)⁹

2.1.2 Mecanismo de acción de los plaguicidas organoclorados

Estos plaguicidas actúan sobre el sistema nervioso, por medio de la interferencia o inhibición del flujo de cationes a través de las membranas de las células nerviosas, aumentando la irritabilidad de las neuronas. El DDT y sus derivados poseen acción neurotóxica modificando la función de los canales de Na de la membrana, alterando la transmisión del impulso nervioso. De este modo se prolonga selectivamente la conductancia del Na en tránsito, ocasionada por la activación de sus canales que son dependientes del voltaje, es decir, hay un cambio en la permeabilidad de la membrana a los iones de Na y K, lo que trae por consecuencia la disfunción con descargas repetitivas en la transmisión de los mensajes nerviosos.¹⁰ Si existe una gran cantidad de células nerviosas dañadas se produce una grave

interrupción de las funciones del sistema nervioso, llevando al organismo expuesto, es decir a los insectos que se están controlando, a la muerte.¹¹ Estos efectos también se observan en los organismos no blanco, como las especies acuáticas de invertebrados, peces, mamíferos marinos y las aves.¹²

En el caso del hexaclorociclohexano, hexaclorobenceno y toxafeno sus efectos son impedir la transmisión del impulso nervioso a nivel neuromuscular; ejercen su acción bloqueando el flujo clorinado en el complejo acarreador de iones del receptor GABA (ácido gamma-aminobutírico) dependiente.¹⁰

2.1.3 Persistencia de los plaguicidas organoclorados en el ambiente

Estos compuestos son persistentes a la degradación, tanto biológica como abiótica, altamente tóxicos, lipofílicos y además pueden ser volátiles. Estas propiedades permiten que se encuentren ampliamente distribuidos en la naturaleza y tengan mayor probabilidad de interacción con los diversos elementos que conforman los ecosistemas.¹³⁻¹⁵ En una región con alta actividad agrícola en el estado de Mato Grosso, Brasil, se detectaron cantidades medias de *pp'*DDE de 0.0007 mg/kg-peso seco (0.0005-0.0011 mg/kg) en sedimentos de ríos y 0.0009 mg/kg (0.0005-0.0017 mg/kg) de lagunas, y el *pp'*DDT presentó niveles de 0.0008 mg/kg-peso seco (0.0004-0.0015 mg/kg) en sedimentos de ríos y 0.0022 mg/kg (0.0008-0.0045 mg/kg) de lagunas.¹⁶ Es de resaltar que el DDT fue prohibido en el mencionado estado en 1985, por lo que se demuestra una persistencia de casi 15 años en los sistemas acuáticos de esta zona de Brasil. Wan y colaboradores¹⁷ realizaron un análisis de suelos de cultivo, sedimentos y agua de riego entre Junio de 2002 y Julio de 2003 en áreas en las que fueron aplicados plaguicidas organoclorados entre la década de 1950 hasta inicios de 1970 (Lower Fraser Valley, Columbia Británica, Canadá); no obstante que transcurrieron más de 30 años de haber sido aplicados por última vez, se encontraron concentraciones de Σ -HCH (suma de los isómeros α -, β - y γ -hexaclorociclohexano) y Σ -DDT (suma de *pp'*DDD, *pp'*DDE y *pp'*DDT), que fueron mayores en los suelos (Σ -HCH= 0.12 y Σ -DDT= 1.57 mg/kg-peso seco), seguidos por los sedimentos (Σ -HCH= 0.10 y Σ -DDT= 0.82 mg/kg-peso seco) y el agua (Σ -HCH= No detectado y Σ -DDT= 0.2 μ g/L). En el Lago Yangchaihu, situado en el sureste de Jiangnan Plain, en China Central, la muestras de sedimentos recolectadas a una profundidad máxima de 10 cm tuvieron concentraciones medias de HCB de 0.0004 \pm 0.0003 mg/kg de peso seco, Σ -

HCH (suma de los isómeros α , β , γ y δ) de 0.002 ± 0.001 mg/kg y Σ -DDT (suma de *pp'*DDE, *pp'*DDD, *pp'*DDT y *op'*DDT) de 0.011 ± 0.005 mg/kg; en el agua de superficie la concentración promedio de HCB fue de 0.0004 ± 0.0006 $\mu\text{g/L}$, mientras que de Σ -HCH fue 0.0088 ± 0.0099 $\mu\text{g/L}$ y de Σ -DDT fue de 0.0020 ± 0.0033 $\mu\text{g/L}$. En la región de China antes mencionada se demuestra la presencia de estos compuestos a pesar de que su uso y producción fueron prohibidos desde la década de 1980, por lo que es evidente su persistencia a más de 30 años de distancia en las muestras evaluadas.¹⁸ De acuerdo con lo anterior, estos plaguicidas son clasificados como altamente persistentes en el ambiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de los plaguicidas en función de su persistencia⁷

Tipo de persistencia	Periodo de duración en el ambiente
Ligeramente persistentes	Menos de cuatro semanas
Poco persistentes	De cuatro a veintiséis semanas
Moderadamente persistentes	De veintisiete a cincuenta y dos semanas
Altamente persistentes	Más de un año y menos de veinte
Permanentes	Más de veinte años

2.2 Factores que provocan el movimiento de los plaguicidas

La distribución de los plaguicidas a través de los diferentes medios del ambiente depende estrechamente de factores climáticos como lo son la temperatura, humedad, intensidad de la radiación solar, el régimen de lluvias, velocidad y trayectoria de los vientos. También depende de la naturaleza y persistencia del plaguicida, las características hidrológicas, tipo de suelo y vegetación así como del método de aplicación de los compuestos en el campo, en donde el agua se infiltra a través del suelo llevando consigo los contaminantes para llegar a las aguas subterráneas donde pueden ser transportados hacia lugares lejanos (Figura 4).¹⁹⁻²⁰

La lluvia elimina el plaguicida del lugar donde fue aplicado a través de las escorrentías producidas y lo transportan hacia otros sitios; la escorrentía superficial es dependiente de la

inclinación del suelo, la intensidad de la precipitación pluvial, esto es, que a mayor inclinación la escorrentía aumenta.²¹⁻²³

En Guerrero, se presentan las condiciones orográficas necesarias que facilitan el transporte de contaminantes a través del agua desde lugares con alguna elevación como lo son laderas y cerros hacia las zonas más planas debido a que es atravesado, en primer lugar, por la Sierra Madre del Sur, que abarca una extensión lineal de aproximadamente 500 kilómetros y se distribuye a lo ancho de casi todo el territorio guerrerense, así como por importantes elevaciones situadas en la región norte del estado que corresponden al denominado Eje Neovolcánico, con lo cual se define un panorama predominantemente montañoso con escasos valles en esta entidad (Figura 3).²⁴

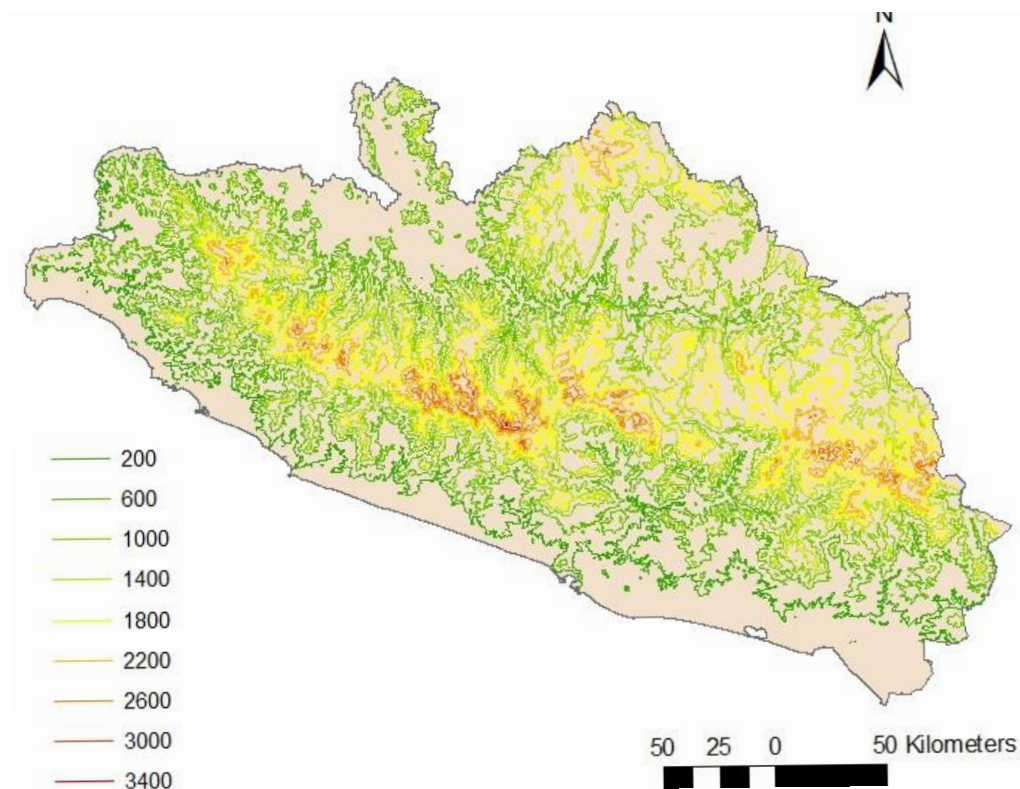


Figura 3. Situación orográfica de Guerrero (Unidades: metros sobre el nivel del mar) (Fuente: Elaboración propia)

Estos sistemas montañosos son fundamentales para la existencia de un gran número de ríos que bañan al estado de Guerrero (Figura 4) y que han llevado a su división en tres cuencas hidrológicas, la del Balsas, de la Costa Grande y la Costa Chica;²⁵ la primera es la de mayor

influencia en el territorio pues abarca un área de 117,406 km² en la que se sitúan las regiones de Tierra caliente, Norte, Montaña y Centro; mientras que las demás poseen extensiones de 12,132 km² para la Costa Grande y de 39,936 km² para la cuenca de la Costa Chica.

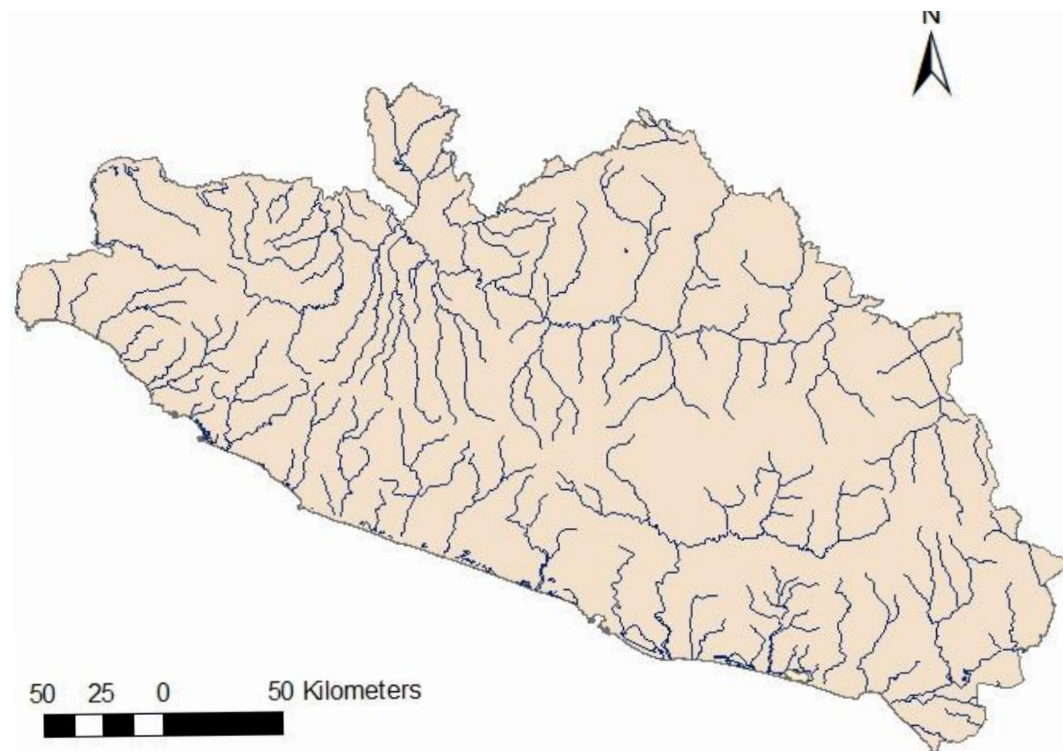


Figura 4. Ríos en el territorio guerrerense (Fuente: Elaboración propia).

Las condiciones orográficas e hidrográficas mencionadas permiten una distribución de los plaguicidas de manera efectiva a través de los ríos hacia prácticamente cualquier sitio, lo que resulta en su contaminación y posterior afectación de la flora, fauna y, como consecuencia, a los habitantes de las diferentes regiones de Guerrero. Lo anterior significa una oportunidad importante para la investigación sobre estos compuestos orgánicos persistentes en este estado.

Las elevadas temperaturas provocan una mayor tasa de volatilización; de acuerdo con las observaciones de Mamontova y colaboradores,²⁶ quienes determinaron la dinámica de los plaguicidas por medio de su monitoreo en suelos y aire en varios puntos de dos localidades, a saber, Khabaroust y Vladivostok, durante un periodo de dos años, el γ -HCH registró altos niveles en agosto, un mes que a criterio de los investigadores, se registraron temperaturas

elevadas del aire superficial; adicionalmente, se encontró que el *pp'*DDT y el *pp'*DDE sufrieron procesos de evaporación durante todo el periodo del muestreo pero especialmente en los meses de mayo a agosto.

Las corrientes aéreas juegan un papel importante en la diseminación de los contaminantes; para citar un ejemplo de esto, Liu y colaboradores²⁷ establecieron una relación entre las direcciones de los vientos con los niveles de plaguicidas de una localidad rural llamada Ningbo, situada en el Este de China, mediante el monitoreo semanal en muestras gaseosas y aerosoles desde julio de 2009 a marzo de 2010, encontraron que las masas de aire transportaron grandes cantidades de plaguicidas organoclorados desde el norte del mencionado país hacia la región estudiada.

Si se analiza la situación que existe en Guerrero sobre estas variables, se puede apreciar un predominio de los climas cálidos y semicálidos en su territorio, con temperaturas medias anuales que oscilan entre 18-27° C, en tanto que los templados ocupan una menor extensión, presentando temperaturas entre 15-22° C, y solamente los lugares con mayor altitud poseen climas templados o semifríos (Figura 5).²⁵ De acuerdo con los antecedentes citados y las condiciones climáticas existentes, las altas temperaturas que se registran en una gran parte del estado posiblemente favorezcan la volatilización de los plaguicidas organoclorados, los cuales pueden ser dispersados hacia lugares lejanos provocando una distribución en el ambiente y los seres vivos, por lo que es de suma importancia conocer el grado de contaminación por estos compuestos de las personas que habitan esta entidad del sur de México.

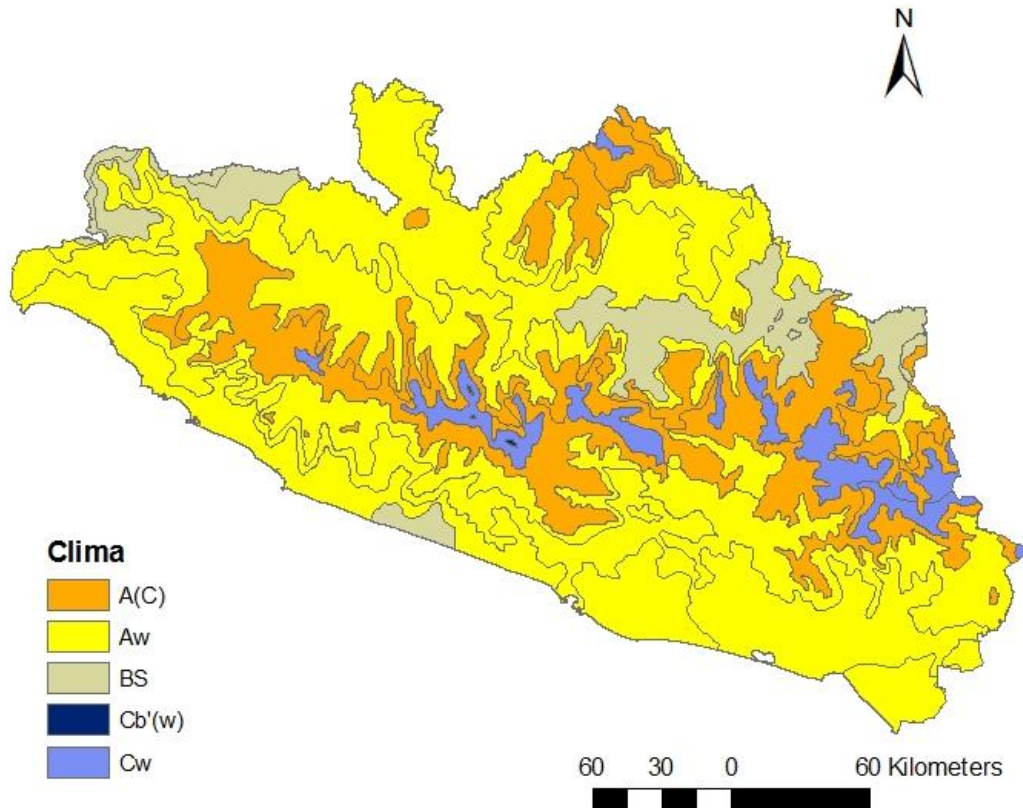


Figura 5. Tipos de climas de Guerrero

(Simbología: A(C): Semicálido; Aw: Cálido subhúmedo; BS: Semiseco; Cb'w: Semifrío; Cw: Templado húmedo. Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, debe mencionarse que a elevadas temperaturas la actividad bacteriana se incrementa aumentando con ello la inactividad de los plaguicidas. La radiación solar afecta principalmente a los plaguicidas fotolábiles. Estos se descomponen a la luz solar, pudiendo también degradarse a compuestos que son más sensibles a esas condiciones (Figura 6).²⁸

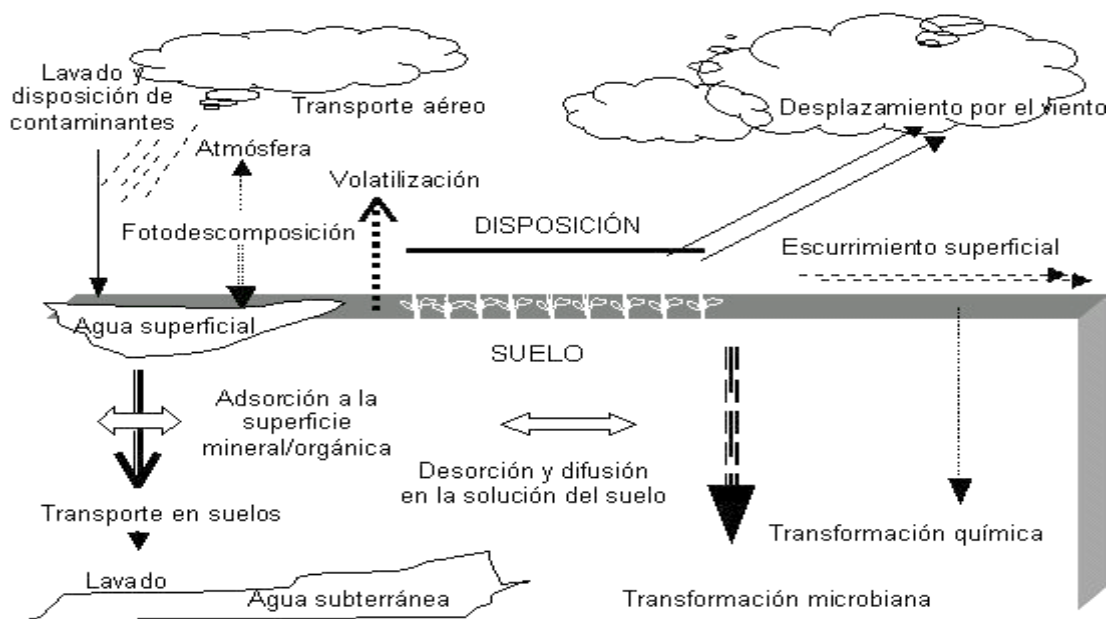


Figura 6. Distribución de los plaguicidas en el medio ambiente²⁹

2.3 Presencia de plaguicidas organoclorados en las cadenas tróficas

En los seres vivos, el DDT tiene una elevada vida media, pero su metabolito (DDE) presenta una mayor persistencia, por lo que se considera un buen marcador de exposición crónica. Con excepción de los individuos expuestos laboralmente, la mayoría de las exposiciones a estos compuestos ocurren con la dieta, especialmente en alimentos de origen animal, pero también por el consumo del agua, así como el contacto con el aire y suelos como ya se explicó anteriormente.¹⁶⁻¹⁸ La bioacumulación es un proceso mediante el cual los productos químicos ingresan a los organismos a una tasa superior de lo que se pueden metabolizar o excretar;⁸ en tanto que la biomagnificación es el proceso por el cual los plaguicidas pueden aumentar su concentración de manera progresiva a lo largo de la cadena alimenticia a un grado tal que pueda ser tóxico para los organismos intermedios o de los últimos niveles de dicha cadena (Figura 7). A continuación, se citan algunos estudios sobre estos fenómenos en variados ecosistemas: en el Lago Ziway, situado en la región del Gran Valle del Rift en Kenia, se analizaron plaguicidas organoclorados, en particular DDT y HCH en especies de aves y sus presas, obteniendo valores de Σ -DDT desde 17.5 mg/kg-base lipídica en *Threskiormis aethiopicus* (un ave pelecaniforme conocido como Ibis sagrado) hasta 52.7 mg/kg en *Leptoptilos crumeniferus* (un ave ciconiforme carroñera y cazadora cuyo nombre

común es Marabú africano), en tanto que en las especies de las que estos animales habitualmente se alimentan (Tilapia –*Oreochromis niloticus*-, Carpa –*Carassius spp*- y Barbo –*Barbus intermedius*-) las concentraciones fueron de 0.41, 0.49 y 0.90 mg/kg, respectivamente.³⁰

En mamíferos marinos, las concentraciones se incrementan de manera importante debido a su alta posición en las cadenas tróficas, en las cuales pueden ser ya sea consumidores terciarios o cuaternarios; Gui y colaboradores³¹ obtuvieron medias de Σ -DDT, Σ -HCH y HCB de 196, 3.450 y 0.185 mg/kg-base lipídica en delfines jorobados (*Sousa chinensis*) y en sus presas (peces de diferentes tamaños y especies) los niveles de estos compuestos fueron de 0.924, 0.666 y 0.003 mg/kg, respectivamente. Similarmente, en leones marinos (*Zalophus californianus californianus*) que habitan las costas e islas de California, Estados Unidos, se encontraron concentraciones medias de Σ -DDT de 143 mg/kg en tejido graso de 36 individuos muestreados.³²

Entre aves de distintos hábitos alimenticios, Chaiyarat y colaboradores³³ publicaron datos que muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) de Σ -HCH entre aves carnívoras (0.031 mg/kg) e insectívoras (0.0098 mg/kg), mientras que en aquellas aves omnívoras los niveles de este compuesto fueron de 0.019 mg/kg; asimismo, el *pp'*DDT fue encontrado únicamente en aves carnívoras (0.0266 mg/kg) y en omnívoras e insectívoras no fue detectado. También, en un análisis llevado a cabo en plumas de aves procedentes del suroeste de Irán,³⁴ el Σ -DDT fue superior en las especies carnívoras (0.022 mg/kg-plumas) que en omnívoras (0.010 mg/kg), insectívoras (0.014 mg/kg) y herbívoras (0.004 mg/kg); no hubo diferencias relevantes en el caso del Σ -HCH (Carnívoras= 0.037, omnívoras= 0.019, insectívoras= 0.018 y herbívoras (0.023 mg/kg) ni en el HCB (Carnívoras= 0.010, omnívoras= 0.002, insectívoras= 0.014 y herbívoras (0.008 mg/kg).

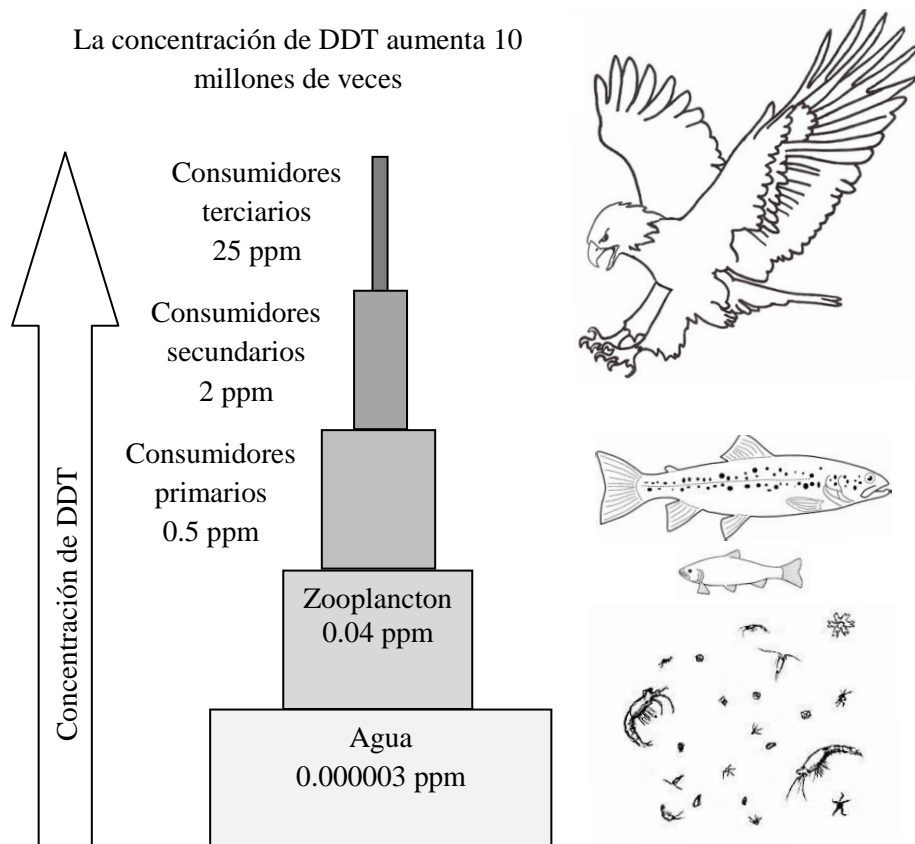


Figura 7. Proceso de bioacumulación de contaminantes (Elaboración propia con base en U.S. Fish and Wildlife Service)³⁵

2.4 Exposición humana a estos compuestos

El hombre se encuentra expuesto a estas sustancias a través de diferentes vías de entrada al organismo:

a) Oral. Mediante el consumo de alimentos que contienen sus residuos, ya sea vegetales, leche y derivados, y productos cárnicos animales. Dado el hecho de que estos compuestos fueron utilizados en décadas pasadas, sus residuos difícilmente pueden ser encontrados en frutas y vegetales pues han sido sustituidos por plaguicidas pertenecientes a otros grupos químicos que se degradan con mayor rapidez lo que conlleva a una reducción en su vida media que evita su acumulación en el ambiente. Estudios realizados en un gran número de frutas y vegetales demuestran la ausencia de plaguicidas organoclorados y, por el contrario, la contaminación por insecticidas de tipo carbamatos y piretroides con una frecuencia variable; en Polonia, entre 1.3 y 2.2% de las muestras analizadas (n=1026) contuvieron concentraciones que superaron los límites máximos residuales establecidos por la

Unión Europea.³⁶ Una presencia más fuerte encontraron Bakirci y colaboradores en Turquía, con 8.4% de muestras frutales contaminadas y casi 10% en vegetales;³⁷ en 2011, se analizaron más de 400 muestras de tomate en Bogotá, Colombia y fueron detectados al menos un plaguicida en el 71% de este producto.³⁸ Esta tendencia parece ser la predominante actualmente, sin embargo, reportes señalan altas frecuencias de detección de plaguicidas organoclorados en alimentos, como el caso de Shen y colaboradores³⁹ que encontraron DDT y derivados así como hexaclorobenceno en vegetales en China. Por otro lado, en muestras de miel procedentes de diversas áreas de Italia se encontraron residuos de *pp'*DDE, *pp'*DDD y *pp'*DDT en un 30 y hasta 88% de éstas;⁴⁰ por lo anterior, no debe ser descartado el consumo de algunos alimentos como una forma de exposición humana a tales compuestos. En un ambiente como el de Guerrero, en el que se aplicaron plaguicidas de manera sistemática con diversos fines, ya sea para el control de mosquitos transmisores de paludismo y otras enfermedades, o para la protección de cultivos en los campos agrícolas, es muy factible que estos compuestos hayan ingresado por el consumo de alimentos que contenían residuos de estos, dando como consecuencia su acumulación en el organismo y es más probable aún que se encuentren en muestras biológicas de habitantes del citado estado.

b) Prenatal. Es el paso de los contaminantes por la barrera placentaria. En un estudio, se determinaron niveles de DDT y HCH en muestras de tejido adiposo, suero sanguíneo y de cordón umbilical de mujeres programadas para cesárea, los cuales fueron similares en estas matrices, llegando a la conclusión de que se lleva a cabo un equilibrio químico entre estos compartimientos del cuerpo de las embarazadas, lo que provoca su ingreso al feto y posterior acumulación, constituyendo ésta la primera fuente de contaminación.⁴¹ Herrero-Mercado y colaboradores⁴² reportaron gradientes de concentración de plaguicidas organoclorados (β -HCH, *pp'*DDE y *pp'*DDT) entre los mismos compartimientos, con niveles menores en tejido adiposo, con aumento sustancial en el suero sanguíneo y valores superiores en la sangre de cordón umbilical, lo que supone una liberación desde el tejido adiposo hasta su integración al producto, con acumulación debido a los todavía escasos mecanismos de desintoxicación a causa del bajo nivel de desarrollo orgánico en esta etapa de la vida. Adicionalmente, Sala y colaboradores⁴³ documentaron la presencia de HCB, β -HCH, *pp'*DDE y *pp'*DDT en sangre de cordón umbilical de 69 neonatos en Cataluña, España, mostrando una clara evidencia sobre la vía de exposición prenatal a tales contaminantes mediante su transferencia transplacentaria.

c) Inhalatoria. La población se encuentra expuesta de manera constante como consecuencia de habitar en sitios que fueron tratados con plaguicidas, ya sea con fines agrícolas o por campañas de control de vectores de enfermedades en el pasado, a través de la vía respiratoria ya que se volatilizan a causa de las altas temperaturas que se registran en los meses del verano⁴⁴ y se transportan hacia otros lugares por medio de las corrientes de aire, recorriendo grandes distancias antes de ser degradados por la luz del sol o depositarse nuevamente en el suelo.²⁵⁻²⁶ Tal como se ha mencionado anteriormente sobre el conocimiento que se tiene en torno a la dependencia de los procesos de volatilización con respecto de la temperatura y las corrientes aéreas de determinados sitios, a pesar que no existen reportes de investigación sobre la dinámica de los plaguicidas en el estado, es muy probable que los climas cálidos y semicálidos presentes en Guerrero causaran que, los plaguicidas organoclorados (como los que se estudian en este trabajo) una vez que se aplicaron en los distintos medios del ambiente, cambiaran de estado a la fase de vapor y se distribuyeran hacia distintos sitios ampliando la cobertura de la contaminación en el ambiente y obviamente afectando al humano.

d) Cutánea. Este tipo de compuestos en la actualidad están en desuso y no son una fuente importante de contaminación para la población en general, no obstante, en el pasado sí representaron un riesgo debido a que las superficies de las habitaciones, cocina, baños, patios y demás espacios de las casas seleccionadas fueron rociadas con DDT a una razón de 2 g por metro cuadrado, lo que en promedio significó una cantidad de aproximadamente 600 g de ingrediente activo en cada hogar tratado, dependiendo de la extensión del mismo. Esto propició un contacto elevado y permanente de los habitantes de las zonas palúdicas en el estado y, debido a las características de afinidad de los plaguicidas organoclorados por los componentes grasos del organismo,⁴⁵ se acumularon cantidades importantes del citado compuesto en las personas, provocando que todavía se encuentren residuos del mismo en las muestras biológicas humanas a pesar de que la exposición fue hace muchos años. También cabe mencionar el alto nivel de exposición de los trabajadores que manipularon las formulaciones para su aspersion en los campos de cultivo o en las casas situadas en áreas palúdicas.¹

2.4.1 Presencia de los plaguicidas organoclorados en la leche materna

La leche humana es una emulsión de grasa acompañada por una dispersión coloidal de proteínas que, junto con la lactosa, minerales y vitaminas, constituye un alimento ideal para el lactante. Solo el 25% de los ácidos grasos de la leche humana provienen de la dieta y el 75% restante se moviliza debido al reciclamiento de las grasas endógenas y su incorporación en las glándulas mamarias.⁴⁶

Debido a la afinidad de los plaguicidas organoclorados por los compuestos grasos, al ingresar al organismo se acumulan en el tejido adiposo y pueden permanecer por muchos años; la leche materna constituye una ruta de descontaminación, por la movilización de las grasas endógenas durante el periodo de lactancia.⁴⁷ Por ello, su presencia en la leche humana se relaciona estrechamente con el grado de contaminación del tejido adiposo materno.⁴⁸

Las personas que son expuestas directa o indirectamente a ambientes contaminados con insecticidas, al alimentar con leche materna a sus hijos en los primeros meses de vida, les transfieren estos productos químicos por esta vía, llevando a su acumulación en el organismo. Por lo anterior, es de suma importancia conocer el grado de contaminación de este alimento, siendo éste uno de los principales objetivos y aportaciones del presente trabajo.

En México, los primeros reportes sobre la presencia de plaguicidas organoclorados en esta matriz biológica fueron realizados por Albert y Viveros y colaboradores⁴⁹⁻⁵⁰ a mediados de la década de 1970 y finales de 1980 en diferentes poblaciones del país, posteriormente, Waliszewski⁵¹⁻⁵² y colaboradores han llevado a cabo diferentes estudios de monitoreo en mujeres de áreas tropicales, considerando localidades tanto urbanas como rurales. A pesar de que han transcurrido varios años desde los primeros estudios en poblaciones mexicanas sobre la determinación de estos plaguicidas en leche, no se tienen reportes de las concentraciones de algunos de estos compuestos en los habitantes de Guerrero, por lo que se tiene un vacío de información con respecto a este tópico por demás relevante, representando un área de oportunidad para la investigación que fue aprovechada con la realización de este trabajo.

2.4.2 Importancia de la evaluación de la exposición humana a plaguicidas organoclorados

El riesgo que representa la exposición crónica a los plaguicidas organoclorados es de consideración, ya que actúan como disruptores endocrinos, es decir, pueden alterar procesos

como la síntesis, secreción, transporte, unión, acción o eliminación de hormonas naturales, las cuales son responsables del mantenimiento del equilibrio orgánico, reproducción, desarrollo y/o comportamiento de los seres vivos. También pueden provocar daños neurológico, hepático, reproductivo y genético; la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer de la Organización Mundial de la Salud (IARC) ha reunido información que le permitió clasificar al HCB, HCH, DDT y sus metabolitos como posibles agentes carcinogénicos en humanos.¹³⁻¹⁵

En la literatura científica existen publicaciones y reportes de investigación sobre plaguicidas organoclorados, su presencia en el ambiente,^{16-20,25-26,53} en los alimentos³⁶⁻⁴⁰ y en animales;⁵⁴⁻⁵⁶ en el caso del hombre se han realizado estudios que buscan determinar el papel que juegan estos contaminantes en enfermedades, desórdenes reproductivos y del desarrollo,^{2-3,57-60} así como para intentar comprender su actividad en el organismo, distribución, almacenamiento y excreción.⁶¹⁻⁶⁷ En México, los estudios de exposición se han enfocado en poblaciones tanto infantil⁶⁸⁻⁶⁹ como adulta,⁷⁰⁻⁷¹ en habitantes de zonas o Estados con antecedentes de aplicación de insecticidas,⁷²⁻⁷³ y personas ocupacionalmente expuestas,⁷⁴ los cuales han analizado diferentes matrices biológicas como suero sanguíneo, orina, tejido adiposo y leche materna; en ésta última, Waliszewski y colaboradores^{51-52,75} encontraron en Veracruz, México niveles de *pp'*DDE en parámetros de 3.320-5.017 mg/kg y *pp'*DDT entre 0.51-1.271 mg/kg, estos valores son similares a los reportados por Rodas y colaboradores⁷⁶ en Yucatán, México (*pp'*DDE= 3.041, *pp'*DDT= 0.210 mg/kg), lo que contrasta con lo obtenido en zonas donde no fue aplicado el insecticida para controlar el paludismo como es el caso de la Cd. De México, en la que se obtuvieron valores de *pp'*DDE y *pp'*DDT de 1.06 y 1.11 mg/kg, respectivamente.⁷⁷ No existen datos publicados de la concentración de plaguicidas organoclorados en leche materna u otras matrices de individuos pertenecientes al estado de Guerrero, razón por la cual este trabajo es pionero y sienta las bases para futuras investigaciones.

2.5 Análisis de plaguicidas organoclorados en el laboratorio

2.5.1 Métodos de extracción

Se han desarrollado técnicas de análisis de plaguicidas organoclorados que involucran el uso de solventes orgánicos que pueden representar un riesgo para el personal que los

manipula, como el hexano, diclorometano, éter de petróleo, entre otros; además los residuos del sulfato de sodio y florisil, que son utilizados para la eliminación de humedad de los extractos generados, pueden ser una fuente de contaminación para la muestra que puede ocasionar desgaste de partes importantes de los instrumentos empleados en la fase de detección. Otro de los inconvenientes es que en muchos de los casos, el tiempo de extracción puede llevar a jornadas de trabajo prolongadas limitando el procesamiento de un significativo número de muestras en menoscabo de la productividad del laboratorio. La técnica que se utilizó en este trabajo presenta ventajas importantes con respecto a estas metodologías, una de las cuales es el uso de ácido sulfúrico para precipitar las grasas contenidas en la muestra, que, en el caso de la leche materna, es muy rica en estos componentes y que podrían causar interferencias analíticas en el proceso cromatográfico.⁷⁸ El ácido sulfúrico degrada los ftalatos, que son compuestos que causan una superposición en los plaguicidas analizados y evitan identificar y cuantificarlos con certeza; además, los residuos resultantes de paso del extracto por una fase sólida de compuesta por sulfato de sodio son eliminados por este reactivo. Adicionalmente, con esta técnica se reduce significativamente el empleo de solventes orgánicos, con lo cual se evitan riesgos laborales que surgen como consecuencia de la exposición a mediano y/o largo plazo. Waliszewski y colaboradores demostraron que con la aplicación de esta metodología se logra una recuperación de plaguicidas superior al 90% lo que garantiza una mayor probabilidad de éxito en la detección de estos compuestos en matrices tan complejas como la leche humana.⁷⁸

2.5.2 Detección por instrumentación analítica

La cromatografía de gases es una técnica analítica de alta resolución, sensibilidad y selectividad. Su uso ha aumentado en gran manera la posibilidades de separación, cuantificación y por consiguiente la caracterización de una gran variedad de sustancias químicas, entre las que se encuentran los compuestos organoclorados.⁷⁹

El proceso cromatográfico consiste en pasar el analito en forma gaseosa a través de una columna capilar de vidrio, arrastrado por una fase móvil gaseosa llamada gas portador, que puede ser He, N₂ o H₂, y los analitos después de ser separados llegan al detector, cuya respuesta aparece en la pantalla de una computadora mediante una representación gráfica llamada cromatograma (Figura 8).⁷⁹

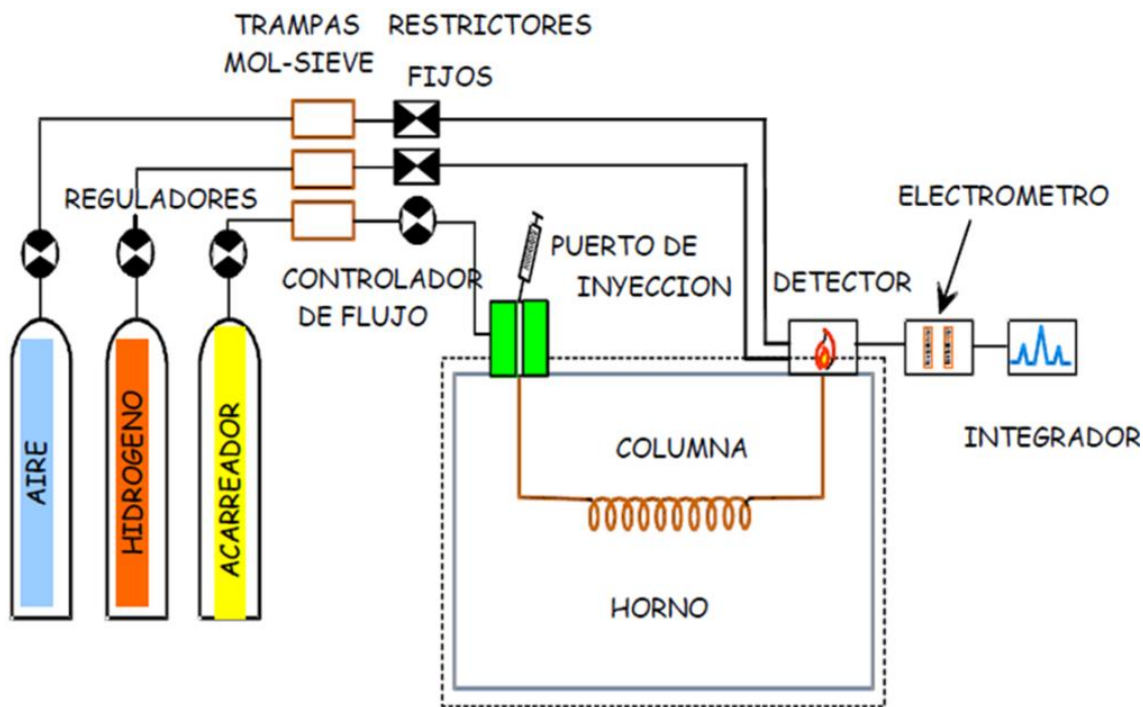


Figura 8. Esquema operativo de la cromatografía de gases⁸⁰

El detector de captura de electrones es de respuesta selectiva, siendo muy sensible a las moléculas que contienen grupos funcionales electronegativos tales como halógenos, peróxidos, quinonas, y grupos nitro; en cambio, no es sensible a grupos funcionales como aminas, alcoholes e hidrocarburos. Los detectores de captura de electrones son altamente sensibles y tienen la ventaja de no alterar la muestra de manera significativa (a diferencia del detector de llama). El efluente de la columna pasa sobre un emisor β , como níquel-63 o tritio (adsorbido sobre una lámina de platino o de titanio). Un electrón del emisor provoca la ionización del gas portador y la producción de una ráfaga de electrones. De este proceso de ionización, en ausencia de especies orgánicas, resulta una corriente constante entre un par de electrodos. Sin embargo, la corriente disminuye en presencia de moléculas orgánicas que tiendan a capturar los electrones (Figura 9).⁸⁰

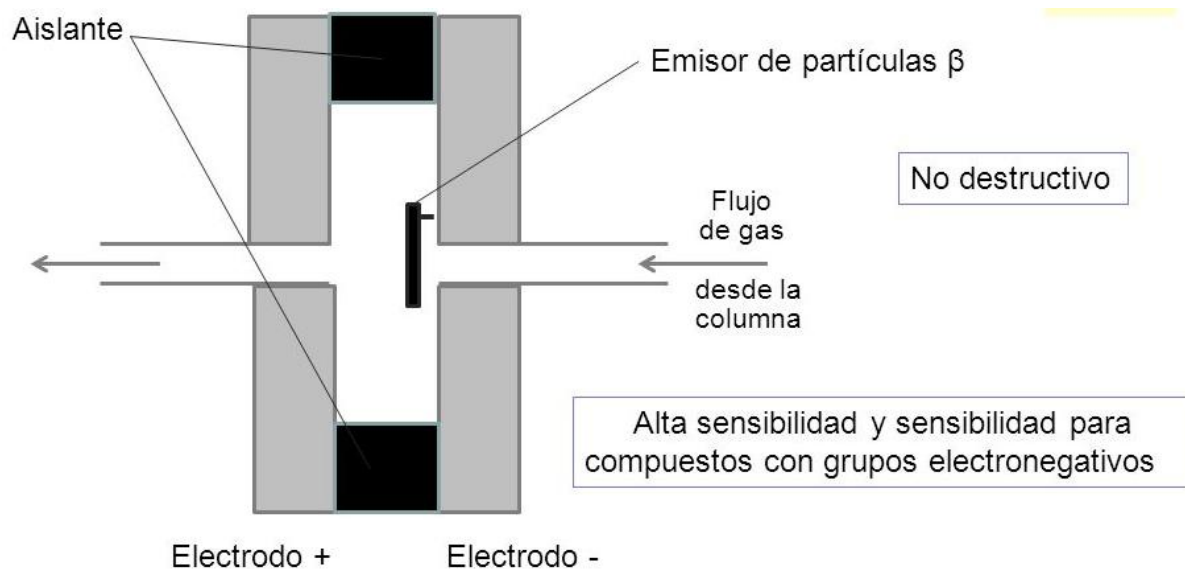


Figura 9. Esquema de un detector de captura de electrones⁸⁰

III. JUSTIFICACIÓN

En el siglo pasado, los plaguicidas organoclorados, entre los que se encuentran el HCB, HCH y el DDT tuvieron una gran aceptación por su efectividad en el combate de plagas que afectaban tanto a las actividades agrícolas como a la salud humana. En el año de 1957 en México dio inicio una campaña para la erradicación del paludismo cuya principal estrategia fue el control químico del vector mediante la aplicación del DDT en el interior de las viviendas.¹ Guerrero fue una de las entidades federativas con mayor cantidad de aplicaciones de este químico debido a la alta transmisión de la enfermedad, razón por la cual se siguió utilizando hasta su prohibición en 1999. Esto trajo como consecuencia una exposición prolongada en la población a este compuesto debido a que es persistente en el ambiente, por lo que a pesar de que actualmente no se aplica aún continúan sus residuos en el suelo, agua y aire, con la exposición indirecta permanente con el hombre.

Se ha estudiado la presencia de plaguicidas organoclorados en humanos en muchos países, entre ellos México, sin embargo, no existen trabajos que reporten la concentración de estos compuestos en Guerrero, por lo que es pertinente realizar una investigación para determinar sus niveles basales en la población guerrerense para generar el conocimiento necesario que permita tener una base sólida que proporcione una orientación objetiva para el

diseño de investigaciones en el corto y mediano plazo que tengan la finalidad de evaluar el impacto que puedan tener en el desarrollo de enfermedades que afectan a la población.

Al ser el estado de Guerrero una zona con alta transmisión de paludismo, sus habitantes han estado expuestos desde mediados de la década de 1950 a plaguicidas organoclorados persistentes (como el insecticida DDT),¹ los cuales pueden actuar como disruptores endocrinos dando como resultados alteraciones en distintas funciones del organismo, por lo que un estudio que evalúe los niveles de contaminación humana por dichos compuestos es necesario y trascendente.

El análisis de muestras biológicas es útil para conocer la concentración de los plaguicidas presentes en un individuo y el ambiente en el que se desarrolla,⁸¹⁻⁸² y debido a que estos compuestos poseen gran afinidad por los lípidos corporales, la leche materna humana se considera una matriz adecuada por su alto contenido de grasa, facilitando así la detección en el laboratorio. Esta investigación incluyó un número importante de mujeres (n= 171), recolectando entre 22 y 30 muestras en las regiones de Guerrero, para lograr una adecuada representatividad y poder localizar los sitios en los que haya una mayor presencia de estos contaminantes.

Por último, este trabajo realizó una evaluación del grado de exposición de acuerdo a los niveles de plaguicidas organoclorados que se encuentran en la leche materna y se presentó la distribución espacial de estos contaminantes con base a las estadísticas descriptivas aplicadas a cada región. Por otro lado, a partir del cálculo de la relación DDT/DDE se conoció si dicha exposición a los compuestos mencionados es reciente o no; esto es importante determinar para que, en un posible escenario de exposición reciente, se puedan planear e implementar programas de seguimiento que tengan por objeto reducir el impacto en la población como consecuencia del contacto con estos productos químicos que son dañinos a la salud y altamente contaminantes para el ambiente.

IV. OBJETIVOS.

4.1 Objetivo general

Evaluar la exposición humana a plaguicidas organoclorados en el estado de Guerrero y determinar los factores que han influido en el grado de contaminación por estos compuestos en la población estudiada.

4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la concentración de plaguicidas organoclorados (*pp'* y *op'* diclorodifeniltricloroetano [DDT], *pp'* diclorodifenildicloroetileno [DDE], hexaclorobenceno [HCB] y α -, β - y γ -hexaclorociclohexano [HCH]) en leche materna de donadoras procedentes del estado de Guerrero.
2. Establecer la relación que existe entre los niveles de plaguicidas organoclorados con distintas variables como la edad, número de partos, semanas de lactancia, tipo de localidad (rural y/o urbana), región de procedencia y hábitos alimenticios de las participantes en el estudio.
3. Representar gráficamente los niveles de contaminación por plaguicidas organoclorados en las diferentes regiones de Guerrero que permita un análisis práctico y sencillo de la problemática relacionada con estos compuestos.

V. METODOLOGÍA.

5.1 Área de estudio

El estado de Guerrero es una de las 31 entidades federativas que constituyen la República Mexicana, está localizado al sur del país entre los 16°18' -18°48' de latitud Norte y 98°03' – 102°12' de longitud Oeste; posee un clima cálido sub-húmedo en la mayor parte de su territorio; la precipitación anual promedio es de 1200 mm aproximadamente. Cuenta con 81

municipios y está dividido en siete regiones político-administrativas, a saber: Tierra caliente, Norte, Centro, Montaña, Costa Grande, Costa Chica y Acapulco (Figura 10).

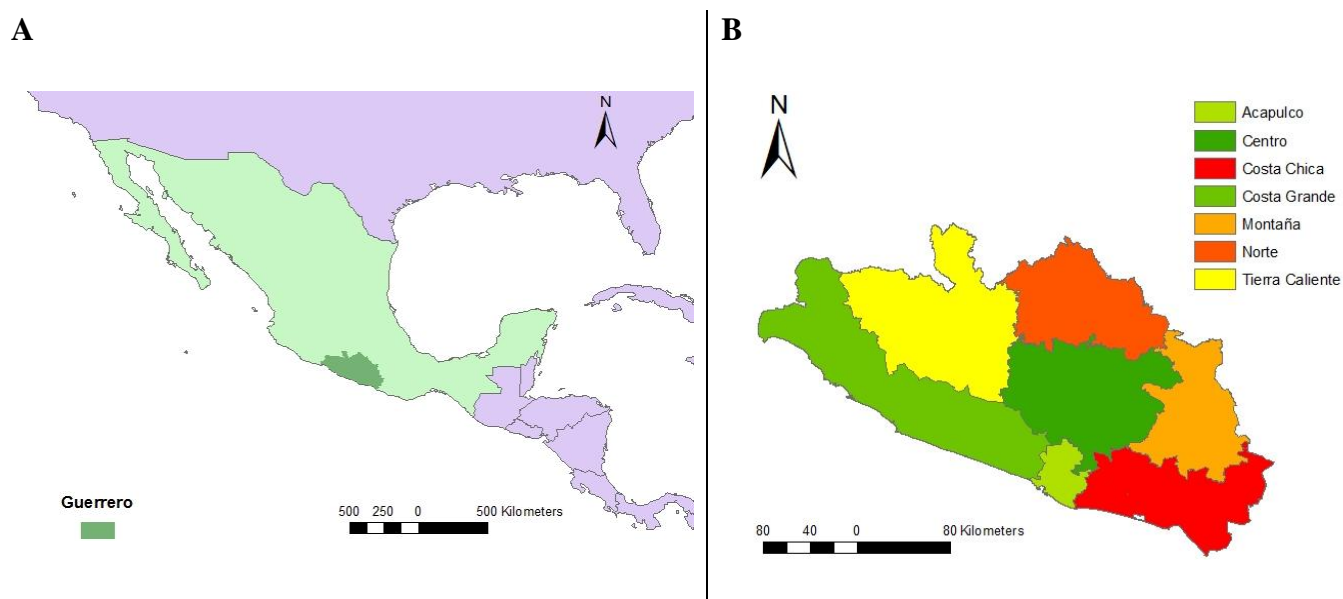


Figura 10. Localización del estado de Guerrero (A) y su división territorial (B)

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda de 2010 llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI), su población consta de 3'388,738 habitantes, con 1'743,207 mujeres y 1'645,561 hombres.⁸³

5.2 Tipo de estudio

Este es un estudio de tipo prospectivo, transversal, observacional y comparativo. La selección de las donadoras, recolección de muestras, aspectos éticos y los documentos que se utilizaron en esta investigación estuvieron en concordancia con los procedimientos y recomendaciones del *Cuarto estudio coordinado por la OMS sobre contaminantes orgánicos persistentes en la leche materna*,⁸¹ el cual ya ha sido replicado en distintos países para conocer el estado de la contaminación que poseen sus habitantes y, por ende, su territorio.

La población de estudio fueron 171 mujeres guerrerenses menores de 40 años de edad, en periodo de lactancia de entre 2 a 8 semanas. Entre 4 a 6 personas capacitadas sobre el tema de estudio se dividieron en grupos para realizar visitas a Centros de Salud, Hospitales Básicos Comunitarios y Hospitales Generales de los Servicios Estatales de Salud con la finalidad de localizar posibles donantes de leche. Con la ayuda de trípticos así como de manera verbal se

informó y sensibilizó a la población acerca de la problemática con respecto a los contaminantes orgánicos persistentes y su presencia en el ambiente y en la leche humana (Anexo 1), haciendo énfasis en los beneficios de la lactancia materna no obstante la contaminación por estos compuestos químicos; se les invitó a participar en la investigación y aquellas personas que voluntariamente aceptaron se les aplicó un cuestionario en el que se preguntaron aspectos relacionados con el embarazo, hábitos alimenticios y características personales (Anexo 2); posteriormente se les leyó y firmaron una Carta de Consentimiento Informado en la que se plasmaron los objetivos, alcances del estudio y en la que se estableció el compromiso del grupo de investigación en cuanto a la protección de la identidad de cada persona (Anexo 3).

5.3 Recolección y análisis de muestras

El total de 171 muestras recolectadas procedieron de mujeres de 38 municipios del estado de Guerrero, obteniéndose por región las cantidades siguientes: Tierra caliente= 23, Norte= 24, Centro= 30, Montaña= 22, Costa Grande= 23, Costa Chica= 23, y Acapulco= 26. La edad promedio de las donadoras fue de 24.6 años (Desviación estándar (DE)= 5.9), con un rango entre 14-40 años; ellas fueron clasificadas de acuerdo con la región y el tipo de localidad donde residen (Cuadro 2).

Cuadro 2. Procedencia de las donadoras

		<i>n</i>	Porcentaje
Región	Tierra caliente	23	13.5
	Norte	24	14.0
	Centro	30	17.5
	Montaña	22	12.9
	Costa Grande	23	13.5
	Costa Chica	23	13.5
	Acapulco	26	15.2
Localidad	Rural	43	25.1
	Urbana	128	74.9

Las muestras de aproximadamente 30 a 50 mL fueron obtenidas por expresión manual (previamente se realizó el lavado de manos y senos con agua y jabón o con toallas húmedas)

y/o con la ayuda de un dispositivo saca-leche completamente limpio, después se depositaron en frascos de vidrio de color ámbar perfectamente limpios con tapa de teflón y se transportaron al laboratorio en termo con temperatura interior entre 2 y 10° C para su separación por centrifugación a 3000 rpm durante 15 minutos. Las fracciones de grasa resultantes fueron transferidas a viales de vidrio previamente lavados con mezcla crómica y se almacenaron a -20°C en un congelador biomédico (Sanyo Electric Co, Ltd, Japón) hasta el día del análisis.

La técnica de análisis de residuos de plaguicidas organoclorados en grasa de leche humana y/o de origen animal fue realizada de acuerdo con la metodología descrita por Waliszewski y colaboradores,⁷⁸ en la cual se extraen los compuestos de interés con la ayuda de solventes orgánicos como el hexano y la precipitación de las grasas se lleva a cabo por la adición de ácido sulfúrico concentrado así como la eliminación de residuos que pudieran causar problemas en la medición de las señales analíticas generadas.

*a) Extracción de lípidos y concentración.*⁷⁸

Se colocaron en un mortero entre 2 y 3 g de grasa de leche para ser mezclada con una considerable cantidad de sulfato de sodio anhidro (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) hasta obtener un homogenizado seco, posteriormente este material se colocó en una columna de vidrio y se dejaron pasar 100 mL de hexano (JT-Baker, Center Valley, PA, USA) que fue recuperado en un matraz de bola y concentrado a aproximadamente 30 mL en un evaporador rotatorio a 40°C. Para determinar la cantidad de grasa contenida en la muestra, se colocaron 10 mL del extracto en un matraz de bola previamente pesado y se evaporó totalmente el solvente para calcular el peso gravimétricamente.

*b) Adición del ácido.*⁷⁸

En un tubo de ensayo se transfirieron 10 mL del extracto resultante y se agregó 1 mL de ácido sulfúrico concentrado (JT-Baker, Center Valley, PA, USA), se agitó la mezcla vigorosamente durante 1 minuto al término del cual se dejó reposar para permitir la separación de fases.

c) *Paso del extracto por columna y concentración final.*⁷⁸

El sobrenadante se filtró en una columna de vidrio conteniendo 5 g de sulfato de sodio anhidro y el líquido eluido se recuperó en un matraz de bola, después se evaporó el solvente hasta menos de 1 mL y se transfirió de manera cuantitativa a un vial de vidrio a un aforo de 1 mL con hexano (la representación gráfica de este procedimiento de extracción se puede ver en el Anexo 4).

d) *Análisis por cromatografía de gases.*⁷⁸

Se inyectó 1 µL de la muestra ó estándar ó blanco en modo *splitless* en un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones marca Varian (Palo Alto, CA, USA) equipado con una columna capilar DB-608 de 0.32 µm de diámetro y 30 m de longitud, con un flujo de nitrógeno de 6.3 mL/min, la temperatura del horno inicialmente fue de 193° C y continuó constante durante 7 minutos, con incremento posterior a razón de 6°C cada minuto hasta alcanzar 250° C y permaneciendo a esta temperatura durante 20 min. Las inyecciones fueron programadas iniciando primero con las muestras blanco, posteriormente las muestras fortificadas y finalizando con la solución estándar para evitar la contaminación del sistema que produce el *fenómeno de arrastre* de compuestos en la columna cromatográfica y otros componentes, que provoca la aparición de residuos que se suman a la concentración presente en la muestra analizada. Adicionalmente, por cada 2 o 3 muestras inyectadas, se corrió un blanco de reactivos para limpiar el sistema con la finalidad de minimizar o evitar el efecto antes mencionado.

e) *Identificación y cuantificación de los compuestos.*⁷⁸

Los plaguicidas presentes en la muestra fueron identificados por su tiempo de retención y cuantificados por su área bajo la curva tomando en cuenta los datos generados por una solución de estándares analíticos comerciales previamente analizados cuya composición constó de HCB, isómeros α-, β- y γ-HCH, *pp'* y *op'*DDT y el metabolito *pp'*DDE (Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA); la fórmula aplicada para el cálculo de cada concentración fue la siguiente:

$$[\text{mg/kg}] = \frac{\frac{\text{Área del pico de la muestra}}{\text{Área del pico del estándar}} \times [\text{Estándar}]}{\text{Peso de la muestra}}$$

Las unidades en las que se expresaron los compuestos fueron miligramos por kilogramo de lípidos presentes en la muestra (mg/kg).

5.4 Determinación de la calidad analítica del método

La constatación de que un método de medición cumple con los requisitos mínimos de veracidad y precisión es fundamental para asegurarse que el análisis de las muestras sea confiable para una correcta interpretación de resultados.⁸⁴ Para lograr lo anterior, es necesario el diseño de experimentos que proporcionen evidencia objetiva sobre la calidad analítica de un método. En este caso en particular, se propuso la evaluación de los parámetros de desempeño más frecuentemente utilizados en la verificación, a saber, veracidad y precisión, siendo la primera definida como el grado de concordancia existente entre el valor real de un analito y el resultado promedio de un gran número de mediciones replicadas. La precisión es el grado de concordancia que hay entre los valores repetidos de una serie de ensayos de una muestra.⁸⁴⁻⁸⁵

5.4.1 Evaluación de la veracidad⁸⁴⁻⁸⁵

La veracidad fue determinada mediante el análisis de una muestra blanco, es decir, que estuviera libre de plaguicidas, y que se fortificó con una mezcla de estos compuestos a una concentración de 0.1 mg/kg, de la siguiente manera:

- Se realizaron los procedimientos de extracción y determinación de grasa total, descritos en el apartado anterior, utilizando 2 g de mantequilla comercial (muestra blanco).
- A un tubo que contuviera 10 ml del extracto obtenido en el paso anterior, se agregó 1 ml de la solución de estándares de plaguicidas HCB, α , β y γ -HCH, *pp'*DDE, *op'*DDT, *pp'*DDT, resultando un nivel de fortificación de 0.01 mg/kg (muestra fortificada). Este paso se llevó a cabo en una serie de 10 repeticiones.
- Se realizó la determinación de plaguicidas de las muestras blanco y fortificadas, así como el análisis de una solución de plaguicidas a la misma concentración de trabajo (0.01 mg/kg), y utilizando hexano como solvente (solución estándar).
- Se calculó el porcentaje de recuperación (% Recuperación), el cual se define como el error o sesgo, a través del cual nos permite conocer la veracidad del método, aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Recuperación} = \left(\frac{\text{Muestra fortificada} - \text{Muestra blanco}}{\text{Nivel de fortificación}} \right) \times 100$$

5.4.2 Evaluación de la precisión (Repetibilidad)⁸⁴⁻⁸⁵

Utilizando los datos de las 10 mediciones repetidas, se calculó la media aritmética (X), desviación estándar (DE) y coeficiente de variación porcentual (CV%), siendo éste último el que se tomó en cuenta para evaluar la precisión del método.

5.4.3 Criterios de aceptación

De acuerdo con grupos de expertos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y demás organizaciones internacionales como la Eurachem, que tienen como objetivo mejorar la calidad de los procesos de medición en los laboratorios, establecen que para el análisis cromatográfico de residuos y contaminantes en agua y alimentos que se encuentren a concentraciones entre 0.01-0.1 mg/kg, el % de Recuperación debe estar en el rango de 70-120%. Asimismo, el coeficiente de variación (CV) debe ser menor o igual a 20%.⁸⁴⁻⁸⁵

5.5 Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados se realizaron estadísticos descriptivos (media aritmética, moda, mediana, desviación estándar, rango, valores máximos y mínimos). Tal como se realiza en estudios sobre contaminantes en leche humana,⁸⁶ se analizó la normalidad de los datos obtenidos de la concentración de los plaguicidas mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia de 0.05. Los valores de *p* calculados que fueron mayores a dicho nivel confirmaron la hipótesis nula sobre la normalidad de los datos y, por el contrario, cuando fueron menores a 0.05 indicaron que la distribución de las concentraciones no fue normal.

Se realizaron análisis de correlación (*r* de Pearson) y gráficos de dispersión (concentración de plaguicidas vs edad) para determinar la influencia de la edad de las participantes sobre las concentraciones de los plaguicidas; adicionalmente, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para establecer si existieron diferencias estadísticamente significativas en los valores de plaguicidas entre las mujeres clasificadas de acuerdo con los siguientes grupos etarios: menores de 20 años, de 21 a 23 años, de 24 a 28 años y mayores de 29 años.

Se utilizó la prueba de Kruskal Wallis para comparar los niveles de plaguicidas organoclorados entre las diferentes regiones de Guerrero así como también se compararon dichos niveles entre las mujeres procedentes de zonas urbanas y rurales (Mann-Whitney).

Con el objetivo de conocer la relación entre los niveles de plaguicidas con respecto a la etapa de lactancia de las madres, primero, se realizaron gráficos de dispersión (concentración de plaguicidas vs días de lactancia) y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson; además, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar las diferencias en los niveles de plaguicidas entre las mujeres agrupadas según la semana de lactancia en la que se encontraban al momento de la recolección de la muestra.

Se compararon las concentraciones de los plaguicidas de acuerdo a diferentes variables como el número de partos y los hábitos alimenticios de las participantes (bajo, moderado y/o alto consumo de: pescado, carne, huevo y productos lácteos) mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

Se agrupó a las donadoras de acuerdo con sus antecedentes en lo que se refiere a que si fueron alimentadas con leche materna o no, para indagar el papel de esta variable sobre las concentraciones de plaguicidas organoclorados; para tal efecto, se realizó la prueba de Mann-Whitney para establecer si existieron diferencias estadísticamente significativas en los valores de plaguicidas entre ambos grupos.

Con la finalidad de determinar si el consumo de uno u otro producto alimenticio (pescado, carne, huevo, lácteos) puede ser un factor de riesgo para tener una elevada concentración de plaguicidas organoclorados, se realizó una prueba de asociación que es comúnmente utilizada en estudios epidemiológicos, la cual está basada en el cálculo de la razón de momios, también llamada de ventajas o probabilidades, cuyo análisis ya ha sido empleado por Boada y colaboradores.⁸⁷ Para tal efecto, la concentración de los plaguicidas en la población fue categorizada como: 1) Menor que la mediana y 2) Mayor que la mediana, en tanto que la variable de exposición fue clasificada como: a) Consumo moderado y b) Consumo alto. Del mismo modo, la variable sobre la ingesta de leche materna de las donadoras en etapa infantil fue: i) Consumidora y ii) No consumidora. Esta información fue recabada a través de la encuesta que se aplicó durante el reclutamiento de las madres donadoras (Anexo 2). La

razón de momios fue calculada con su respectivo intervalo de confianza del 95%. En lo que respecta a la interpretación de resultados, si el valor calculado (*Odds ratio* –OR–) es mayor que 1, así como su intervalo de confianza, se concluye que el factor de riesgo analizado está en relación con la probabilidad de que los sujetos de estudio puedan tener alta concentración del plaguicida en cuestión. Por el contrario, si el OR es menor que 1 al igual que su intervalo de confianza, se establece que la variable analizada constituye un factor de protección para tener concentraciones bajas de plaguicidas en los individuos.⁸⁸ Todas las pruebas fueron realizadas con un nivel de confianza del 95% con el programa estadístico SPSS, versión 21 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA).

5.6 Mapas de distribución de la concentración de los plaguicidas

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten la interpretación sobre el impacto de ciertos contaminantes en una región, por lo que se presenta como una gran herramienta para la visualización de la información.⁵³ Para ello se utilizó el software ArcGis 9.3 como plataforma para el soporte de la información digital del SIG. Las actividades que se realizaron fueron las siguientes: a) Se georreferenciaron los domicilios de las participantes del estudio, usando un dispositivo de geoposicionamiento satelital *eTrex H* (Garmin Ltd, Kansas, USA); b) Se elaboraron mapas para visualizar la distribución de la concentración de dichos compuestos en el estado de Guerrero.

En primera instancia, se realizó un mapa temático en el que se indicaron los municipios de los que procedían las donadoras, para tener una idea clara de la cobertura del muestreo aplicado en este estudio e identificar las jurisdicciones sanitarias visitadas. Posteriormente, el análisis regional se realizó mediante el cálculo de la mediana de cada uno de los contaminantes en las jurisdicciones sanitarias; las concentraciones fueron expresadas con escalas de colores de modo gradual, es decir, en la manera en que los valores son mayores, aumentó la intensidad del color en el mapa, proporcionando una representación gráfica que evidenció de forma rápida y sencilla el estado en el que se encontraron los niveles de contaminación en Guerrero.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Características de la población de estudio

Las madres que formaron parte de la población de estudio procedieron de 38 municipios, lo que significa una cobertura de muestreo del 47% en el Estado de Guerrero, logrando con esto una adecuada representatividad; en algunas unidades médicas de atención se capturaron donadoras procedentes de otras localidades, razón por la cual se enriqueció y diversificó el muestreo planeado. De cada municipio visitado al menos dos madres fueron seleccionadas para formar parte de la población de estudio (Figura 11).

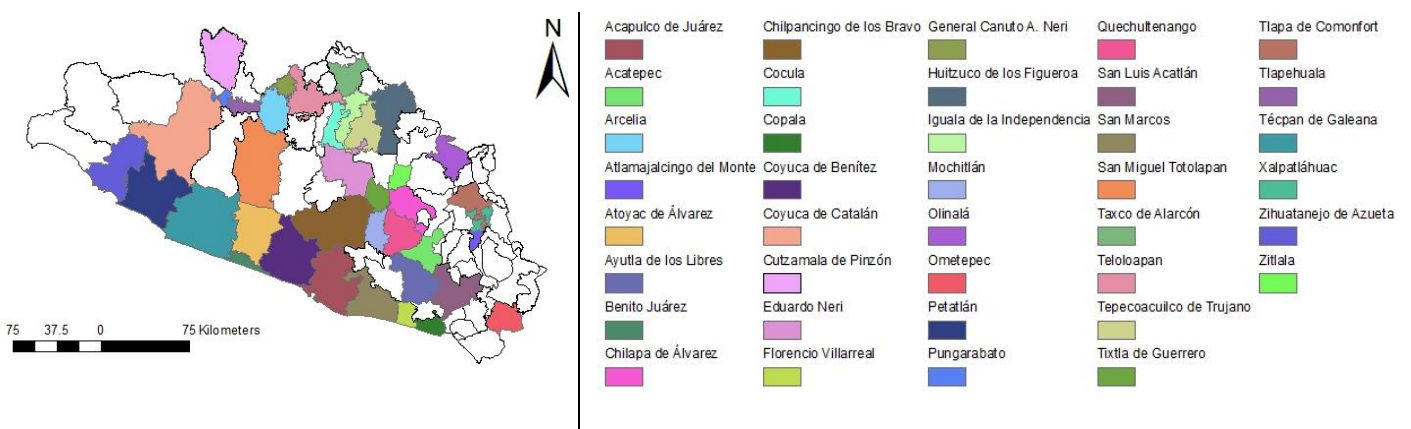


Figura 11. Municipios incluidos en el estudio

Las madres estudiadas tuvieron edades que fluctuaron entre los 14 hasta los 40 años, con un promedio de 24.6 años (DE= 5.9). Ellas fueron divididas en grupos etarios, por las semanas de lactancia y la cantidad de partos que han tenido; los subgrupos formados contaron con cantidades de individuos similares entre sí, lo cual es importante para evitar sesgos y errores de interpretación en los análisis estadísticos aplicados (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características de la población de estudio

		<i>n</i>	Porcentaje
Grupos de edad	<20 años	49	28.7
	21-23 años	33	19.3
	24-28 años	46	26.9
	>29 años	43	25.1
No. de partos	Un parto	59	34.5
	Dos partos	57	33.3
	Tres o más partos	55	32.2
Semanas de lactancia	Una semana	13	7.6
	Dos semanas	48	28.1
	Tres semanas	43	25.1
	Cuatro semanas	33	19.3
	Cinco o más semanas	34	19.9

6.2 Análisis cromatográfico

Los plaguicidas determinados fueron el HCB, α -, β - y γ -HCH, *pp'*DDE, *op'*DDT y *pp'*DDT. Los cromatogramas obtenidos de la mezcla de estándares muestran que los tiempos de retención del HCB e isómeros α -, β - y γ -HCH fueron de 6.967, 7.205, 7.988 y 8.403 minutos, respectivamente, mientras que el *pp'*DDE apareció en 16.469 minutos y el *op'*DDT en 18.388 minutos, el *pp'*DDT fue el último compuesto del análisis con 20.169 minutos; la duración total de la corrida fue de 30.013 minutos (Figura 12). Este análisis previo de estándares de plaguicidas fue fundamental para la identificación de los compuestos presentes en la muestra y su posterior cuantificación. Además, una vez determinado el tiempo de cada corrida fue posible planear con anticipación el número de muestras a procesar y los recursos materiales a utilizar durante cada jornada laboral.

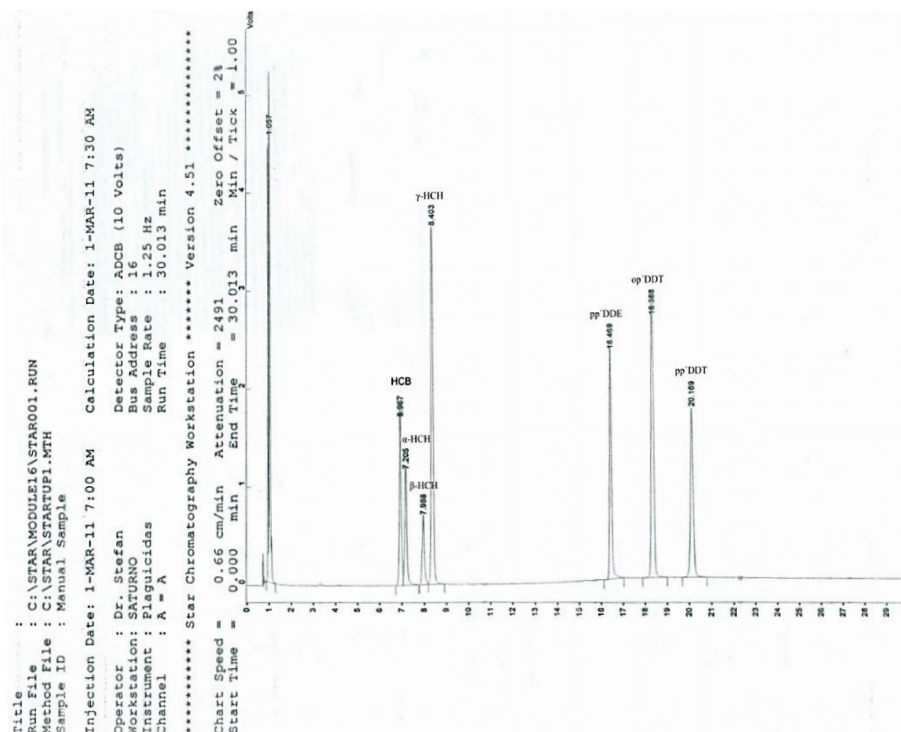


Figura 12. Tiempos de retención de los plaguicidas organoclorados

6.3 Calidad del método analítico

En la evaluación de la veracidad, los porcentajes de recuperación resultaron excelentes en vista de que fueron mayores a 80%, cuyos valores van desde el que se obtuvo en el α -HCH (87.1%) hasta el del *pp* DDT con 101.4% (Cuadro 4). Esto demuestra que el método que se propone en este trabajo es eficiente para la detección de los compuestos estudiados y que posee una veracidad aceptable de acuerdo con las recomendaciones establecidas por los grupos de expertos en validación y verificación de los métodos de los organismos internacionales.⁸⁴⁻⁸⁵

Cuadro 4. Resultados del estudio de fortificación de la muestra que demuestran la eficiencia del método

Compuesto	Nivel de fortificación mg/kg	% Recuperación	DE	CV%
HCB	0.010	89.6	9.3	10.4
α-HCH	0.010	87.1	9.1	10.4
β-HCH	0.010	90.4	9.3	10.3
γ-HCH	0.010	92.8	9.7	10.5
<i>pp'</i>DDE	0.020	100.8	8.2	8.1
<i>op'</i>DDT	0.040	99.8	9.3	9.3
<i>pp'</i>DDT	0.030	101.4	9.8	9.7

En la evaluación de la precisión, se encontró una dispersión de datos que fue mayor en la detección de los compuestos HCB y α -HCH con un coeficiente de variación del 10.4%, en tanto que el metabolito *pp'*DDE presentó un valor de 8.1. No obstante, estos resultados se encuentran dentro del límite permitido para esta característica de desempeño analítico, que es del 20%.

Con los resultados obtenidos se tiene evidencia objetiva que indica que el método extracción de plaguicidas propuesto por Waliszewski y colaboradores⁷⁸ así como la detección y cuantificación por cromatografía de gases con detección por captura de electrones cumple con las características de desempeño analítico apropiadas establecidas por organismos especializados en el análisis de estas sustancias por el laboratorio.⁸⁴⁻⁸⁵ De esta manera, los datos de las concentraciones de plaguicidas encontrados en la población estudiada se utilizaron para un tratamiento estadístico con la seguridad de que proceden de un análisis confiable.

6.4 Niveles de plaguicidas organoclorados

En las muestras analizadas, el HCB y β -HCH fueron detectados con una frecuencia de 36.8 y 36.3%, respectivamente; resultados similares fueron publicados en 2004 en un trabajo realizado por Prado y colaboradores,⁷⁷ cuya población de estudio fueron madres procedentes de la ciudad de México, en donde el β -HCH fue detectado en el 37.8% de los casos; en contraste, Rodas y colaboradores,⁷⁶ en 2008 reportaron la presencia β -HCH en un porcentaje

incrementado con respecto al obtenido en este estudio (66%). El *op'*DDT y el *pp'*DDT estuvieron presentes en el 76 y 98.2% de las muestras, sobre estos datos cabe hacer mención que la formulación del plaguicida DDT que fue utilizado en el pasado para el control del mosquito del género *Anopheles*,¹ estaba constituido en su mayor parte por el *pp'*DDT (más del 85%), mientras que el isómero *op'*DDT se encontraba en cantidades de 15% o menos;^{4,7-8} de este modo, las personas expuestas al insecticida poseen concentraciones aumentadas del *pp'*DDT con respecto al *op'*DDT, estando este último con una tendencia a su desaparición en el organismo con el paso del tiempo. Esto fue observado, por ejemplo, en leche materna madura de madres residentes en Veracruz en la que se detectó al *pp'*DDT en el 96% de las mujeres y el isómero sólo tuvo presencia en el 46% de ellas.⁷⁵

El *pp'*DDE tuvo cifras superiores, con una presencia del 100% en las participantes, este metabolito normalmente se encuentra con una alta frecuencia en mujeres que han sido expuestas de manera ambiental al DDT; Song y colaboradores reportaron tasas de detección de *pp'*DDE del 100% en mujeres de Beijing, China,⁸⁹ así como Rojas-Squella en mujeres residentes en Bogotá, Colombia;⁹⁰ en estudios realizados en poblaciones de la ciudad de México (n= 79), Cuernavaca (n= 26) y zonas rurales de Morelos, México (n= 42), este compuesto se detectó en todas las muestras analizadas mientras que el *pp'*DDT y *op'*DDT se encontraron entre 96-99% y 42-100% de los casos, respectivamente.⁹¹

En este trabajo, los isómeros α -HCH y γ -HCH no fueron detectados en ninguno de los casos estudiados (Tabla 5). De acuerdo con la literatura, estos isómeros son menos persistentes debido a que su degradación es más rápida tanto en el ambiente como en los sistemas biológicos.⁹² En concordancia con el presente trabajo, Rojas-Squella y colaboradores (2013),⁹⁰ no encontraron niveles detectables de estos isómeros en 32 muestras de donadoras provenientes de Colombia, pero sí encontraron en dos de ellas al β -HCH, aunque con valores que no superaron los límites de cuantificación del método.

El HCB y β -HCH presentaron bajos niveles, con una media de 0.013 y 0.011 mg/kg, respectivamente. Las concentraciones de *op'*DDT y *pp'*DDT mostraron niveles de 0.022 y 0.062 mg/kg, indicando una baja exposición a estos insecticidas. El analito principal del DDT total fue el metabolito *pp'*DDE, el cual tuvo una media de 0.893 mg/kg y un rango de concentraciones entre 0.017 a 5.604 mg/kg. La desviación estándar de la mayoría de los

compuestos fue alta, lo que significa una gran variabilidad de las concentraciones entre las donadoras (Cuadro 5).

Cuadro 5. Niveles de plaguicidas organoclorados (mg/kg en base lipídica) y variabilidad entre las donantes

	Frecuencia (%)	Media	Desviación estándar	Mediana	Mínimo	Máximo
HCB	37	0.013	0.014	0.009	0.001	0.074
α-HCH	No detectado					
β-HCH	36	0.011	0.019	0.004	0.001	0.123
γ-HCH	No detectado					
<i>pp'</i>DDE	100	0.893	0.780	0.760	0.017	5.604
<i>op'</i>DDT	76	0.022	0.022	0.016	0.001	0.179
<i>pp'</i>DDT	98	0.062	0.071	0.045	0.002	0.727
Σ-DDT	-	0.972	0.821	0.833	0.017	5.896
<i>pp'</i>DDE/<i>pp'</i>DDT	-	14.4	-	-	-	-

6.5 Relación *pp'*DDE/*pp'*DDT

La conversión del insecticida *pp'*DDT a su metabolito en el organismo es dependiente del tiempo, por lo que el cálculo de la relación *pp'*DDE/*pp'*DDT proporciona información que revela la temporalidad de la exposición, si este índice es menor a 1 se deduce que la exposición es reciente; por otro lado, si el valor calculado es mayor a 1 entonces se interpreta que dicha exposición es antigua y su aumento se debe a la disminución de la concentración de *pp'*DDT con el respectivo aumento del *pp'*DDE. Azeredo y colaboradores reportaron un valor de 6.3 de esta relación,⁹³ lo que indica una exposición no reciente al DDT. En lo que se refiere a la población estudiada, la relación fue de 14.4 lo que significa que la exposición fue dada con mucha anterioridad. En un estudio se determinó este índice en mujeres habitantes de Veracruz, México y se observó una tendencia al aumento conforme pasaron los años (1988= 1.5, 1991= 2.5, 1992= 4.0, 1994= 1.0, 1995= 2.4, 1997= 6.3, 1998= 4.8).⁷¹ En comparación con los datos de Veracruz, el índice obtenido en el presente trabajo es casi tres veces mayor y, en un futuro monitoreo se puede prever que la tendencia también sea a la baja como una

consecuencia de la conversión del *pp'*DDT a *pp'*DDE y debido a que la aplicación del insecticida actualmente está prohibida,^{1,7} reduciendo sustancialmente la posibilidad del que el *pp'*DDT ingrese en grandes cantidades en la población.

6.6 Distribución de las concentraciones de plaguicidas

La distribución de las concentraciones de los plaguicidas organoclorados mostró un comportamiento no normal tal como es evidente en las gráficas mostradas en la Figura 13, en las que se observa de manera general que un considerable número de mujeres poseen bajas concentraciones de plaguicidas y conforme aumentan, la frecuencia de quienes cuentan con altos niveles disminuye. Además de que no se observa una campana de Gauss que definiría en primera instancia la distribución normal de los resultados, también se suma el hecho de que los valores de *p* de la prueba de Kolmogorov-Smirnov fueron menores a 0.05 en todos los casos, lo anterior confirma la ausencia de normalidad en los datos obtenidos de la población estudiada por lo que es necesario que el tratamiento estadístico que se aplique sea mediante pruebas no paramétricas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Prueba de Kolmogorov-Smirnov de las concentraciones de plaguicidas

	HCB	β-HCH	<i>pp'</i>DDE	<i>op'</i>DDT	<i>pp'</i>DDT
Valor de Z	1.513	2.617	1.706	2.721	2.932
<i>p</i>-valor	0.021	0.000	0.006	0.000	0.000

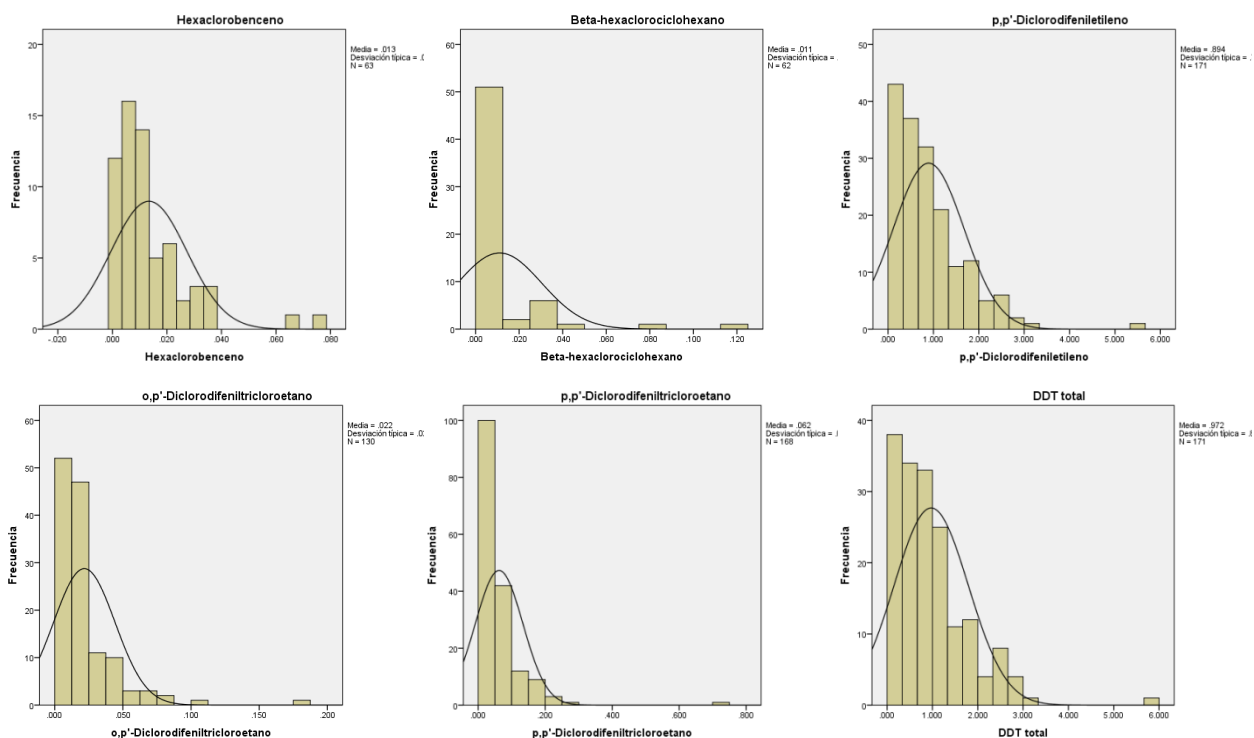


Figura 13. Distribución de las concentraciones de los plaguicidas organoclorados de la población estudiada

Desde el año de 1999, cuando el uso del DDT fue prohibido, ha habido una disminución progresiva de las concentraciones de *op'*DDT y *pp'*DDT en el ambiente y los alimentos provocando una menor exposición de la población y niveles bajos de estos compuestos en el cuerpo de las personas; el *pp'*DDE ha permanecido con valores más altos puesto que es un metabolito del *pp'*DDT presente en el organismo, y se prevé que continúen estas concentraciones por un tiempo más prolongado aunque sus valores disminuirán paulatinamente.

6.7 Comparación de los niveles de plaguicidas encontrados respecto a otras poblaciones

Tanto la producción como el uso de plaguicidas organoclorados fueron restringidos en la mayoría de los países desde la década de 1970, aunque en algunos países aún son usados para la prevención y control de enfermedades transmitidas por vectores como el paludismo y también contra ectoparásitos.^{1,7} Los niveles encontrados en la población de este estudio fueron comparados con reportes recientes en leche materna. De acuerdo a la Figura 14, la concentración de HCB es ligeramente más baja (0.009 mg/kg) que las encontradas en países

de Europa y Oceanía. Colles y colaboradores reportaron una mediana de 0.016 mg/kg en Bélgica;⁹⁴ también, se encontraron resultados similares en el Reino Unido⁹⁵ (0.018 mg/kg) y Australia⁹⁶ (0.014 mg/kg). Zietz y colaboradores⁹⁷ en el 2008 encontraron valores de 0.031 mg/kg en una población alemana. Las concentraciones más altas fueron registradas en Túnez⁹⁸ (0.114 mg/kg). El HCB fue usado como fungicida para el tratamiento de semillas, pero también es un sub-producto formado en los procesos industriales, y una razón que podría explicar estas diferencias en los niveles de HCB es que en el estado de Guerrero no hay fuentes importantes de este contaminante, lo cual se ve reflejado en los bajos valores obtenidos.

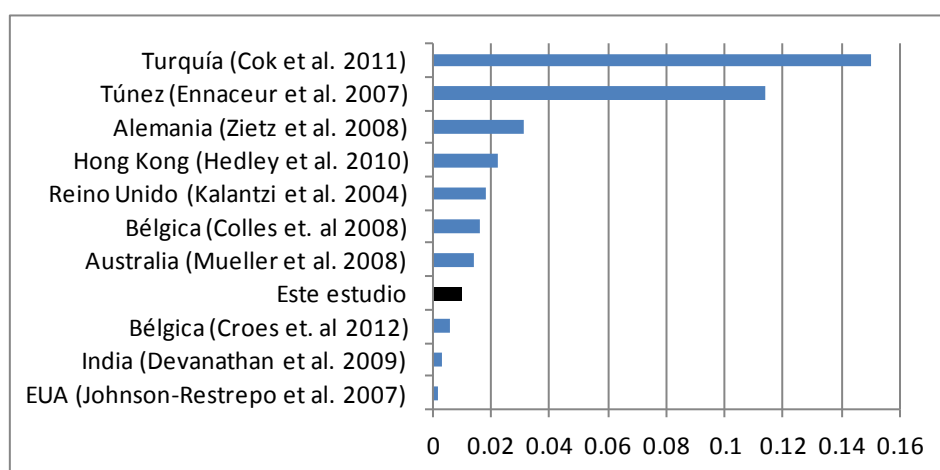


Figura 14. Comparación de los niveles de HCB (mg/kg en base lipídica) en algunos países y los resultados obtenidos en Guerrero

Las concentraciones de β -HCH fueron menores que las encontradas en Hong Kong⁹⁹ (0.940 mg/kg) y Beijing⁸⁹ (0.175 mg/kg). En un estudio realizado en India, los resultados obtenidos fueron 1.408 mg/kg.¹⁰⁰ Además, Cok y colaboradores encontraron en Turquía niveles que son tres veces más altos que los valores presentados en este estudio (0.039 mg/kg) (Figura 15).¹⁰¹ En diferentes poblaciones de México, los valores de este compuesto excedieron entre 7 y 50 veces a los niveles del presente estudio (Veracruz: 0.079,⁶⁷ Yucatán: 0.612⁷⁶ y Cd. De México: 0.615 mg/kg⁷⁷) (Figura 15). Debido a las condiciones ambientales particulares, la necesidad para el combate de ectoparásitos y enfermedades transmitidas por vectores es diferente en estos lugares, lo cual se ve reflejado en la exposición de sus residentes a los compuestos químicos.

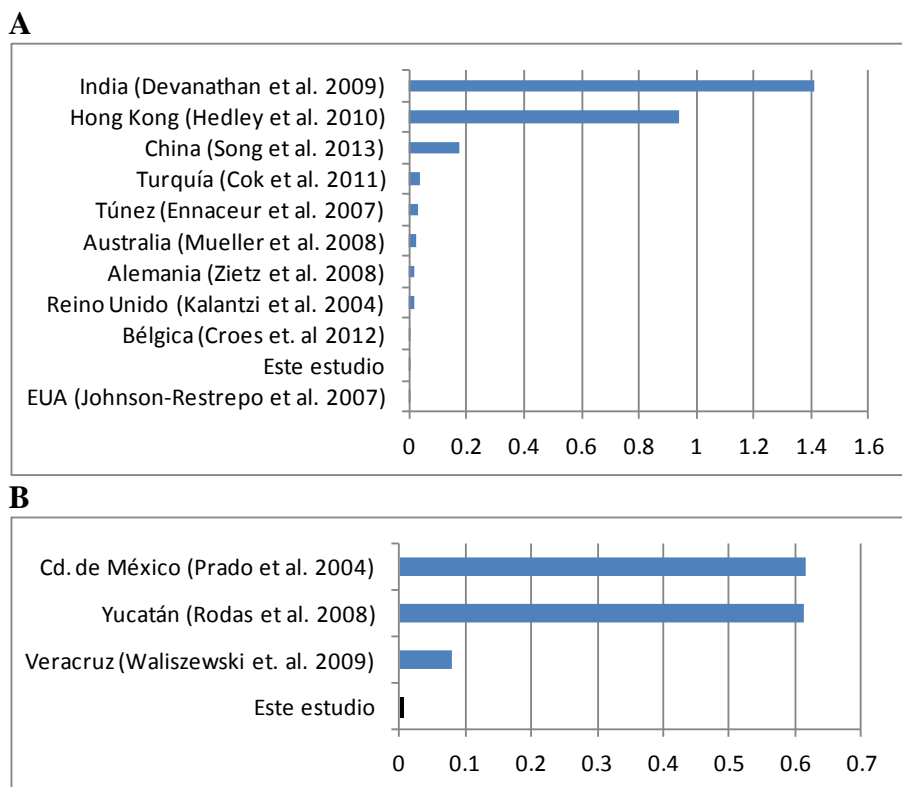


Figura 15. Comparación de los niveles de β -HCH (mg/kg en base lipídica) en algunos países (A) y estados mexicanos (B) con los resultados obtenidos en Guerrero

Los residuos de *pp'*DDT que permanecen en el ambiente y los alimentos son los principales indicadores de exposición al DDT. Comparando los resultados obtenidos en este trabajo (0.045 mg/kg) con los reportados por Ennaceur y colaboradores en Túnez,⁹⁸ la mediana del *pp'*DDT excedió 10 veces estos resultados (0.484 mg/kg). Además, las participantes tuvieron niveles de *pp'*DDT más altos que los encontrados en países donde el DDT fue prohibido desde hace más de 30 años, como en Estados Unidos de América,¹⁰² Bélgica,^{94,103} Reino Unido⁹⁵ y Australia⁹⁶ donde la mediana de este insecticida fue: <0.001, 0.003, 0.006 y 0.007 mg/kg, respectivamente (Figura 16).

También, los resultados obtenidos fueron comparados con otros estudios realizados en diferentes regiones de México, que tuvieron aplicaciones de estos insecticidas en el pasado. Por ejemplo, en Yucatán, Rodas y colaboradores reportaron 0.210 mg/kg de *pp'*DDT;⁷⁶ en Veracruz, Waliszewski y colaboradores en 2002⁷⁵ y 2009⁶⁷ encontraron concentraciones medias de 0.510 y 0.460 mg/kg de *pp'*DDT, respectivamente. En un estudio realizado en mujeres procedentes de áreas endémicas de paludismo, las concentraciones fueron 6 veces más

altas en Chiapas (0.277 mg/kg) que las encontradas en este estudio (0.045 mg/kg); en contraste, en San Luis Potosí, los valores fueron más bajos (0.018 mg/kg) que los reportados en Guerrero (0.045 mg/kg)⁷³ (Figura 16).

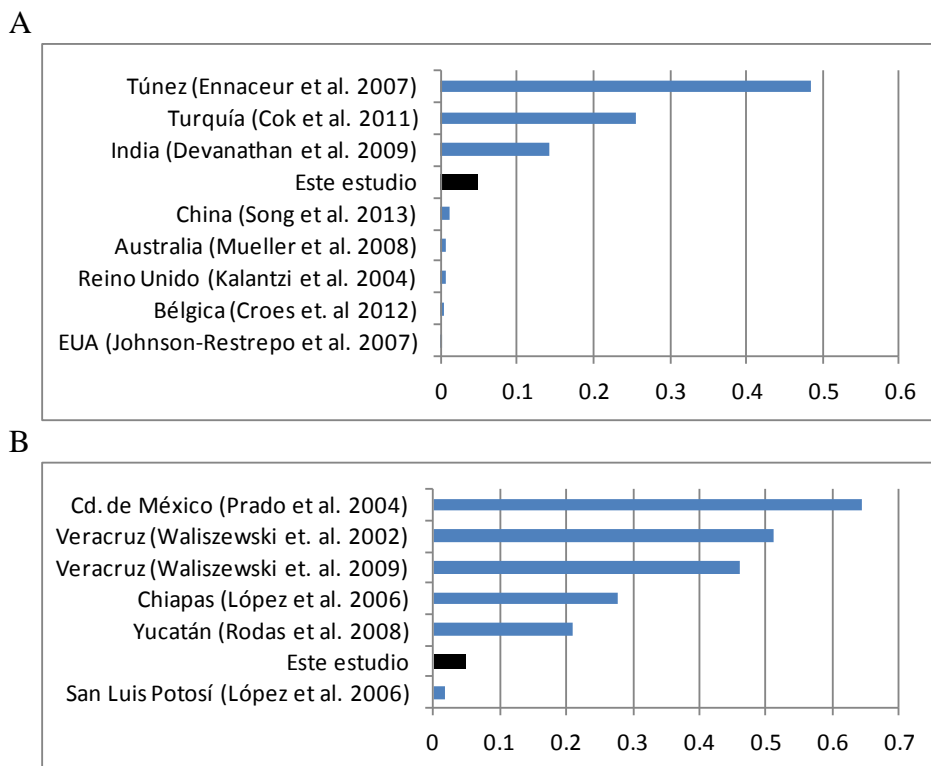


Figura 16. Comparación de los niveles de *pp'*DDT (mg/kg en base lipídica) en algunos países (A) y estados mexicanos (B) con los resultados obtenidos en Guerrero

En lo que se refiere al metabolito *pp'*DDE, las participantes tuvieron concentraciones más altas (Mediana: 0.760 mg/kg) que las encontradas en Colombia⁹⁰ (0.126 mg/kg) y en Massachusetts, EE. UU.¹⁰² (0.035 mg/kg). También, en un estudio realizado en áreas urbanas y sub-urbanas de la Ciudad de México (Prado y colaboradores),⁷⁷ los valores medios fueron similares (0.855 mg/kg) que los obtenidos en Guerrero (0.893 mg/kg) (Figura 17).

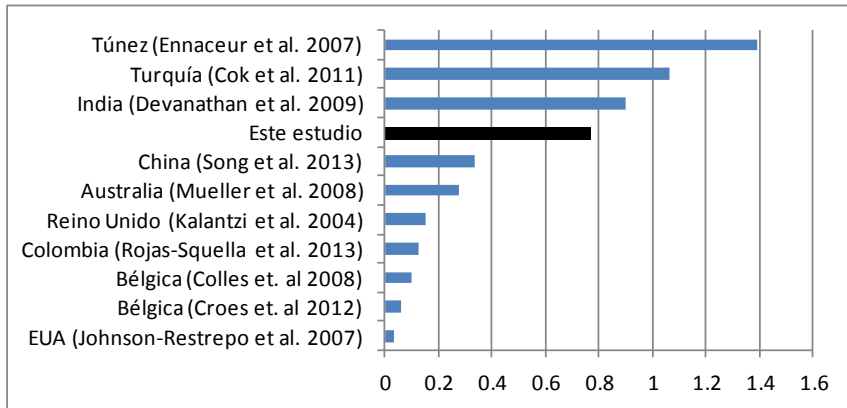
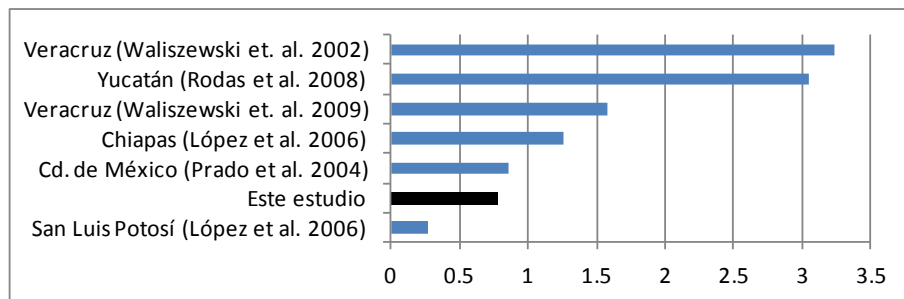
A**B**

Figura 17. Comparación de los niveles de *pp'*DDE (mg/kg en base lipídica) en algunos países (A) y estados mexicanos (B) con los resultados obtenidos en Guerrero

Los resultados antes expuestos fueron publicados en el año 2014 como un artículo original en el *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, el cual puede consultarse en el anexo 5.

6.8 Relación entre los niveles de plaguicidas organoclorados y la edad

De acuerdo a los valores del coeficiente de correlación de Pearson, se observó una ligera influencia de la edad de las participantes sobre la concentración de β -HCH, *pp'*DDE, *op'*DDT y *pp'*DDT (Cuadro 7). Sólo en el caso del HCB hubo una moderada relación ($r=0.382$), cuyas concentraciones se incrementaron conforme aumentó la edad (Figura 18).

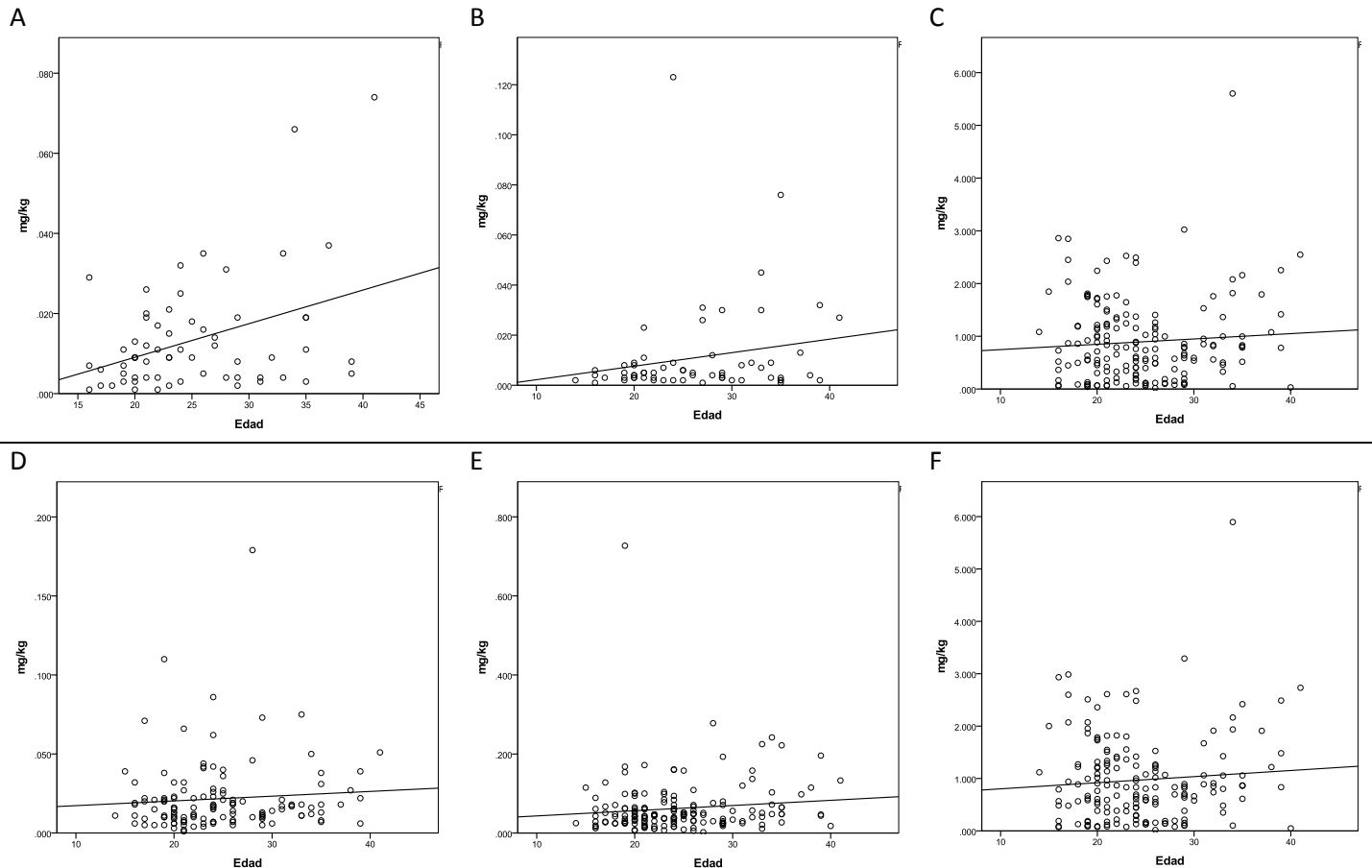


Figura 18. Tendencia de los niveles de HCB (A), β -HCH (B), *pp'*DDE (C), *op'*DDT (D), *pp'*DDT (E) y Σ -DDT (F) con respecto a la edad

También las participantes fueron divididas en cuatro grupos de edad (<20, 21-23, 24-28 y >29 años), basados en la idea que las personas de mayor edad tendrían concentraciones más altas causadas por un mayor tiempo de exposición. Esta hipótesis fue comprobada de acuerdo a los resultados del análisis de comparación, que mostró que las medianas de HCB, *pp'*DDE y *pp'*DDT fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) entre algunos grupos de edad: <20/24-28 años para HCB; 21-23/24-28 y 24-28/>29 años para *pp'*DDE; y 21-23/>29 años para *pp'*DDT. Los grupos de edad más jóvenes tuvieron niveles disminuidos de estos compuestos, con excepción de los grupos de 21-23/24-28 años, que presentaron 0.913 y 0.530 mg/kg de *pp'*DDE, respectivamente (Cuadro 7). A causa de la predominancia del *pp'*DDE, los valores del Σ -DDT también se incrementaron significativamente ($p < 0.05$) en el grupo de >29 años (0.862 mg/kg) comparados con el grupo de 24-28 años (0.613 mg/kg), pero disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) en el grupo de 24-28 años (0.613 mg/kg) comparados con el

grupo de 21-23 años (0.966 mg/kg). Hubo un aumento en las concentraciones de β -HCH en los grupos de edad, pero dicho aumento no fue estadísticamente significativo ($p < 0.05$). La relación $pp'DDE/pp'DDT$ fue alta en todos los grupos de edad, indicando una exposición antigua (Cuadro 7).

Cuadro 7. Mediana de las concentraciones de plaguicidas (mg/kg en base lipídica) entre los grupos de edad (años) y análisis de correlación

	<20	21-23	24-28	>29	r
HCB	0.006*	0.011	0.014*	0.009	0.382**
β-HCH	0.004	0.005	0.006	0.005	0.190
<i>pp'</i>DDT	0.043	0.039*	0.047	0.048*	0.110
<i>op'</i>DDT	0.015	0.010	0.019	0.016	0.081
<i>pp'</i>DDE	0.859	0.913*	0.530*	0.807*	0.076
Σ-DDT	0.888	0.966*	0.613*	0.862*	0.083
Σ-Plaguicidas	1.049	1.033	0.753	1.192	-
<i>pp'</i>DDE/ <i>pp'</i>DDT	19.9	23.4	11.3	16.8	-

* $p < 0.05$ de la prueba de Kruskal-Wallis ** $p < 0.05$ de análisis de correlación

En estudios similares como el de Ennaceur y colaboradores en el 2008,¹⁰⁴ se encontró que los grupos de edades de <20 y 21-25 años tuvieron también concentraciones disminuidas de DDT total, HCH total y HCB comparados con mujeres agrupadas entre 26-30 y >30 años ($p < 0.05$), a causa de que a mayor edad la exposición se ve aumentada y con ello, los niveles de plaguicidas en la leche. También en este sentido, Waliszewski y colaboradores reportaron una tendencia al aumento en las concentraciones de DDT total entre mujeres que se agruparon en <21, 21-30, 31-40 y >40 años, ya que presentaron niveles de 2.97, 3.60, 4.29 y 4.60 mg/kg-lípidos, respectivamente.⁷⁵ Por último, Zietz y colaboradores reportaron comportamientos similares entre grupos etarios de mujeres nacidas en Alemania, en los que las concentraciones de DDT total, β -HCH y HCB inicialmente fueron bajas en el primer subgrupo de menos de 24 años (0.06, 0.01 y 0.02 mg/kg, respectivamente) hasta llegar a incrementos importantes de

DDT= 0.18, β -HCH= 0.03 y HCB= 0.05 mg/kg-lípidos en el subgrupo de mayor edad, que fue de mujeres con 38 años o más.⁹⁷

Debido a que el uso del insecticida DDT ha sido prohibido en México desde 1999,^{1,7} los valores de *op'*DDT permanecen estables en la población sin cambios significativos entre los grupos de edad. Se espera que en unos pocos años este isómero no sea detectable en muestras de habitantes del estado de Guerrero, por lo que se abre una perspectiva de investigación a futuro. Basados en los resultados, la edad tiene una influencia en la concentración de los plaguicidas organoclorados.

La suma de todos los plaguicidas fue de 0.753 mg/kg en el grupo de mujeres de 24-28 años, mientras que en el grupo de más de 29 años se obtuvieron los valores más altos de la población, con 1.192 mg/kg; los grupos de menor edad tuvieron valores muy parecidos entre sí (<20 años= 1.049 y 21-23 años= 1.033 mg/kg).

La proporción relativa de los plaguicidas mostró algunas particularidades, pues los grupos de menor edad tuvieron porcentajes de HCB y β -HCH de 1.4% o menos (0.4% en el caso del β -HCH de las personas que tenían menos de 20 años), lo cual refleja una exposición reducida a causa de la corta edad que posee este grupo y porque estos compuestos fueron prohibidos hace muchos años, con lo que se disminuye la posibilidad de su ingreso al organismo y acumulación (Figura 19). En el grupo de mujeres de 24-28 años se observó el menor porcentaje de *pp'*DDE de todos los grupos, con un 84%, y el mayor valor de *pp'*DDT con 7.7%, lo cual podría entenderse que en algunos años estos individuos podrían alcanzar cifras mayores de *pp'*DDE y, por consiguiente, disminuir los del *pp'*DDT como resultado del metabolismo de este último compuesto.

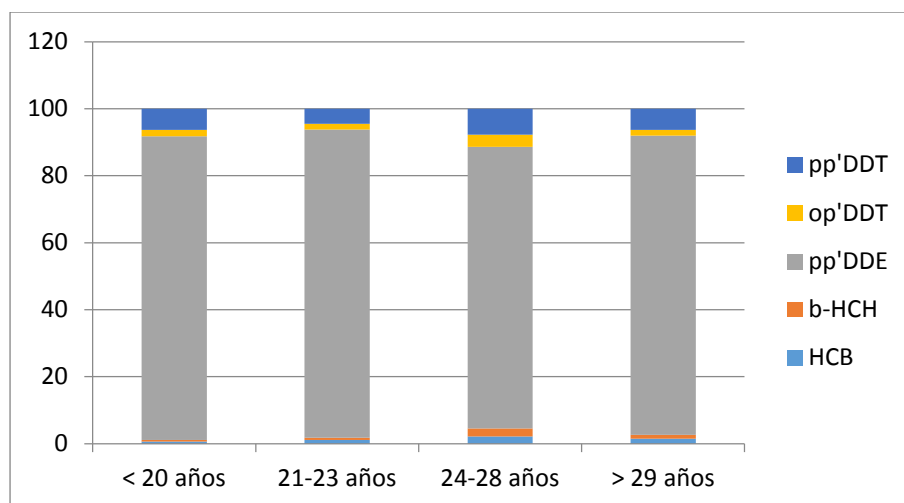


Figura 19. Proporción relativa (%) de los plaguicidas entre los grupos de edad

6.9 Concentración de plaguicidas organoclorados en las diferentes regiones de Guerrero

Se observó una gran variabilidad de las concentraciones de plaguicidas organoclorados entre las distintas regiones del estado de Guerrero, las diferencias fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en los plaguicidas *pp'*DDE, *op'*DDT, *pp'*DDT y Σ -DDT (Cuadro 8 y Figura 20).

Cuadro 8. Concentración de plaguicidas organoclorados (mg/kg en base lipídica); medianas para cada región económica de Guerrero

	Tierra Caliente	Norte	Centro	Montaña	Costa Grande	Costa Chica	Acapulco	p^*
HCB	0.002	0.015	0.009	0.007	0.001	0.009	0.010	0.520
β-HCH	0.002	0.007	0.005	0.004	0.018	0.005	0.004	0.605
<i>pp'</i>DDE	1.008	0.712	0.541	0.751	0.453	0.885	0.783	0.039
<i>op'</i>DDT	0.027	0.017	0.010	0.021	0.018	0.016	0.010	0.000
<i>pp'</i>DDT	0.063	0.048	0.026	0.049	0.043	0.060	0.048	0.001
Σ-DDT	1.087	0.850	0.582	0.800	0.526	0.959	0.847	0.023
Σ-Plaguicidas	1.194	0.906	0.629	1.248	0.830	1.279	0.983	-
<i>pp'</i>DDE/ <i>pp'</i>DDT	16.0	14.8	20.8	15.3	10.5	14.7	16.3	-

* Prueba de Kruskal-Wallis

En Tierra Caliente se registraron los niveles más altos de los insecticidas *pp*'DDE, *op*'DDT y *pp*'DDT, con 1.008, 0.027 y 0.063, respectivamente, mientras que la región Centro obtuvo los valores más bajos de *op*'DDT (0.010 mg/kg) y *pp*'DDT (0.026 mg/kg). La Costa Grande presentó niveles de *pp*'DDE de 0.453 mg/kg, los cuales fueron los menores de todo el Estado, mientras que las habitantes de la Costa Chica tuvieron los niveles más altos de este metabolito (0.885 mg/kg), sólo un poco menos que las concentraciones obtenidas en Tierra caliente (1.008 mg/kg). En la Montaña, el isómero *op*'DDT mostró cifras incrementadas (0.021 mg/kg), sólo por debajo de lo que registró Tierra Caliente (0.027 mg/kg). El principal isómero del plaguicida DDT, el *pp*'DDT, presentó en Costa Chica valores aumentados (0.060 mg/kg) que son similares a los que tuvo Tierra Caliente (0.063 mg/kg) (Cuadro 8 y Figura 20). En el análisis de comparación de las concentraciones de estos compuestos entre las regiones (Kruskal-Wallis), se obtuvieron valores de *p* menores a 0.05 que indica que las diferencias encontradas fueron significativas desde el punto de vista estadístico.

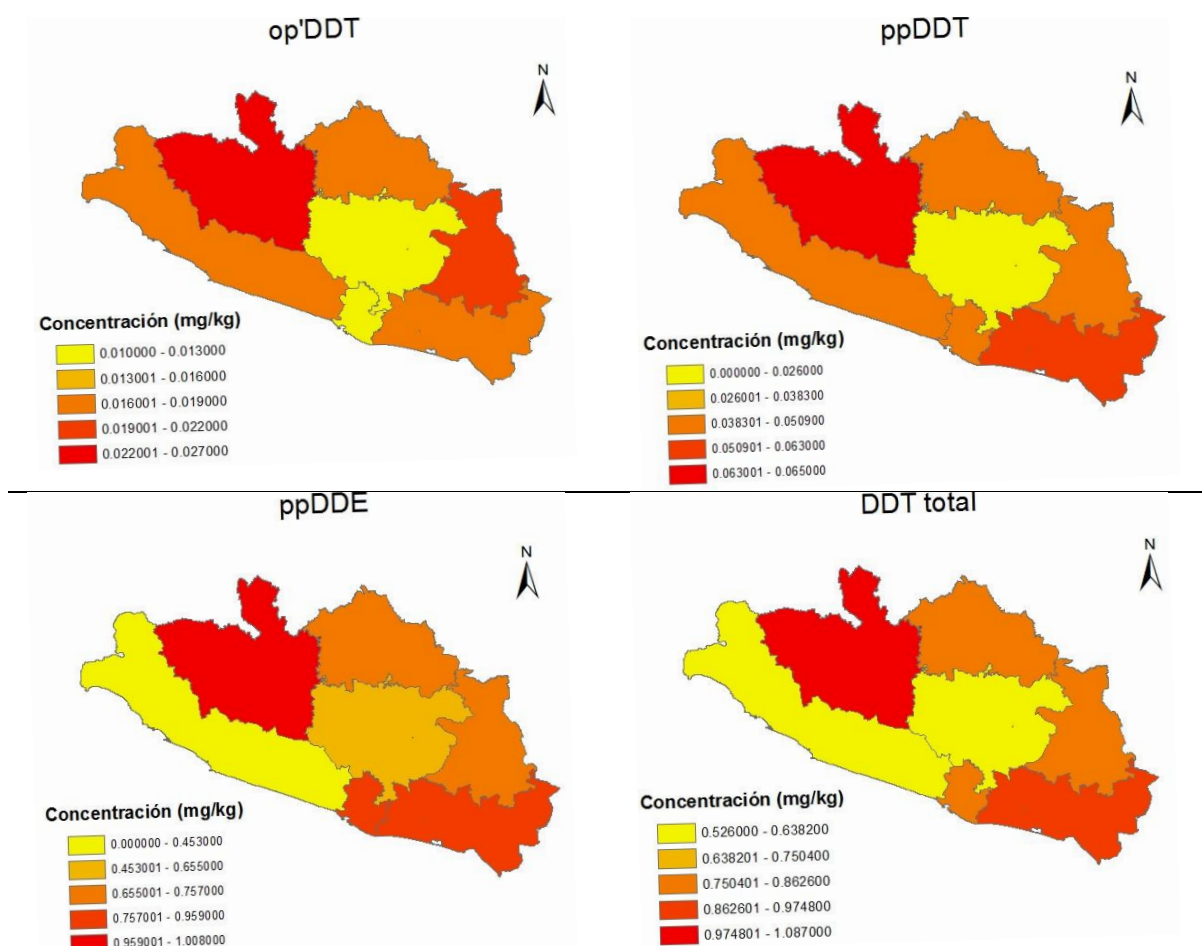


Figura 20. Distribución espacial de los isómeros del DDT en leche materna en Guerrero

Las concentraciones de HCB fueron bajas en la Costa Grande (0.001 mg/kg) y Tierra Caliente (0.002 mg/kg), en tanto que la presencia más importante de este insecticida en Guerrero fue observada en la región Norte con 0.015 mg/kg. El rango de valores β -HCH abarcó desde 0.002 mg/kg (Tierra Caliente) hasta 0.018 mg/kg en la Costa Grande. En ambos casos, tanto el HCB como el isómero β -HCH mostraron diferencias en las concentraciones de las regiones que no fueron significativas al aplicar las pruebas de comparación de medianas ($p > 0.05$) (Cuadro 8 y Figura 21).

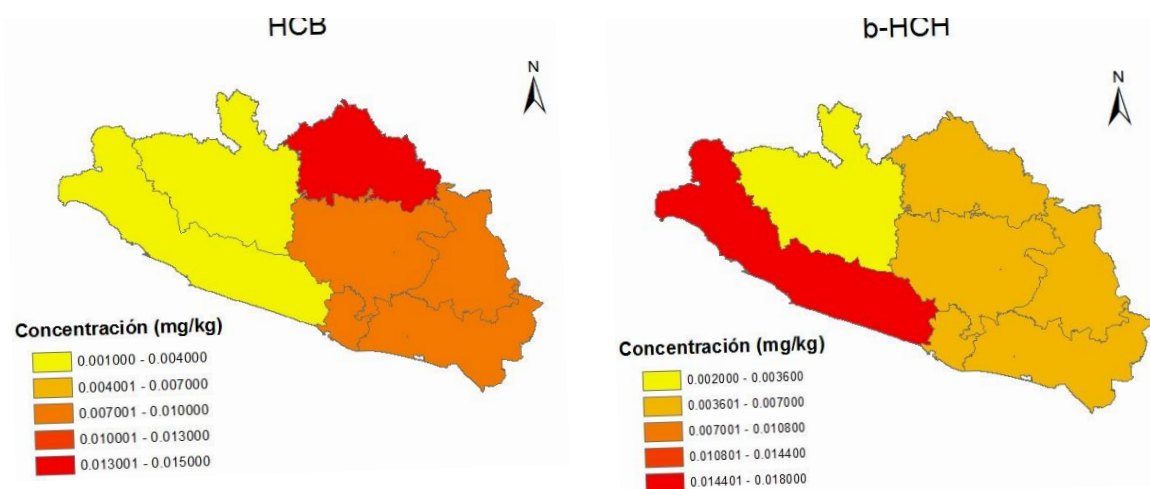


Figura 21. Distribución espacial de HCB y β -HCH en leche materna en Guerrero

Los datos antes mencionados revelan la magnitud de la contaminación ambiental a causa de plaguicidas organoclorados y proporcionan una base fundamental en torno a las posibles implicaciones relacionadas con la salud de quienes habitan en las diferentes regiones, dado que, una vez que se conocen los grados de afectación existentes puede indagarse su papel en el desarrollo de las enfermedades presentes en la población. También esta información es de utilidad para que las instituciones encargadas del cuidado del ambiente puedan planear y ejecutar acciones de intervención en las zonas contaminadas, como puede ser la biorremediación que contribuiría a disminuir y/o eliminar las posibilidades de que los habitantes continúen siendo expuestos a tal o cual plaguicida, disminuyendo así su presencia en el organismo y reduciendo las cantidades que se transmiten a los productos en gestación.

La suma de los promedios de los plaguicidas muestra que la región menos contaminada del estado de Guerrero fue la Centro, con 0.629 mg/kg. Las regiones Norte, Costa Grande y Acapulco tuvieron cantidades similares entre sí, con 0.906, 0.830 y 0.983 mg/kg,

respectivamente. Tierra caliente, Montaña y Costa chica presentaron sumas de plaguicidas organoclorados superiores a las regiones antes mencionadas, ya que tuvieron valores de 1.194, 1.248 y 1.279, respectivamente (Cuadro 8). Las proporciones relativas de cada plaguicida en las regiones fueron variables pero existieron algunos datos que deben ser resaltados, como el caso de la región Tierra Caliente que tuvo porcentajes demasiado bajos de HCB y β -HCH, y por el contrario, el *pp'*DDE fue el compuesto que predominó entre las habitantes de esta región. También, en el caso de la Costa Chica, el *pp'*DDT fue el segundo plaguicida de importancia en esta región con casi un 8% del total (Figura 22).

Este es el primer estudio que se realiza en Guerrero sobre la determinación de plaguicidas organoclorados en leche humana y por consiguiente no se tienen puntos de comparación que nos permitan hacer una discusión en torno a lo que se ha encontrado con anterioridad, la tendencia de los niveles de contaminación en el tiempo, el análisis regional ni los segmentos de la población que se han analizado en este trabajo. Por lo anterior, este trabajo se torna por demás importante para tener una guía de referencia que se enfoca en las concentraciones de plaguicidas desde los diferentes estratos de la población que permitirá la planeación de investigaciones futuras.

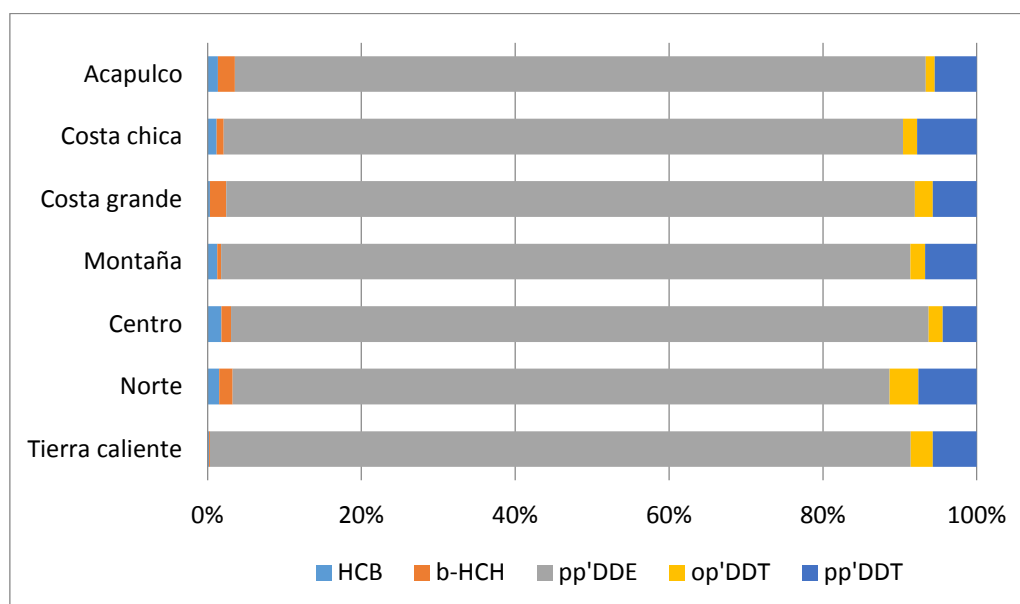


Figura 22. Proporción relativa (%) de los plaguicidas entre las regiones.

6.10 Plaguicidas organoclorados en zonas rurales y urbanas

En la comparación de los niveles de plaguicidas organoclorados en leche de mujeres provenientes tanto de localidades urbanas como rurales, se obtuvieron valores, expresados en mg/kg de lípidos, prácticamente iguales en los casos del β -HCH (Urbana: 0.005; Rural: 0.004), *op'*DDT (Urbana: 0.015; Rural: 0.017) y *pp'*DDT (Urbana: 0.045; Rural: 0.049). Existieron diferencia mayores en el metabolito *pp'*DDE, ya que las donadoras que viven en localidades urbanas presentaron una mediana de 0.747 mg/kg y las que habitan en zonas rurales tuvieron valores superiores (1.008 mg/kg); no obstante, la diferencia entre ambas medianas no fue significativa ($p > 0.05$) (Figura 23). La misma situación fue observada en el Σ -DDT, debido a que en las localidades urbanas se obtuvieron valores de 0.826 mg/kg y en las rurales la mediana de las concentraciones fue de 1.079 mg/kg; a pesar de esta diferencia el valor de p fue > 0.05 . El caso contrario se presentó en el HCB, cuya mediana fue de 0.009 mg/kg en localidades urbanas y de 0.015 mg/kg en localidades rurales; la diferencia fue significativa en virtud de que el valor de p fue menor a 0.05 (Figura 23). Los datos presentados indican que las habitantes de las zonas rurales tienen un grado mayor de exposición a los plaguicidas estudiados que las mujeres que habitan en las localidades de tipo urbanas, lo cual se explica por el hecho de que la aplicación de plaguicidas fue más intensa como consecuencia de las actividades agrícolas llevadas a cabo en estas zonas. En concordancia con los datos y conclusiones antes mencionados, los valores totales de plaguicidas, resultantes de la suma de los promedios de cada uno de estos compuestos, fueron superiores en las habitantes de zonas rurales (1.312 mg/kg) que las de zonas urbanas (0.899 mg/kg), lo que es un reflejo de la contaminación ambiental por estas sustancias presente en estos lugares.

Los hallazgos mostrados tienen una implicación por demás preocupante, debido a que en Guerrero existe una alta proporción de su territorio con zonas netamente rurales (menores de 2500 habitantes y carentes de servicios públicos en su mayoría) y, por lo tanto, la población que las habita representa un número importante. De acuerdo con los datos del Censo de Población y Vivienda del INEGI realizado en 2010,⁸³ el 41.8% de la población total vive en zonas rurales, es decir, 1'416,505 habitantes, lo que significa que un amplio sector de la población guerrerense, casi la mitad, reside en sitios que favorecen el contacto con contaminantes ambientales como lo son los plaguicidas organoclorados, lo que se ve reflejado

en las concentraciones que presentan las mujeres habitantes de zonas rurales que forman parte de este estudio.

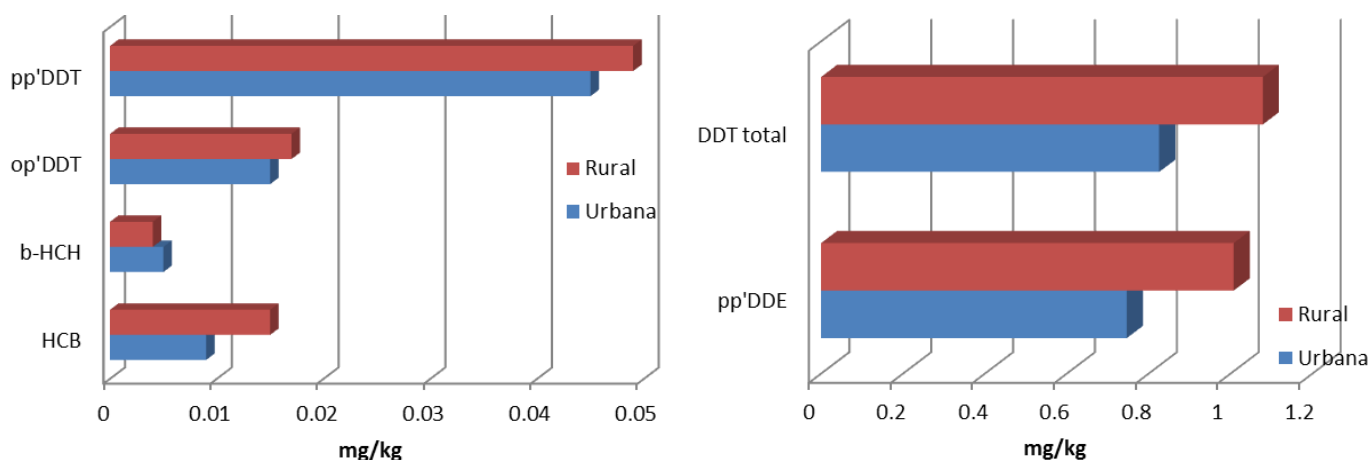


Figura 23. Concentraciones de plaguicidas en distintas localidades

Estos resultados son consistentes con los reportados por Waliszewski y colaboradores,⁵¹ que encontraron en leche de madres de zonas suburbanas de Veracruz, México, concentraciones mayores de Σ -HCH (0.806 mg/kg), *pp'*DDE (8.253 mg/kg) y *pp'*DDT (2.460 mg/kg) que las de zonas urbanas (Σ -HCH= 0.387, *pp'*DDE= 2.709 y *pp'*DDT= 0.422 mg/kg). En un estudio realizado por Prado y colaboradores en la Ciudad de México, se obtuvieron valores similares de γ -HCH en zonas rurales (0.300 mg/kg) como urbanas (0.260 mg/kg).⁷⁷ Además, existió como una disminución de la suma de α y β -HCH en sitios rurales (0.570 mg/kg) respecto a los urbanos (1.070 mg/kg). En Bélgica, Colles y colaboradores⁹⁴ no observaron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de plaguicidas al analizar muestras de leche de habitantes con un considerable componente rural (Valonia) y localidades netamente urbanas como Flandes y Bruselas, ya que la primera localidad presentó niveles de HCB= 0.017 mg/kg y *pp'*DDE= 0.085 mg/kg, mientras que en Flandes el HCB fue de 0.016 mg/kg y el *pp'*DDE de 0.118 mg/kg, y, por último, en Bruselas hubo concentraciones parecidas de estos compuestos (HCB= 0.017 y *pp'*DDE= 0.090 mg/kg). Por último, en Túnez las concentraciones de DDT total de mujeres de zonas rurales tuvieron valores incrementados (59 ng/g) en comparación con las que habitan en zonas urbanas (18 ng/g).¹⁰⁴

Finalmente, las proporciones relativas de estos compuestos orgánicos persistentes en las habitantes de ambas zonas mostraron patrones de distribución muy parecidos o prácticamente idénticos, con una predominancia del *pp'*DDE y un reducido porcentaje del *pp'*DDT (Figura 24). Los demás compuestos tuvieron algunas diferencias pero éstas fueron mínimas.

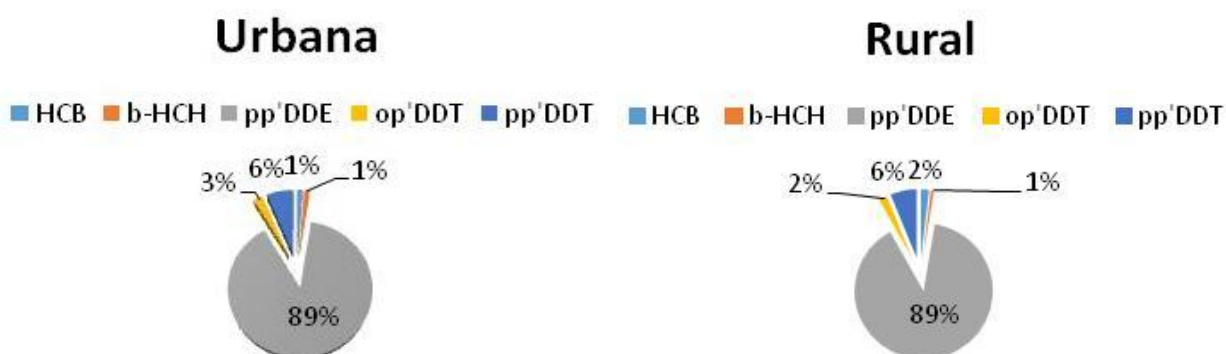


Figura 24. Proporción relativa del impacto de los plaguicidas en el área urbana y rural del estado de Guerrero.

6.11 Relación entre concentración de plaguicidas organoclorados y el número de partos

Las participantes en el estudio fueron divididas de acuerdo al número de partos para determinar la influencia de esta variable sobre la concentración de plaguicidas en la leche. Se planteó la hipótesis de que en la medida que las mujeres hayan tenido más partos sus niveles de plaguicidas disminuirían a causa del paso de dichos contaminantes a través del cordón umbilical hacia producto durante el embarazo. Este comportamiento no fue observado en los plaguicidas HCB y β -HCH ya que presentaron un ligero aumento en la concentración, aunque esto no fue significativo ($p > 0.05$) (Figura 25). Además, el *op'*DDT y *pp'*DDT tuvieron concentraciones que no mostraron tendencia ni cambios importantes entre los distintos grupos ($p > 0.05$).

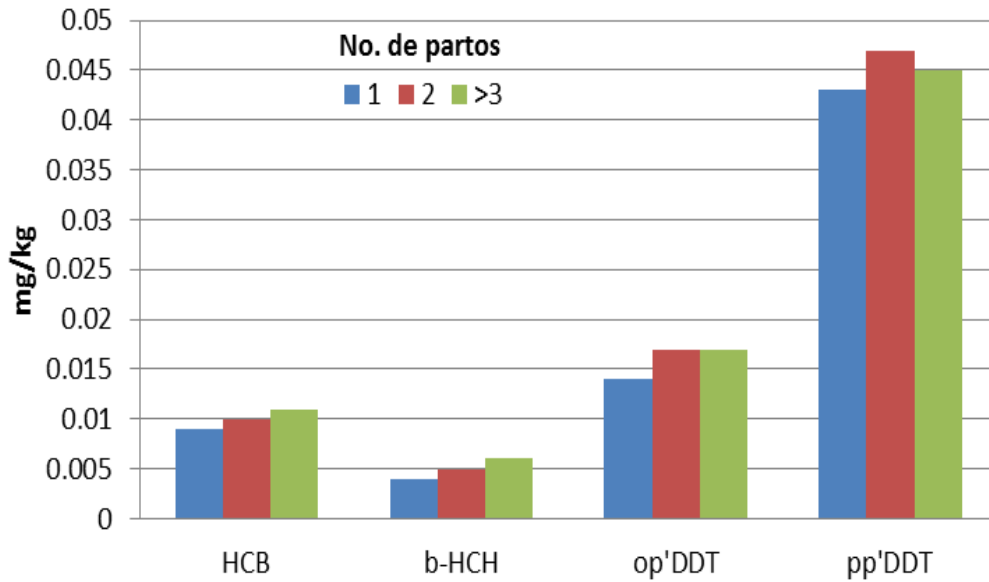


Figura 25. Concentraciones de plaguicidas de acuerdo al número de partos

Solamente el *pp'*DDE cumplió con la condición establecida en la hipótesis de trabajo, ya que los valores en el grupo de mujeres con 1 parto fueron superiores (0.868 mg/kg) y disminuyeron progresivamente en los otros grupos hasta concluir con 0.631 mg/kg en las mujeres con 3 o más partos; en general, la tendencia fue a disminuir 0.115 mg/kg por cada parto que se tuvo. Esto se vio reflejado en el Σ -DDT como consecuencia de que el *pp'*DDE es el compuesto que se encuentra en la mayor proporción de los demás insecticidas que conforman este parámetro; los niveles de Σ -DDT disminuyeron a partir de las mujeres con 1 parto hasta las de 3 o más partos a una razón de 0.100 mg/kg por cada parto experimentado (Figura 26).

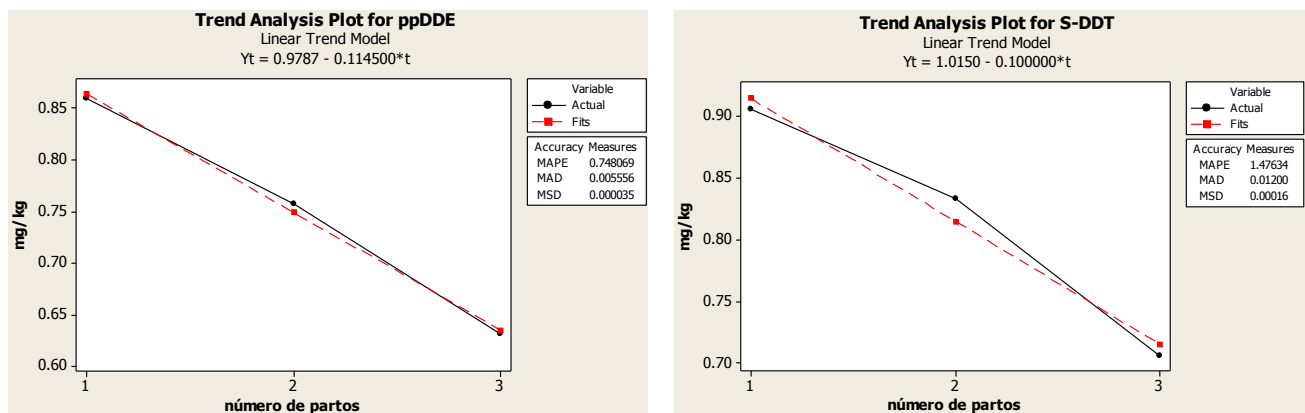


Figura 26. Tendencia en las concentraciones de *pp'*DDE y Σ -DDT y el número de partos

Una situación similar ocurrió en un estudio realizado por Zietz y colaboradores en una población alemana,⁹⁷ en el cual existió un decremento en las concentraciones de DDT total, β -HCH y HCB conforme aumentó el número de partos de las mujeres participantes. En Veracruz, México, Waliszewski y colaboradores⁵¹ también observaron una disminución gradual de β -HCH (1 parto= 0.640, 2 partos= 0.551 y 3 partos= 0.445 mg/kg), *pp'*DDE (1 parto= 7.166, 2 partos= 3.639 y 3 partos= 0.2821 mg/kg, $p < 0.0001$) y *pp'*DDT (1 parto= 1.909, 2 partos= 0.731 y 3 partos= 0.732 mg/kg). En otros estudios, se realizaron comparaciones de los plaguicidas encontrados en madres primíparas (un parto) y multíparas (más de dos partos); a este respecto, Cok y colaboradores⁹⁸ no encontraron diferencias estadísticamente significativas cuando analizaron plaguicidas en mujeres primíparas (*pp'*DDE= 1.120, *pp'*DDT= 0.240, HCB= 0.030 y Σ -HCH 0.160 mg/kg) y multíparas (*pp'*DDE= 0.990, *pp'*DDT= 0.280, HCB= 0.050 y Σ -HCH 0.150 mg/kg). Azeredo y colaboradores⁹³ obtuvieron medias geométricas de *pp'*DDE= 0.699 y *pp'*DDT= 0.085 mg/kg en mujeres con un solo parto, mientras que los valores de estos plaguicidas fueron menores en mujeres multíparas (*pp'*DDE= 0.238 y *pp'*DDT= 0.052 mg/kg). En otro trabajo, Dewailly y colaboradores encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la media geométrica del metabolito DDE en mujeres primíparas (0.330 mg/kg) y multíparas (0.250 mg/kg) en Quebec, Canada.¹⁰⁵

6.12 Efecto de la lactancia en los niveles de plaguicidas organoclorados

Debido a que la leche es una de las principales rutas de excreción de plaguicidas en las mujeres, se espera que la concentración de estos compuestos disminuya conforme transcurra el tiempo de lactación. Para probar este supuesto, se realizó un análisis de correlación y gráficas de dispersión, que muestran una disminución de la concentración conforme aumentan los días de lactancia; no obstante, esta correlación fue débil en la mayoría de los compuestos, con excepción del *pp'*DDE y Σ -DDT que tuvieron valores de r de -0.216 y -0.222, respectivamente ($p < 0.01$) (Figura 27).

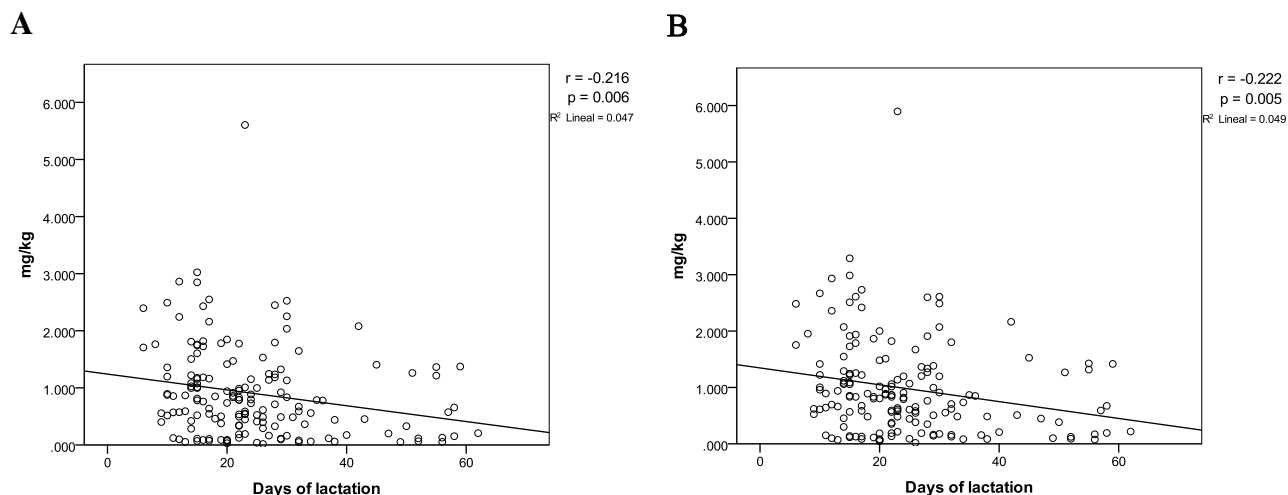


Figura 27. Niveles de *pp'*DDE (A) y Σ -DDT (B) vs días de lactancia

Además, las mujeres fueron divididas en grupos de acuerdo a la semana en la que se hayan encontrado al momento de realizar la recolección de la muestra. De esta manera se formaron grupos de mujeres que contaban desde una a cinco semanas de lactancia. En el análisis de comparación, se encontró que no hubo cambios importantes tanto en el HCB como el isómero β -HCH, esto se debe a que sus concentraciones fueron las más bajas de todos los compuestos, por lo cual no mostraron una tendencia claramente definida y permanecieron estables entre los grupos. El isómero *op'*DDT sí presentó una disminución en sus valores, pues de 0.019 mg/kg que obtuvieron las mujeres de una semana de lactancia, pasó a 0.012 mg/kg en los grupos con cinco semanas; sin embargo, las diferencias en las medianas no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$) (Figura 28).

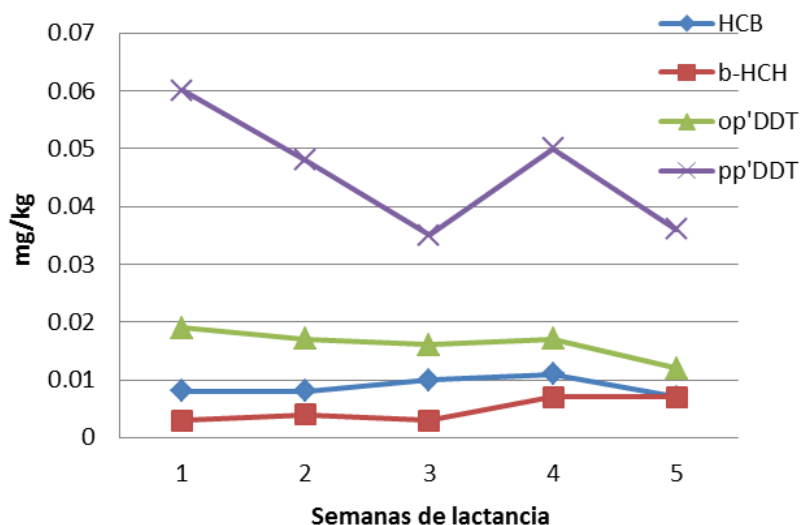


Figura 28. Concentraciones de plaguicidas respecto a las semanas de lactancia

La comprobación de la hipótesis planteada se logró efectivamente en las concentraciones del metabolito *pp'*DDE, del *pp'*DDT y, como consecuencia, del Σ -DDT. Los niveles de estos compuestos disminuyeron progresivamente y de manera significativa ($p < 0.05$) a través de las semanas de lactancia; el *pp'*DDT presentó una tendencia a la baja entre la semana 1 (0.060 mg/kg) a 3 (0.035 mg/kg), en la 4 tuvo un incremento (0.050 mg/kg) y finalizó en la semana 5 con 0.036 mg/kg (Figura 28). El *pp'*DDE mostró una marcada disminución con los siguientes valores ordenados de la primera a la quinta semana de lactancia: 1.197, 0.997, 0.729, 0.613 y 0.447 mg/kg. En un análisis de regresión lineal se desprende que la disminución de la concentración de este metabolito en la leche fue de 0.188 mg/kg en cada semana transcurrida (Figura 29).

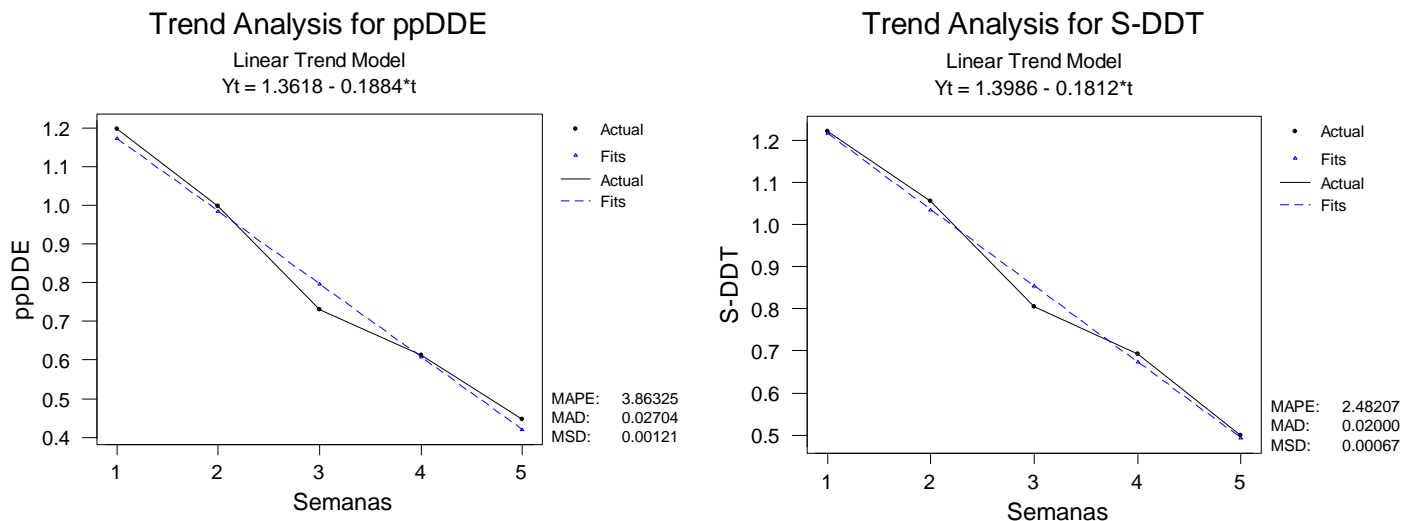


Figura 29. Tendencia en el tiempo de la concentración de *pp*'DDE y Σ -DDT

El Σ -DDT también presentó una tendencia similar en la depuración en el tiempo, ya que obtuvo los siguientes resultados: 1.222, 1.057, 0.805, 0.693 y 0.498 mg/kg; la disminución progresiva semanal obtenida en el estudio de regresión fue de 0.181 mg/kg (Figura 29). En estos plaguicidas puede afirmarse que las semanas de lactancia tienen una influencia sobre las concentraciones presentes en la leche de las donadoras.

La variación en los niveles de plaguicidas organoclorados según el tiempo de lactancia también ha sido demostrada por Ennaceur y colaboradores en 2013,¹⁰⁶ quienes analizaron *pp*'DDE, *pp*'DDT, HCB, HCH y dieldrin durante 10 meses en mujeres de Túnez en los que existe una disminución gradual de las concentraciones de *pp*'DDE y *pp*'DDT, mientras que en los demás compuestos sólo sucedieron ligeras variaciones con tendencia a la baja. Waliszewski y colaboradores estudiaron dichas variaciones pero en un periodo de tiempo más corto, de 4 a 30 días de haber iniciado la lactancia, e igualmente encontraron una disminución de los valores de β -HCH, *pp*'DDE y *pp*'DDT.⁶⁷ Si bien es cierto que el análisis realizado en el presente trabajo difiere metodológicamente con respecto a los estudios citados anteriormente, pero se considera que esta propuesta planteada es una aproximación objetiva para conocer el papel que tiene el tiempo de lactancia sobre los niveles de plaguicidas organoclorados en el organismo; también tiene que mencionarse que en un monitoreo de la población como el presentado aquí, la agrupación de donadoras de acuerdo con las semanas de lactancia en las cuales cursaban, es de las únicas alternativas existentes para realizar esta evaluación. Por lo

anterior, los resultados producidos deben ser tomados en cuenta como una aportación de este trabajo para el conocimiento de uno de los factores que influyen sobre la presencia de los contaminantes en la leche humana.

6.13 Efectos de los hábitos alimenticios sobre los niveles de plaguicidas

Este trabajo también tuvo la finalidad de establecer relaciones entre los hábitos de consumo de distintos alimentos con las concentraciones de plaguicidas encontrados en la población de estudio.

6.13.1 Consumo de pescado

Los niveles de *op'*DDT así como de β -HCH y HCB fueron mayores en el subgrupo de donadoras que afirmaron no tener incluido al pescado en su dieta (0.024, 0.010 y 0.011 mg/kg, respectivamente) con respecto a las que lo consumen una vez por semana (0.018, 0.005 y 0.008, respectivamente) y dos o más veces a la semana (0.012, 0.004 y 0.007, respectivamente), por lo que esta variable no juega un papel en la acumulación de estos compuestos en particular. Por el contrario, el metabolito *pp'*DDE presentó mayores concentraciones en las mujeres que consumen pescado una vez a la semana (0.871 mg/kg) y 2 o más veces por semana (0.859 mg/kg) que las que no lo consumen en absoluto (0.579 mg/kg) (Figura 30); de la misma manera, hubo una situación similar en el Σ -DDT (No consumen: 0.674, Consume 1 vez por semana: 0.899 y Consume 2 o más veces por semana: 0.915 mg/kg).

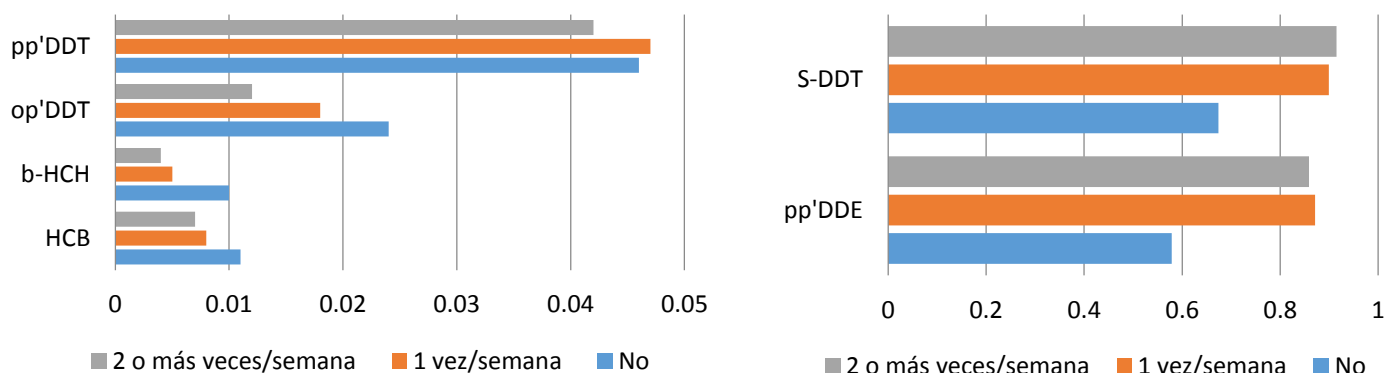


Figura 30. Relación entre el consumo de pescado y plaguicidas organoclorados (mg/kg)

No obstante que en el análisis de Kruskal-Wallis las diferencias mencionadas de las concentraciones de plaguicidas entre los subgrupos comparados no fueron estadísticamente significativas ($p>0.05$), estos resultados sugieren que la ingesta de este alimento puede constituir la vía de entrada de *pp'*DDE al humano.

6.13.1.1 Consumo de pescado de distintos ambientes acuáticos

Estudios realizados en peces de diversas especies marinas señalan procesos de bioacumulación y biomagnificación de los contaminantes en estos animales, teniendo concentraciones de Σ -DDT de 0.924 mg/kg.³² En otras especies, Kwok y colaboradores¹⁰⁷ encontraron valores de *pp'*DDE de 2.500 mg/kg en tilapia (*Oreochromis mossambicus*), carpín (*Carasiuss carasiuss*: 1.000 mg/kg), carpa de fango (*Cirrhinus molitorella*: 1.900 mg/kg) y sábalo (*Megalops cyprinoids*: 5.400 mg/kg), los cuales son habitantes de sistemas lagunares. En cuanto a la clase de pescado que consumen habitualmente las participantes de estudio, las que consumen organismos provenientes de lagunas presentaron niveles ligeramente más altos de *op'*DDT (Mar: 0.015 y Laguna: 0.016 mg/kg) y *pp'*DDT (Mar: 0.042 y Laguna: 0.043 mg/kg) que aquellas consumidoras de especies marinas. Diferencias más amplias se observaron en las concentraciones de *pp'*DDE (Mar: 0.760 y Laguna: 0.886 mg/kg) y Σ -DDT (Mar: 0.833 y Laguna: 0.927 mg/kg). Por el contrario, las concentraciones de HCB (Mar: 0.008 y Laguna: 0.007 mg/kg) y β -HCH (Mar: 0.005 y Laguna: 0.004 mg/kg) fueron mayores en consumidores de especies marinas que lagunares, aunque las diferencias fueron escasas (Figura 31).

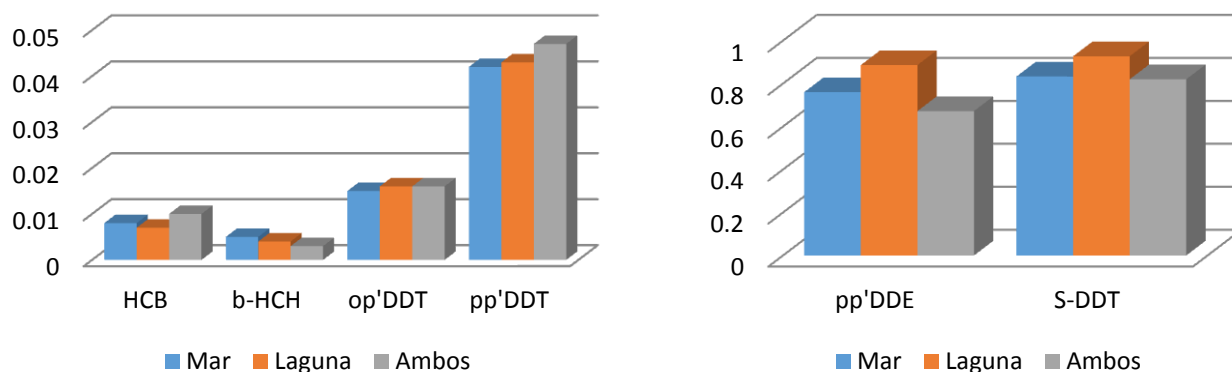


Figura 31. Relación entre la clase de pescado consumido y plaguicidas (mg/kg)

Las lagunas son contaminadas por las actividades agrícolas que se llevan a cabo en el medio circundante, siendo los compuestos transportados hasta estos sistemas por las escorrentías y/o los vientos, en donde la acumulación de los plaguicidas puede darse de manera más efectiva que en los mares, afectando a los elementos bióticos presentes. Por lo anterior, y a la luz de los resultados descritos, es posible que el consumo de pescados de laguna sea una fuente de contaminación para el humano.

6.13.2 Consumo de productos cárnicos

El nivel de ingesta de carne de pollo, res, cerdo, embutidos entre otros fue estratificado como bajo, moderado y alto para calcular los compuestos organoclorados de acuerdo con esta categoría. Las concentraciones fueron mayores en las mujeres con consumo moderado (*pp'*DDE: 0.813 y Σ -DDT: 0.866 mg/kg) y alto (*pp'*DDE: 0.712 y Σ -DDT: 0.763 mg/kg) con respecto a aquellas que tienen un bajo consumo de carne (*pp'*DDE: 0.672 y Σ -DDT: 0.735 mg/kg). El isómero β -HCH aumentó en las madres con alto consumo (0.009 mg/kg), en tanto que las que tienen bajo (0.004 mg/kg) y moderado consumo de carne (0.005 mg/kg) presentaron una concentración menor (Figura 32). Del mismo modo, el HCB presentó un aumento en mujeres con un consumo alto (0.011 mg/kg) que las que tuvieron moderado (0.009 mg/kg) y bajo consumo (0.009 mg/kg). De acuerdo con lo anterior, y debido a que algunos animales que consume el hombre tienen una posición elevada en la cadena alimenticia, podría establecerse el papel de los productos cárnicos en la dieta como un medio para la entrada de plaguicidas al organismo.

Las tendencias arriba mencionadas no se observaron en el *op'*DDT y *pp'*DDT, pues los niveles fueron mayores en los subgrupos con bajo consumo que los que tenían moderado y alto consumo de productos cárnicos (Figura 32).

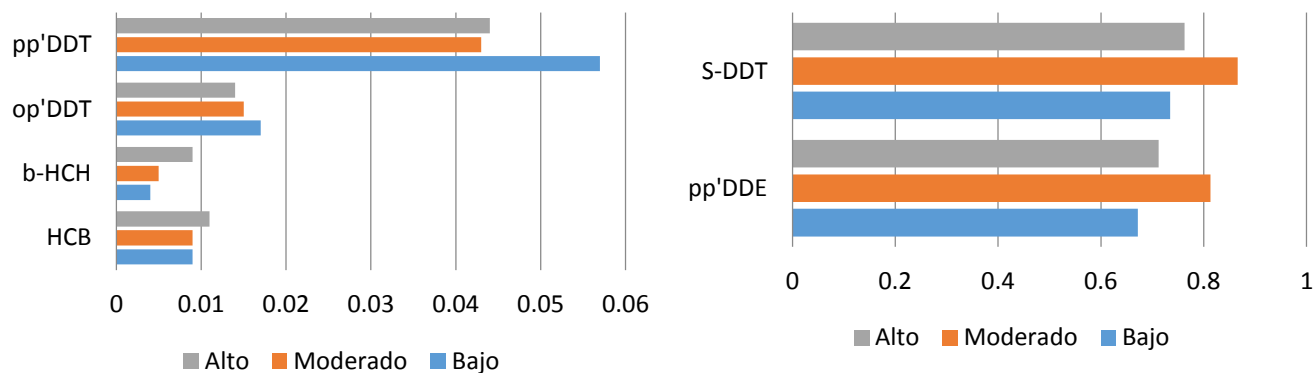


Figura 32. Relación entre consumo de productos cárnicos y plaguicidas (mg/kg)

6.13.3 Consumo de huevo

Las mujeres fueron clasificadas también de acuerdo a la ingesta de huevo y se calcularon las concentraciones para cada subgrupo; en el análisis de Kruskal-Wallis se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en las concentraciones de *op*'DDT, puesto que las que consumen este producto a un nivel moderado (0.018 mg/kg) y alto (0.015 mg/kg) presentaron valores más elevados sobre las que tienen un bajo consumo (0.011 mg/kg). De la misma manera, se observó este comportamiento en el metabolito *pp*'DDE (Consumo bajo= 0.574, Consumo moderado= 0.789 y Consumo alto= 0.771 mg/kg) y Σ -DDT (Consumo bajo= 0.609, Consumo moderado= 0.852 y Consumo alto= 0.834 mg/kg). Diferencias en las concentraciones de β -HCH fueron mínimas con un ligero aumento en los subgrupos de moderado (0.005 mg/kg) y alto consumo (0.005 mg/kg) con respecto del de bajo consumo (0.004 mg/kg). En los casos del *pp*'DDT y HCB se observaron valores mayores en los subgrupos con bajos niveles de consumo de huevo (Figura 33).

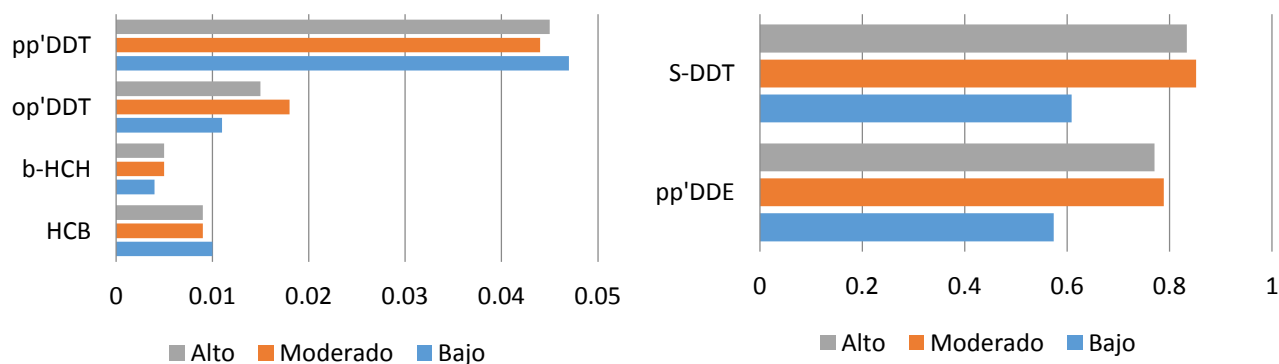


Figura 33. Relación entre consumo de huevo y plaguicidas (mg/kg)

6.13.4 Consumo de productos lácteos

En lo que respecta a la alimentación por estos productos, las madres cuyo consumo fue moderado (0.780 mg/kg) y alto (0.789 mg/kg) tuvieron mayores concentraciones de *pp'*DDE que las que manifestaron tener un bajo consumo (0.628 mg/kg). Por ser este metabolito el principal compuesto del Σ -DDT, ocurrió una situación similar ya que las mujeres con bajo consumo de productos lácteos tuvieron 0.721 mg/kg, la cual fue inferior que las concentraciones de las donadoras de moderado (0.834 mg/kg) y alto consumo (0.833 mg/kg). Los niveles de *pp'*DDT fueron ligeramente superiores en las personas con moderado (0.046 mg/kg) y alto consumo (0.046 mg/kg) comparados con las de bajo consumo (0.045 mg/kg). Las diferencias en las concentraciones de HCB, β -HCH y *op'*DDT fueron mínimas (Figura 34).

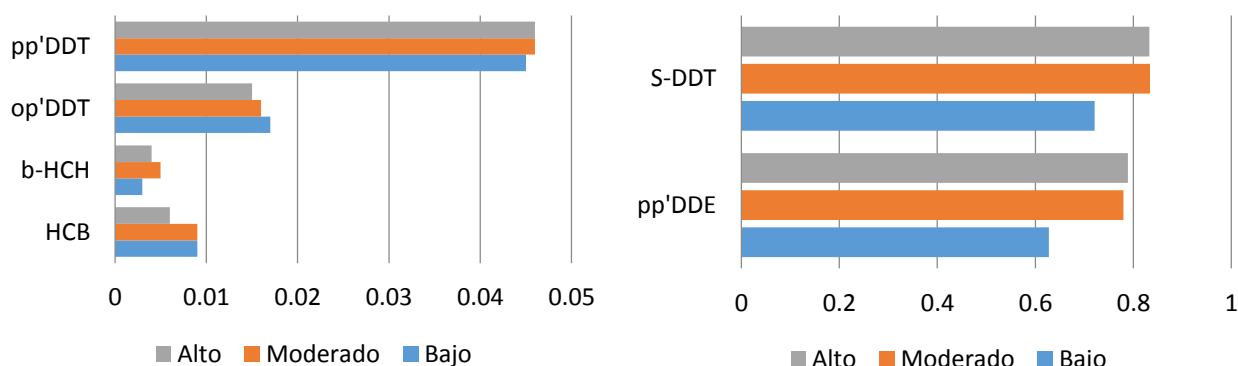


Figura 34. Relación entre el consumo de productos lácteos y plaguicidas (mg/kg)

Como se ha mencionado anteriormente, una de las características de los plaguicidas organoclorados es que son de naturaleza lipofílica, es decir que tienden a unirse a las grasas, y puesto que la leche de origen animal, al igual que la humana, posee un alto contenido de grasa, este alimento y los productos derivados, pueden traer consigo considerables cantidades de estos compuestos, y su consumo puede ser una fuente importante de contaminación para el humano. En el caso del Guerrero, no hay registros sobre la presencia de plaguicidas en la leche de origen animal y sus derivados, y si sus niveles se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (LMR) establecidos por el *Codex Alimentarius* de la FAO/OMS⁸ así como tampoco se conoce el riesgo a la salud del consumidor como consecuencia de la ingesta de tales productos. En Chiapas, México, se detectaron plaguicidas organoclorados en 36 muestras de leche de origen bovino procedentes de ranchos de la región central de dicha entidad, cuyas

concentraciones no rebasaron los LMR del *Codex Alimentarius*.¹⁰⁸ En Querétaro, México,¹⁰⁹ se encontraron residuos de los plaguicidas α -, β -, γ - y δ -HCH, *pp'*DDT, *pp'*DDD y *pp'*DDE así como otros que no son tratados en el presente trabajo, con una frecuencia de detección en las muestras (n= 40) que fue desde 2.3% en el caso del endosulfan sulfato hasta valores altos como el del heptacloro, con 95.4%. Cabe resaltar que a pesar de que en la República Mexicana estos plaguicidas fueron prohibidos en cuanto a su producción y aplicación desde 1999,^{1,7} sus residuos permanecen en el ambiente y los seres vivos, tal como se demuestra en estos trabajos. No resulta difícil inferir, por lo tanto, que también se encuentran presentes en la leche destinada para el consumo humano en Guerrero, por lo que los niveles encontrados en las mujeres probablemente resulten de la ingesta moderada y alta de este producto y sus derivados.

6.14 Ingesta de leche materna

Una de las principales vías de exposición a contaminantes orgánicos persistentes es la lactancia materna, ya que a través de la leche son liberados como consecuencia de la remoción y actividad aumentada de la grasa en el tejido mamario. En este trabajo se investigó si las integrantes de la población de estudio fueron alimentadas con leche materna en los primeros meses de vida, y con el análisis estadístico no paramétrico de Mann-Whitney se determinó la influencia de la lactancia sobre las concentraciones de plaguicidas organoclorados por medio de la comparación de las concentraciones obtenidas en el grupo de mujeres que fueron amamantadas con respecto de las que no lo hicieron. Derivado de esto, se encontró evidencia importante puesto que en todos los plaguicidas estudiados las primeras tuvieron medianas superiores (HCB= 0.009, β -HCH= 0.005, *pp'*DDE= 0.786, *op'*DDT= 0.017, *pp'*DDT= 0.047 y Σ -DDT= 0.850 mg/kg) que las mujeres que no fueron alimentadas con leche materna (HCB= 0.002, β -HCH= 0.004, *pp'*DDE= 0.573, *op'*DDT= 0.013, *pp'*DDT= 0.033 y Σ -DDT= 0.611 mg/kg) (Figura 35). Estos resultados demuestran que la ingesta de leche humana en etapas tempranas de la vida es un factor importante de contaminación por estas sustancias en los individuos.

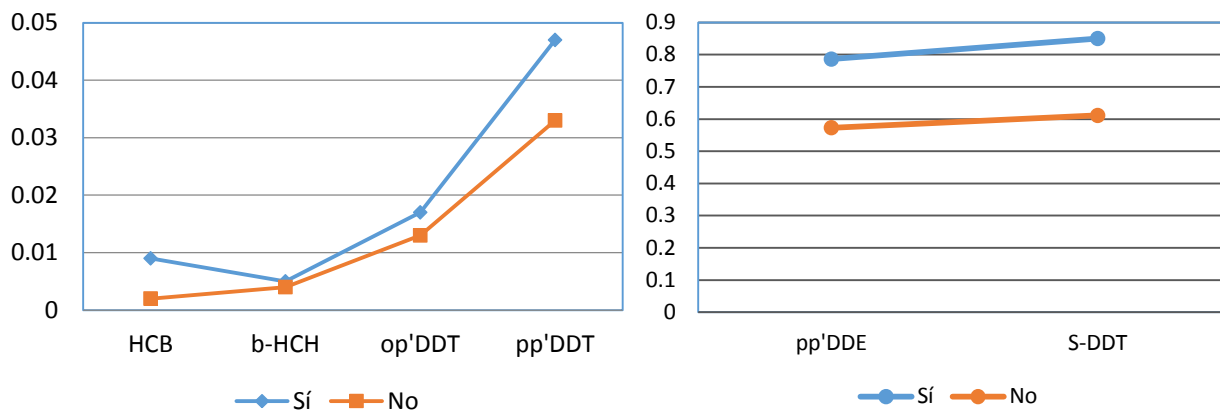


Figura 35. Niveles de plaguicidas (mg/kg) entre mujeres que fueron amamantadas con respecto a las que no lo hicieron

6.15 Riesgo de alta concentración de plaguicidas por consumo de alimentos

De acuerdo con los valores obtenidos de la razón de momios (OR) y su intervalo de confianza, no se encontró una asociación estadísticamente significativa entre el consumo de algún alimento con el riesgo de tener concentraciones elevadas de plaguicidas organoclorados (Cuadro 9).

Cuadro 9. Riesgo calculado (OR) según el nivel de consumo de distintos alimentos

Nivel de consumo	HCB	β -HCH	pp'DDE	op'DDT	pp'DDT	Σ -DDT
	OR (IC95%)					
Pescado						
Moderado	0.9 (0.5-1.5)	0.8 (0.5-1.1)	0.9 (0.7-1.3)	0.8 (0.5-1.1)	0.9 (0.6-1.2)	0.9 (0.7-1.3)
Alto	1.2 (0.5-2.9)	2.5 (0.6-11)	1.1 (0.7-1.9)	1.6 (0.9-3.0)	1.2 (0.7-2.1)	1.1 (0.7-1.9)
Carne						
Moderado	1.1 (0.8-1.4)	1.1 (0.8-1.5)	0.9 (0.7-1.1)	0.9 (0.7-1.2)	0.9 (0.8-1.2)	0.9 (0.7-1.1)
Alto	0.6 (0.1-3.1)	0.7 (0.2-2.5)	1.4 (0.7-2.6)	1.0 (0.5-2.2)	1.1 (0.6-2.0)	1.4 (0.7-2.6)
Lácteos						
Moderado	0.9 (0.6-1.2)	0.9 (0.6-1.2)	1.0 (0.8-1.3)	0.9 (0.7-1.2)	1.0 (0.7-1.3)	1.0 (0.8-1.3)
Alto	1.4 (0.5-3.5)	1.5 (0.6-3.7)	0.9 (0.6-1.5)	1.2 (0.7-1.9)	1.0 (0.6-1.5)	0.9 (0.6-1.5)
Huevo						
Moderado	0.8 (0.6-1.3)	1.0 (0.7-1.5)	0.9 (0.8-1.2)	0.9 (0.7-1.1)	0.9 (0.8-1.2)	0.9 (0.8-1.2)
Alto	1.3 (0.5-3.2)	0.9 (0.4-2.1)	1.0 (0.6-1.7)	1.4 (0.8-2.5)	1.0 (0.6-1.7)	1.0 (0.6-1.7)

En cuanto al consumo de pescado, el OR es de 2.5 para el β -HCH y 1.6 para el *op*'DDT, lo que significaría un riesgo de 150 y 60%, respectivamente, de que los individuos tuvieran concentraciones superiores a la mediana de la población estudiada; no obstante, esta posibilidad se descarta a raíz de que una de las condiciones para confirmar este hallazgo es que los intervalos de confianza no incluyeran al valor de 1 en su rango, cuestión que sí sucedió en estos casos. Lo mismo se observó con la razón de momios del alto consumo de carne y las concentraciones de *pp*'DDE (OR=1.4, IC95%= 0.7-2.6), del alto consumo de productos lácteos y los valores de HCB (OR=1.4, IC95%= 0.5-3.5) y β -HCH (OR=1.5, IC95%= 0.6-3.7), así como el alto consumo de huevo con el *op*'DDT (OR=1.4, IC95%= 0.8-2.5) (Cuadro 9). Cabe mencionar que las razones de momios menores a 1, que se encontraron también en un considerable número de casos, harían suponer que el nivel de consumo de algún producto sería un factor protector de tener altas concentraciones de estos contaminantes en los individuos, tampoco fueron estadísticamente significativas en virtud de que el intervalo de confianza incluía al valor de 1.

Los resultados de esta prueba indican que el consumo de pescado, carne, lácteos y huevos no incrementan el riesgo de las donadoras para tener altas concentraciones de algún plaguicida organoclorado en particular. En estudios realizados bajo este enfoque estadístico como el publicado por Boada y colaboradores en 2014, quedó demostrado que el consumo de pollo, conejo y queso incrementan de manera significativa la probabilidad de tener altos niveles de plaguicidas organoclorados ciclodienos como el aldrin y endrin.⁸⁷

VII. CONCLUSIONES

Se encontraron residuos de plaguicidas organoclorados como el HCB, β -HCH, *pp*'DDE, *op*'DDT y *pp*'DDT en la mayoría de las muestras de leche materna de la población estudiada. A pesar de que estos compuestos fueron aplicados en décadas pasadas, su presencia permanece en el ambiente y, como consecuencia, continúa la exposición de los seres humanos, lo que se ve reflejado en su detección en las madres que formaron parte de este estudio. Cabe mencionar que los niveles encontrados son inferiores en comparación con otros estados de la República Mexicana, lo cual puede atribuirse a que las necesidades de aplicación de

insecticidas para el control de enfermedades transmitidas por vectores y plagas que afectan los cultivos fueron diferentes en estos estados debido a las condiciones ambientales y actividades agrícolas particulares.

Se observó una presencia diferenciada de estos contaminantes entre las regiones que conforman al estado de Guerrero, ya que los compuestos derivados del DDT tuvieron mayores concentraciones en la Tierra Caliente, en tanto que las regiones Norte y Costa Grande mostraron concentraciones superiores de HCB y β -HCH, respectivamente. También, existió una mayor exposición en las mujeres procedentes de localidades rurales, puesto que tuvieron concentraciones aumentadas de plaguicidas con respecto a las que habitan en el medio urbano. Esto tiene implicaciones importantes ya que el territorio guerrerense posee un fuerte componente rural y, por lo tanto, un segmento importante de la población se encuentra expuesto a estos contaminantes.

Las concentraciones de estos plaguicidas tuvieron una distribución heterogénea y una amplia variabilidad entre las participantes. La edad de las participantes fue un factor que tuvo una influencia sobre las concentraciones de HCB, *pp'*DDE y *pp'*DDT, ya que a medida de que esta variable aumentó se registró un incremento en los niveles detectados, lo cual se explica por un tiempo de exposición más prolongado en las mujeres con mayor número de años.

Se encontró una disminución progresiva de los niveles del insecticida *pp'*DDT, su metabolito *pp'*DDE y el DDT total de acuerdo al número de partos y las semanas de lactancia, por lo que se aporta evidencia objetiva al conocimiento sobre la influencia de estos factores en las concentraciones de los plaguicidas en la leche humana.

Se encontró que el consumo de alimentos de manera moderada y/o alta influyen sobre la cantidad de plaguicidas presentes en el organismo: lácteos (*pp'*DDE, *pp'*DDT y Σ -DDT), huevo (*op'*DDT, *pp'*DDT y Σ -DDT), cárnicos (β -HCH, HCB y *pp'*DDE) y pescado (*pp'*DDE y Σ -DDT); las personas con estos hábitos alimenticios tuvieron concentraciones mayores que en las que normalmente tienen un bajo consumo de dichos productos. Asimismo, aquellos subgrupos de la población que consumen pescado de laguna presentaron niveles aumentados del metabolito *pp'*DDE comparados con los que se alimentan de especies marinas.

El hecho de que las madres hayan sido alimentadas con leche humana en los primeros meses de vida tuvo una influencia sobre la carga de contaminación por plaguicidas organoclorados, puesto que las concentraciones fueron superiores en las que recibieron este tipo de alimentación que las que carecieron de éste.

Por último, este trabajo demostró la presencia de plaguicidas organoclorados en habitantes del estado de Guerrero, lo cual es un reflejo del grado de contaminación existente en su territorio como consecuencia de la aplicación de estos compuestos orgánicos persistentes en décadas pasadas, y aporta información relevante al vasto campo de las ciencias ambientales para su aprovechamiento en investigaciones futuras.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

1. Gallardo-Díaz EG, Borja-Aburto VH, Méndez-Galván JF, Sánchez-Tejeda G, Olguín-Bernal H, Ramírez-Hernández JA. Situación actual de la malaria y el uso del DDT en México. México: Secretaría de Salud; 2000.
2. De Roos AJ, Hartge P, Lubin JH, Colt JS, Davis S, Cerhan JR, Severson RK, Cozen W, Patterson DG, Needham LL, Rothman N. Persistent organochlorine chemicals in plasma and risk of non-Hodgkin's lymphoma. *Cancer Research* 2005; 65(23):11214-11226.
3. Raaschou-Nielsen O, Pavuk M, LeBlanc A, Dumas P, Weber JP, Olsen A, Tjønneland A, Overvad K, Olsen JH. Adipose organochlorine concentrations and risk of breast cancer among postmenopausal Danish women. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention* 2005; 14(1):67-74.
4. International Programme on Chemical Safety. DDT in indoor residual spraying: human health aspects. Geneva: World Health Organization; 2011.
5. Reunión Conjunta FAO/OMS sobre Residuos de Plaguicidas. Características generales de los plaguicidas. Principios para el establecimiento de los LMR de plaguicidas según la Reunión Conjunta FAO/OMS sobre residuos de plaguicidas (JMPR). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 2001.

6. Yarto-Ramírez MA. Los efectos de la contaminación: el caso de las sustancias tóxicas persistentes. México: Instituto Nacional de Ecología; 2007. Revisado el 24 de mayo de 2014. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/467/yarto.html#top>
7. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Catálogo de plaguicidas. México: Secretaría de Salud; 2004. Revisado el 10 de marzo de 2014. Disponible en: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>
8. Ritter L, Solomon KR, Forget J, Stemeroff M, O'Leary C. Informe de evaluación sobre: DDT, aldrina, dieldrina, endrina, clordano, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno, bifenilos policlorados, dioxinas y furanos. Guelph: Programa Internacional de Protección frente a los Productos Químicos; 1998.
9. Aislabie J, Davison AD, Boul HL, Franzmann PD, Jardine DR, Karuso P. Isolation of *Terrabacter* sp. Strain DDE-1, which metabolizes 1,1-dichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethylene when induced with biphenyl. *Applied and Environmental Microbiology* 1999;65(12):5607-5611.
10. Ponce G, Cantú PC, Flores A, Badii M, Zapata R, López B, Fernández I. Modo de acción de los insecticidas. *Revista de Salud Pública y Nutrición* 2006;7(4).
11. Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Toxicología. Organización Panamericana de la Salud. Revisado el 14 de enero de 2015. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/eco/033965/033965-02-b.pdf>
12. Díaz-Barriga F. Factores de exposición y toxicidad del DDT y de la deltametrina en humanos y en vida silvestre. Informe Técnico Apoyado por la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte. San Luis Potosí; Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Revisado el 11 de julio de 2010. Disponible en: <http://ambiental.uaslp.mx/docs/FDB-DDTEfectos.pdf>
13. International Agency for Research on Cancer. Occupational exposures in insecticide application and some pesticides. En: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; Vol. 53. Lyon: World Health Organization; 1991. p. 45-92.

14. International Agency for Research on Cancer. Some thyrotropic agents. En: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; Vol. 79. Lyon: World Health Organization; 2001. p. 1-763.
15. International Agency for Research on Cancer. Overall evaluations of carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42. En: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; Suplemento 7. Lyon: World Health Organization; 1987. p. 1-440.
16. Laabs V, Amelung W, Pinto AA, Wantzen M, Da Silva CJ, Zech W. Pesticides in surface water, sediment, and rainfall of the Northeastern Pantanal Basin, Brazil. *Journal of Environmental Quality* 2002; 31:1636-1648.
17. Wan MT, Kuo J, Pasternak J. Residues of endosulfan and other organochlorine pesticides in farm areas of the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canada. *Journal of Environmental Quality* 2005; 34:1186-1193.
18. Hu Y, Yuan Li, Qi S, Liu H, Xing X. Contamination of organochlorine pesticides in water and sediments from a waterbird-inhabited lake, East Central China. *Environmental Science and Pollution Research* 2014; 21:9376:9384.
19. Simonich SL, Hites RA. Global distribution of persistent organochlorine compounds. *Science* 1995; 269:1851-1854.
20. Hernández F, Beltrán J. Análisis de residuos de plaguicidas en aguas. En: Gonzalo JM, Antigüedad I. Avances en investigación en zona no saturada, Vol. 2. España: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco; 1995. p. 321-355.
21. Baptista CB. Contaminación de agua y suelos. II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Brasil: Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Sao Paulo. Revisado el 29 de noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.pnuma.org/aguamiaac/SUBREGIONAL%20MESO/MATERIAL%20ADICIONAL/BIBLIOGRAFIAWEBGRAFIA/Modulo%202%20Herramientas%20claves%20para%20el%20MIAAC/Fuentes%20Contaminantes/Doc%201.%2014contaminacion%5B1%5D%20Copy.pdf>
22. Schriever CA, Von Der Ohe PC, Liess M. Estimating pesticide runoff in small streams. *Chemosphere* 2007; 68:2161-2171.

23. Mojica A, Guerrero JA. Evaluación del movimiento de plaguicidas hacia la cuenca del lago de tota, Colombia. *Revista Colombiana de Química* 2013;42(2):236-262.
24. Perevochtchikova M, García-Jiménez F. Análisis cualitativo de la red hidrométrica actual del estado de Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas* 2006;6:24-37.
25. Anónimo. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía; 2008. Revisado el 3 de abril de 2015. Disponible en:http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/1GEOGRAFIADEMEXICO/MANUAL_CARAC_EDA_FIS_VS_ENERO_29_2008.pdf
26. Mamontova EA, Tarasova EN, Leushina SI, Yurchenko SG, Mamontova AA. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in the air-soil system in the South of the Russian Far East. *Russian Meteorology and Hydrology* 2014;39(11):742-749.
27. Liu D, Xu Y, Li J, Chaemfa C, Tian C, Liu X, Luo C, Zhang G. Organochlorinated compounds in the air at the NAE0, an Eastern background site in China: Long-rate atmospheric transport versus local sources. *Aerosol and Air Quality Research* 2014;14:1258-1268.
28. Neilson AH. An environmental perspective on the biodegradation of organochlorine xenobiotics. *International Biodeterioration and Biodegradation* 1996; 37:3-21.
29. Albert L. Plaguicidas. Revisado el 14 de octubre de 2013 en: www.bvsde.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-04a21.pdf
30. Yohannes YB, Ikenaka Y, Nakayama SMM, Ishizuka M. Organochlorine pesticides in bird species and their prey (fish) from the Ethiopian Rift Valley region, Ethiopia. *Environmental Pollution* 2014;192:121-128.
31. Gui D, Yu R, He X, Tu Q, Wu Y. Tissue distribution and fate of persistent organic pollutants in Indo-Pacific humpback dolphins from the Pearl River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin* 2014;86:266-273.
32. Le Boeuf BJ, Giesy JP, Kannan K, Kajiwara N, Tanabe S, Debier C. Organochloride pesticides in California sea lions revisited. *BMC Ecology* 2002; 2(11).

33. Chaiyarat R, Soorjam C, Eiam-Ampai K, Damrongphol P. Bioaccumulation of organochlorine pesticides in the liver of birds from Boraphet wetland, Thailand. *ScienceAsia* 2014;40:198-203.
34. Behrooz RD, Esmaili-Sari A, Ghasempouri SM, Bahramifar N, Covaci A. Organochlorine pesticide and polychlorinated biphenyl residues in feathers of birds from different trophic levels of South-West Iran. *Environmental International* 2009;35:285-290.
35. Anónimo. DDT and other organochlorine insecticides. Arlington: U.S. Fish and Wildlife Service; 2014. Revisado el 29 de Agosto de 2014. Disponible en: <http://www.fws.gov/contaminants/Info/DDT.html>
36. Szpyrka E, Kurdziel A, Matiaszek A, Podbielska M, Rupař J, Slowik-Borowiec M. Evaluation of pesticide residues in fruits and vegetables from the region of South-Eastern Poland. *Food Control* 2015;48:137-142.
37. Bakirci GT, Acay DBY, Bakirci F, Öles S. Pesticide residues in fruits and vegetables from the Aegean region, Turkey. *Food Chemistry* 2014;160:379-392.
38. Arias LA, Bojacá CK, Ahumada DA, Shrevens E. Monitoring of pesticide residues in tomato marketed in Bogotá, Colombia. *Food Control* 2014;35:213-217.
39. Shen L, Xia B, Dai X. Residues of persistent organic pollutants in frequently-consumed vegetables and assessment of human health risk based on consumption of vegetables in Huizhou, South China. *Chemosphere* 2013;93:2254-2263.
40. Panseri S, Catalano A, Giorgi A, Ariaoli F, Procopio A, Briti D, Chiesa LM. Occurrence of pesticide residues in Italian honey from different areas in relation to its potential contamination sources. *Food Control* 2014;38:150-156.
41. Waliszewski SM, Aguirre AA, Infanzón RM, Siliceo J. Carry-over of persistent organochlorine pesticides through placenta to fetus. *Salud Pública de México* 2000;42(5):384-390.
42. Herrero-Mercado M, Waliszewski SM, Caba M, Martínez Valenzuela C, Gómez-Arroyo S, Villalobos-Pietrini R, Cantú-Martínez PC, Hernández-Chalate F. Organochlorine pesticide gradient levels among maternal adipose tissue, maternal blood serum and umbilical blood serum. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2011;86:289-293.

43. Sala M, Ribas-Fitó N, Cardo E, De Muga ME, Marco E, Mazón C, Verdú A, Grimalt JO, Sunyer GJ. Levels of hexachlorobenzene and other organochlorine compounds in cord blood: exposure across placenta. *Chemosphere* 2001;43:895-901.
44. Srimurali S, Govindaraj S, Kumar SK, Rajendran RB. Distribution of organochlorine pesticides in atmospheric air of Tamilnadu, southern India. *International Journal Environmental Science and Technology* 2015;12:1957-1964.
45. Anónimo. Ficha técnica del DDT. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Revisado el 28 de abril de 2014. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/ddt.pdf>
46. Patton S, Gendler SJ, Spicer AP. The epithelial mucin, MUC1, of milk, mammary gland and other tissues. *Biochim Biophys Acta* 1995; 1241(3):407-423.
47. Creamer LK, MacGibbon AKH. Some recent advances in the basic chemistry of milk proteins and lipids. *International Dairy Journal* 1996; 6(6):539-568
48. Czaja K, Ludwicki JK, Goralczyk K, Strucinski P. Effect of Age and Number of Deliveries on Mean Concentration of Organochlorine Compounds in Human Breast Milk in Poland. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 1997; 59(3): 407-413.
49. Albert L. Residuos de plaguicidas organoclorados en leche materna y riesgo para la salud. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana* 1981;91(1):15-29.
50. Viveros AD, Albert LA, Namihira D. Residuos de plaguicidas en muestras de leche humana procedentes de la ciudad de México. *Revista de Toxicología* 1989;6(2):209-221.
51. Waliszewski SM, Pardio JN, Chantiri VT, Infanzón RM, Rivera J. Organochlorine pesticide residues in human breast milk from tropical areas in México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 1996; 57:22-28.
52. Waliszewski SM, Aguirre AA, Infanzón RM, Benitez A, Rivera J. Comparison of Organochlorine Pesticide Levels in Adipose Tissue and Human Milk of Mothers Living in Veracruz, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 1999; 62(6):685-690.
53. Brody JG, Vorhees DJ, Melly SJ, Swedis SR, Drivas PJ, Rudel RA. Using GIS and historical records to reconstruct residential exposure to large-scale pesticide

- application. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 2002; 12:64-80.
54. Fry DM. Reproductive effects in birds exposed to pesticides and industrial chemicals. *Environmental Health Perspectives* 1995; 103(Suppl 7):165-171.
55. Pepper CB, Rainwater TR, Platt SG, Dever JA, Anderson TA, McMurry ST. Organochlorine pesticides in chorioallantoic membranes of morelet's crocodile eggs from Belize. *Journal of Wildlife Diseases* 2004; 40(3):493-500.
56. Sepúlveda MS, Wiebe JJ, Honeyfield DC, Rauschenberger HR, Hinterkopf JP, Johnson WE, Gross TS. Organochlorine pesticides and thiamine in eggs of largemouth bass and american alligators and their relationship with early life-stage mortality. *Journal of Wildlife Diseases* 2004; 40(4):782-786.
57. Stellman SD, Djordjevic MV, Britton JA, Muscat JE, Citron ML, Kemeny M, Busch E, Gong L. Breast cancer risk in relation to adipose concentrations of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in Long Island, New York. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention* 2000; 9:1241-1249.
58. Dallinga JW, Moonen EJC, Dumoulin JCM, Evers JLH, Geraedts JPM, Kleinjans JCS. Decreased human semen quality and organochlorine compounds in blood. *Human Reproduction* 2002; 17(8):1973-1979.
59. Waliszewski SM, Infanzón RM, Gómez-Arroyo S, Villalobos-Pietrini R, Carvajal O, Trujillo P, Hayward-Jones PM. Persistent organochlorine pesticides levels in blood serum lipids in women bearing babies with undescended testis. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2005; 75(5):952-959.
60. Lee DH, Jacobs DR, Steffes M. Association of organochlorine pesticides with peripheral neuropathy in patients with diabetes or impaired fasting glucose. *Diabetes* 2008; 57:3108-3111.
61. Rogan WJ, Gladen BC, McKinney JD, Carreras N, Hardy P, Thullen J, Tingelstad J, Tully M. Polychlorinated biphenyls (PCBs) and dichlorodiphenyl dichloroethene (DDE) in human milk: effects of maternal factors and previous lactation. *American Journal of Public Health* 1986; 76:172-177.
62. Axmon A, Thulstrup AM, Rignell-Hydbom A, Pedersen HS, Zvezday V, Ludwicki JK, Jönsson BAG, Toft G, Bonde JP, Hagmar L. Time to pregnancy as a function of

- male and female serum concentrations of 2,2',4,4',5,5'-hexachlorobiphenyl (CB-153) and 1,1-dichloro-2,2-bis (p-chlorophenyl)-ethylene (p,p'-DDE). *Human Reproduction* 2006; 21(3):657-665.
63. Beach TM, Whalen MM. Effects of organochlorine pesticides on interleukin secretion from lymphocytes. *Human and Experimental Toxicology* 2006; 25:651-659.
64. Ribas-Fitó, Júlvez J, Torrent M, Grimalt JO, Sunyer J. Beneficial effects of breastfeeding on cognition regardless of DDT concentrations at birth. *American Journal of Epidemiology* 2007; 166:1198-1202.
65. Wang RY, Jain RB, Wolkin AF, Rubin CH, Needham LL. Serum concentrations of selected persistent organic pollutants in a sample of pregnant females and changes in their concentrations during gestation. *Environmental Health Perspectives* 2009; 117(8):1244-1249.
66. LaKind JS, Berlin CM, Sjödin A, Turner W, Wang RY, Needham LL, Paul IM, Stokes JL, Naiman DQ, Patterson DG. Do human milk concentrations of persistent organic chemicals really decline during lactation? Chemical concentrations during lactation and milk/serum partitioning. *Environmental Health Perspectives* 2009; 117(10):1625-1631.
67. Waliszewski SM, Melo-Santiesteban G, Villalobos-Pietrini R, Gómez-Arroyo S, Amador-Guzmán O, Herrero-Mercado M, Carvajal O. Breast milk excretion kinetic of β -HCH, pp'DDE and pp'DDT. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2009; 83(6):869-873.
68. Herrera-Portugal C, Franco-Sánchez G, Zelada-Castillo V, Schlottfeldt-Trujillo Y, Rodríguez-Feliciano MA, Barrientos-Becerra H. Niveles de plaguicidas organoclorados (DDT y DDE) en niños de comunidades endémicas de paludismo en Chiapas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 2008; 4(3):349-356.
69. Trejo-Acevedo A, Díaz-Barriga F, Carrizales L, Domínguez G, Costilla R, Ize-Lema I, Yarto-Ramírez M, Gavilán-García A, Mejía-Saavedra J, Pérez-Maldonado IN. Exposure assessment of persistent organic pollutants and metals in Mexican children. *Chemosphere* 2009; 74:974-980.

70. Herrera-Portugal C, Franco G, Reyes K, Rodríguez MA, Schlottfeldt Y. Niveles sanguíneos de DDT y DDE en mujeres en edad reproductiva de Tapachula, Chiapas (México). *Higiene y Sanidad Ambiental* 2008; 8:315-319.
71. Waliszewski SM, Aguirre-Gutiérrez AA, Infanzón-Ruiz RM. Tendencia de 1988 a 1998 de los niveles de plaguicidas organoclorados persistentes en tejido adiposo humano en Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 2000; 16(1):13-18.
72. Herrero-Mercado M, Waliszewski SM, Valencia-Quintana R, Caba M, Hernández-Chalate F, García-Aguilar, Villalba R. Organochlorine pesticide levels in adipose tissue of pregnant women in Veracruz, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2010; 84(6):652-656.
73. López D, Yáñez L, Athanasiadou M, Bergman A, Herrera C, Díaz-Barriga F. Determinación de los niveles de DDT, DDE y DDE-MESO₂ en leche materna y sangre de poblaciones contaminadas por DDT en México. *Acta Toxicológica Argentina* 2006; 14(Suplemento):34-36.
74. Rivero-Rodríguez L, Borja-Aburto VH, Santos-Burgoa C, Waliszewski S, Ríos C, Cruz V. Exposure assessment for workers applying DDT to control malaria in Veracruz, México. *Environmental Health Perspectives* 1997; 105(1):98-101.
75. Waliszewski SM, Bermúdez MT, Infanzón RM. Niveles de DDT en tejido adiposo materno, suero sanguíneo y leche de madres residentes en Veracruz, México. Estudio 1997-1999. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 2002; 18(1):17-25.
76. Rodas-Ortíz JP, Ceja-Moreno V, González-Navarrete RL, Alvarado-Mejía J, Rodríguez-Hernández ME, Gold-Bouchot G. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls levels in human milk from Chelem, Yucatán, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2008; 80:255-259.
77. Prado G, Díaz G, Noa M, Méndez I, Cisneros I, Castorena F. Niveles de pesticidas organoclorados en leche humana de la Ciudad de México. *Agro Sur* 2004; 32(2):60-69.
78. Waliszewski SM, Gómez-Arroyo S, Carbajal O, Villalobos-Pietrini R, Infanzón RM. Uso del ácido sulfúrico en las determinaciones de plaguicidas organoclorados. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 2004; 20(4):185-192.
79. Harris DC. Análisis químico cuantitativo, 3ra. edición. Barcelona: Reverté S.A; 2006.

80. Gomis-Yagües V. Cromatografía de gases. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. Revisado el 25 de mayo de 2014. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/8247>
81. Anónimo. Cuarto estudio coordinado por la OMS sobre contaminantes orgánicos persistentes en la leche materna, en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2007.
82. Albert L. Organochlorine pesticides in México. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 1996;147:1-44.
83. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER). Revisado el 1 de marzo de 2015. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx
84. Holcombe D. The fitness for purpose of analytical methods. A laboratory guide to method validation and related topics. 1th edition. Teddington: Eurachem, LGC Ltd. 1998.
85. Anónimo. Guidelines for single-laboratory validation of analytical methods for trace-level concentrations of organic chemicals. AOAC/FAO/IEAEA/IUPAC; 1999.
86. Zhou J, Zeng X, Zheng K, Zhu X, Ma L, Xu Q, Zhang X, Yu Y, Sheng G, Fu J. Musks and organochlorine pesticides in breast milk from Shanghai, China: Levels, temporal trends and exposure assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2012;84:325-333
87. Boada LD, Sangil M, Alvarez-León EE, Hernández-Rodríguez G, Henríquez-Hernández LA, Camacho M, Zumbado M, Serra-Majem L, Luzardo OP. Consumption of foods of animal origin as determinant of contamination by organochlorine pesticides and polychlorobiphenyls: Results from a population-based study in Spain. *Chemosphere* 2014;114:121-128.
88. Cerda J, Vera C, Rada G. Odds ratio: aspectos teóricos y prácticos. *Revista Médica de Chile* 2013;141(10):1329-1335.
89. Song S, Ma X, Tong L, Tian Q, Huang Y, Yin S, Sun H. Residue levels of hexachlorocyclohexane and dichlorodiphenyltrichloroethane in human milk collected from Beijing. *Environmental Monitoring and Assessment* 2013;185(9):7225-9

90. Rojas-Squella X, Santos L, Baumann W, Landaeta D, Jaimes A, Correa JC, Sarmiento OL, Ramos-Bonilla JP. Presence of organochlorine pesticides in breast milk samples from Colombian women. *Chemosphere* 2013;91:733-739.
91. Lara E, Harlow S, Hernández B, Sánchez-Carrillo C. Organochlorine pesticide exposure in rural and urban areas in México. *Journal of Exposure and Environmental Epidemiology* 2000;10:394-399
92. Bachmann A, Walet P, Wijnen P, De Bruin W, Huntjens JLM, Roelofsen W, Zehnder AJB. Biodegradation of alpha- and beta-hexachlorocyclohexane in a soil slurry under different redox conditions. *Applied and Environmental Microbiology* 1988;54(1):143-149.
93. Azeredo A, Torres JPM, Fonseca M, Lailson-Brito J, Rodrigues-Bustos W, Azevedo CE, Cavalcanti G, Ornellas-Meire R, Sarcinelli PN, Claudio L, Mercowitz S, Malm O. DDT and its metabolites in breast milk from the Madeira river basin in the Amazon, Brazil. *Chemosphere* 2008; 73(Suppl 1):S246-S251.
94. Colles A, Koppen G, Hanot V, Nelen V, Noël E, Malisch R, Kotz A, Kypke K, Biot P, Vinkx C, Schoeters G. Fourth WHO-coordinated survey of human milk for persistent organic pollutants (POPs): Belgian results. *Chemosphere* 2008; 73:907-914
95. Kalantzi OI, Martin FL, Thomas GO, Alcock RE, Tang HR, Drury SC, Carmichael PL, Nicholson JK, Jones KC. Different levels of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and chlorinated compounds in breast milk from two U.K. regions. *Environmental Health Perspectives* 2004; 112:1085-1091
96. Mueller JF, Harden F, Toms LM, Symons R, Fürst P. Persistent organochlorine pesticides in human milk samples from Australia. *Chemosphere* 2008;70:712-720
97. Zietz BP, Hoopmann M, Funcke M, Huppmann R, Suchenwirth R, Gierden E. Long-term biomonitoring of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in human milk from mothers living in northern Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2008;211:624-638
98. Ennaceur S, Gandoura N, Driss MR. Organochlorine pesticide residues in human milk of mothers living in northern Tunisia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2007;78:325-329

99. Hedley AJ, Hui LL, Kypke K, Malisch R, van Leeuwen FXR, Moy G, Wong TW, Nelson EAS. Residues of persistent organic pollutants (POPs) in human milk in Hong Kong. *Chemosphere* 2010;79:259-265
100. Devanathan G, Subramanian A, Someya M, Sudaryanto A, Isobe T, Takahashi S, Chakraborty P, Tanabe S. Persistent organochlorines in human breast milk from major metropolitan cities in India. *Environmental Pollution* 2009;157:148-154
101. Cok Í, Yelken C, Durmaz E, Üner M, Sever B, Satir F. Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide levels in human breast milk from the mediterranean city Antalya, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2011;86:423-437
102. Johnson-Restrepo B, Addink R, Wong C, Arcaro K, Kannan K. Polybrominated diphenyl ethers and organochlorine pesticides in human breast milk from Massachusetts, USA. *Journal of Environmental Monitoring* 2007;9:1205-1212
103. Croes K, Colles A, Koppen G, Govarts E, Bruckers L, Van de Mierop E, Nelen V, Covaci A, Dirty AC, Thomsen C, Haug LS, Becher G, Schoeters G, Van Larebeke N, Baeyens W. Persistent organic pollutants (POPs) in human milk: A biomonitoring study in rural areas of Flanders (Belgium). *Chemosphere* 2012;89:988-994
104. Ennaceur S, Gandoura N, Driss MR. Distribution of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in human breast milk from various locations in Tunisia: Levels of contamination, influencing factors, and infant risk assessment. *Environmental Research* 2008;108:86-93.
105. Dewailly E, Ayotte P, Laliberté C, Weber JP, Gringas S, Nantel AJ. Polychlorinated biphenyl (PCB) and dichlorodiphenyl dichloroethylene (DDE) concentrations in the breast milk of women in Quebec. *American Journal of Public Health* 1996;86:1241-1246.
106. Ennaceur S, Driss MR. Time course of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in breast-feeding mothers throughout the first 10 months of lactation in Tunisia. *Environmental Monitoring and Assessment* 2013;185:1977-1984.
107. Kwok Ck, Liang Y, Leung SY, Wang H, Dong YH, Young L, Giesy JP, Wong MH. Biota-sediment accumulation factor (BSAF), bioaccumulation factor (BAF), and contaminant levels in prey fish to indicate the extent of PAHs and OCPs contamination

in eggs of waterbirds. *Environmental Science and Pollution Research* 2013;20:8425-8434.

108. Gutiérrez R, Ruíz JL, Ortiz R, Vega S, Schettino B, Yamazaki A, Ramírez ML. Organochlorine pesticide residues in bovine milk from organic farms in Chiapas, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 2012;89:882-887.

109. Prado G, Díaz G, Gutiérrez R, Vega S, Noa M, Chávez E. Residuos de plaguicidas organoclorados en leche de cabra de Querétaro, Querétaro, México. *Veterinaria México* 2007;38(3):291-301

IX. ANEXOS.

Anexo 1. Información relativa a los contaminantes orgánicos persistentes y la importancia de la lactancia materna.

<p>¿CUALQUIER PERSONA PUEDE PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO? No, este estudio es exclusivo para madres menores de 35 años, además la madre y el bebé deben estar sanos, el parto debe haber sido normal, la madre debe estar amamantando a un solo niño (no a mellizos) y la madre debe haber residido en Guerrero por lo menos 10 años.</p> <p>¿AL PARTICIPAR EN EL ESTUDIO, EXISTE ALGÚN RIESGO PARA LAS MADRES O LOS BEBÉS? En lo absoluto, ya que solo se necesitan 50 mL de leche materna en todo el proceso por lo que no representa ningún riesgo de alimentación para el bebé, y la recolección de la leche se realiza a través de un sistema de recolección de la leche que garantiza una asepsia total de forma manual o con un sacalaches el cual provoca una sensación similar al amamantamiento normal del bebé.</p> <p>¿SE DIFUNDIRÁN LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO CON MI NOMBRE? En el estudio se utilizarán solo números para las muestras y los resultados serán estadísticos, con esto se garantiza el resguardo de la información confidencial proporcionada por las madres participantes.</p> <p>DIRECTORIO Secretaría de Salud del Estado de Guerrero Laboratorio Estatal de Salud Pública "Dr. Galo Sobreros y Pinar" Departamento de Control Clínico y Ambiental Bvd. Vicente Guerrero Esq. J. R. Escudero S/N Cd. Renacimiento, CP-39715, Acapulco, Gro. Responsable Técnico del proyecto M.C. Luis Alberto Chávez Almazán Tel Laboratorio: (744) 4 41 85 92 y 4 41 52 57 Tel Celular: 74 71 52 88 05 Asistente Técnico del proyecto I.B.O. Maribel Orea García Tel Celular: 74 41 63 53 68 Trabajo de campo del proyecto I.B.O. Guadalupe Pérez Rendón Tel Celular: 74 40 85 80 54 QBP Kattia Campos Burrado Tel Celular: 74 71 14 09 88 Lic. Manuel A. Silva Morales Tel Celular: 74 71 14 09 88 Proyecto de Investigación financiado por el Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Guerrero, clave 128329</p> <p>ESTUDIO SOBRE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES EN LA LACTANCIA MATERNA</p>	<p>¿QUÉ SON LOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES (COPs)? Son mezclas y compuestos químicos a base de carbono que incluyen compuestos químicos industriales como los Bifenilos Policlorados, Plaguicidas como el DDT y residuos no deseados como los plásticos, los cuales son producidos y liberados en el medio ambiente de manera intencional o accidental.</p> <p>¿QUÉ TIPO DE FLUIDO HUMANO ES EL MÁS IMPORTANTE PARA EVALUAR LA EXPOSICIÓN A ESTE TIPO DE COMPUESTOS? La leche es una matriz prioritaria, porque tiene algunas ventajas importantes, los datos de la biovigilancia de la leche materna pueden proporcionar información sobre la exposición de la madre y también de los lactantes.</p> <p>¿QUÉ ES EL CONVENIO DE ESTOCOLMO? Es un acuerdo internacional firmado en el año 2004, donde la mayoría de los países se comprometieron a disminuir las concentraciones de COPs en el ambiente y en las personas.</p> <p>¿CÓMO SON SUS CARACTERÍSTICAS? Son persistentes en el ambiente ya que resisten los procesos de degradación fotolítica y biológica. Se evaporan a una velocidad relativamente lenta. Baja solubilidad en agua. Alta bioacumulación en los tejidos grasos de animales vivos (por su alta solubilidad en lípidos). Un alto potencial de dañar a las personas y a otros organismos a bajas concentraciones.</p> <p>¿CÓMO SON LAS POSIBLES CONSECUENCIAS DE LA EXPOSICIÓN A PLAGUICIDAS Y COPs? Contaminan los alimentos especialmente los productos lácteos y la carne. Pasan al feto a través de la placenta y se excretan en la leche materna. Pueden causar efectos crónicos como el cáncer y malformaciones en humanos y animales. Contaminan el suelo, atmósfera, agua, flora y fauna silvestre.</p> <p>¿CÓMO SON LOS COPs MÁS IMPORTANTES? Hexa clorobenceno, Clordano, Heptacloro, DDT, Toxafeno, Endrin, Aldrin, Dieldrin, Bifenilos policlorados (PCBs), Dioxinas y Furanos.</p> <p>¿PARA QUE REALIZAR ESTE ESTUDIO EN GUERRERO? Para evaluar la exposición humana a COPs en el Estado, ya que aquí se han utilizado por varias décadas en la salud pública (DDT) y en agricultura (aldrin, endrin, dieldrin, etc.).</p> <p>¿EN QUÉ CONSISTE EL ESTUDIO DE EXPOSICIÓN HUMANA A COPs? Consiste en analizar su leche para determinar presencia de algún COP descrito en el convenio de Estocolmo.</p> <p>INFORMACIÓN ADICIONAL En humanos los COPs pueden producir además del cáncer, desarreglos neuroconductuales incluyendo problemas de aprendizaje, reducción del rendimiento y cambios en el temperamento, cambios en el sistema inmunológico y neurológico, problemas reproductivos y ligados al sexo, producen la endometriosis, el aumento de la incidencia de la diabetes y otras.</p>
<p>¿CÓMO SE QUE MI BEBÉ SE ESTÁ AMAMANTANDO BIEN? Escuchará el sonido de la deglución. Generalmente después que el bebé mama el pezón se le ve el pezón hinchado y suelta el pezón espontáneamente. La madre nota que la producción de leche es constante. El incremento de peso y estatura del niño que amamanta son adecuados para su edad. Si el niño suscitara correctamente, el amamantamiento no produce dolor en la madre.</p> <p>¿CÓMO DEBO COLOCAR MI BEBÉ EN EL PECHO? 1.- Coloque la parte central de los labios del bebé para succionar a lo que abra la boca. 2.- Cuando el bebé abra la boca introduzca el pezón y toda la areola o la mayor parte de ella. 3.- Observe que los labios del bebé estén invertidos, sentirá que la succión y deglución es rítmica y profunda.</p> <p>DIRECTORIO Secretaría de Salud del Estado de Guerrero Laboratorio Estatal de Salud Pública "Dr. Galo Sobreros y Pinar" Departamento de Control Clínico y Ambiental Bvd. Vicente Guerrero Esq. J. R. Escudero S/N Cd. Renacimiento, CP-39715, Acapulco, Gro. Responsable Técnico del proyecto M.C. Luis Alberto Chávez Almazán Tel Lab: (744) 441 8502 y 4 41 52 57 Tel Celular: 74 71 12 28 06 Asistente Técnico del proyecto I.B.O. Maribel Orea García Tel Celular: 74 41 63 53 68 Trabajo de Campo del proyecto I.B.O. Guadalupe Pérez Rendón Tel Celular: 74 40 85 80 54 QBP Kattia Campos Burrado Tel Celular: 74 71 14 09 88 Lic. Manuel A. Silva Morales Tel Celular: 74 71 14 09 88 Proyecto de Investigación financiado por el Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Guerrero, clave 128329</p> <p>LACTANCIA MATERNA "DALE LO MEJOR DE TI, AL SER MÁS VALIOSO" Ese es el poder de mamá.</p>	<p>¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA LECHE MATERNA? Es el alimento más completo que existe para el bebé ya que contiene nutrientes que en otros alimentos no podrá encontrar en un 100%, además de proporcionar una nutrición perfecta para él.</p> <p>¿CÓMO DEBE SER LA ALIMENTACIÓN DE LA MADRE LACTANTE? No fume ni beba alcohol mientras amamanta. No haga dietas hasta que su niño reciba alimentos complementarios, además de la leche materna. Agregue a su alimentación dos vasos adicionales de lacteos y dos platos adicionales de frutas y verduras. Aumente también su consumo de líquidos.</p> <p>¿CÓMO SON LOS BENEFICIOS DE LA LACTANCIA NATURAL? La lactancia natural es la alimentación ideal para los lactantes, sus beneficios van mucho más allá de la nutrición, el bebé que es privado de ella sin una razón clara y profesional. La leche materna proporciona todos los nutrientes que un lactante necesita en sus primeros 6 meses de vida. Prepara a los niños que otros formas de alimentación no contienen. Desde el nacimiento, protege activamente al lactante contra infecciones. Brinda protección natural contra la resaca, la diarrea y otras afecciones. Prepara a los niños de alta calidad y ayuda a proteger contra infecciones hasta los 2 años de edad. Retrasa el retorno de la fertilidad de la mujer hasta meses de un 2% de riesgo que quedar embarazada. Facilita la relación afectiva entre madre e hijo.</p> <p>RECOMENDACIONES RECUERDE Antes de lactar a su bebé debe lavarse las manos con agua y jabón, limpiar el pezón y areola con agua hervida.</p> <p>¿QUÉ DESVENTAJAS TIENE EL BEBÉ ALIMENTADO CON BIBERÓN? El bebé tiene mayor probabilidad de sufrir infecciones intestinales como diarreas, cólicos y gases. Se ha demostrado que el uso del biberón se relaciona con otros riesgos, que es una infección del oído. Esta propenso a sufrir de caries dentales y trastornos de oclusión dental. No estimula el crecimiento del músculo esquelético de la cara.</p> <p>ALIMENTACIÓN COMPLEMENTARIA A partir de los seis meses, su bebé podría recibir alimentos en forma de papillas o purés, además, continúe dándole leche materna, de este modo su bebé crecerá sano y se desarrollará óptimamente.</p>

Anexo 2.

CUESTIONARIO PARA POSIBLES DONANTES DE LECHE MATERNA	
Proyecto de Investigación sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes en el Estado de Guerrero	
Sección 1: Información personal	
Nombre:	
Fecha de nacimiento:	Teléfono:
Fecha prevista de parto:	
Lugar de la entrevista:	
Correo electrónico:	
Domicilio:	
Encuestador:	

Sección reservada para el Responsable del Proyecto		
Código de identificación para muestra individual	Código de identificación para muestra combinada	
Según los criterios establecidos, ¿la participante puede ser seleccionada?		
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	
¿Cuál es la situación de la donante respecto del estudio?		
<input type="checkbox"/> Seleccionada	<input type="checkbox"/> Reserva	<input type="checkbox"/> Excluida

Sección 2: Cuestionario de preselección

1. ¿Tiene decidido amamantar a su hijo?

 Sí No

2. ¿Es este su primer hijo?

 Sí No ¿Cuántos tiene? _____

3. ¿Espera un solo hijo? (no mellizos)

 Sí No

4. ¿Su embarazo ha sido normal?

 Sí No

5. ¿Ha residido en la zona en la que vive actualmente durante 10 años?

 Sí No*

Si la respuesta es negativa, indicar la cantidad real de años

6. ¿Tiene menos de 40 años?

 Sí No*

¿Cuántos?

7. ¿Vive cerca de incineradores, industrias de pulpa y papel, industrias de metales o en las que se producen sustancias químicas?

 Sí No

Instrucciones para el entrevistador: Si la respuesta a algunas de las preguntas de 1 a 6 fuera “no” (excepto la 2) o si la respuesta a la pregunta 7 fuera “sí”, la participante no reúne los requisitos para su inclusión en este estudio. Por favor, agrádezcale por su interés y dé por finalizada la entrevista. Si todas las respuestas fueron afirmativas, excepto a la pregunta 7, pase a la sección 3.

Sección 3: Cuestionario residencia y hábitos alimenticios						
Talla (cm)			Peso antes del embarazo (kg)			
1. ¿Dónde ha vivido en los últimos 10 años?:						
<input type="checkbox"/> Zona urbana (ciudad)			<input type="checkbox"/> Zona rural (campo)			
2. ¿Cómo describiría sus hábitos alimentarios antes del embarazo?						
<input type="checkbox"/> Dieta variada			<input type="checkbox"/> Vegetariana pero con leche y huevo			
<input type="checkbox"/> Vegetariana estricta			<input type="checkbox"/> Otra			
3. ¿Con qué frecuencia consumía los siguientes alimentos antes del embarazo? (en promedio)						
	Pescado y derivados del pescado	Productos del mar excepto pescado (Mariscos, mejillones)	Leche y productos lácteos (queso, mantequilla, crema, yogurth)	Carne, pollo y productos derivados (jamón, salchichas)	Huevos	Otros
Nunca						
Menos de una vez a la semana						
Una vez a la semana						
Dos veces a la semana						
Más de dos veces a la semana						
Diariamente						
4.1 ¿Qué clase de pescado consume más a menudo?						
<input type="checkbox"/> De mar			<input type="checkbox"/> De agua dulce		<input type="checkbox"/> Ambos	
Por favor, nombre las especies si las conoce:						
4. ¿Su madre nació en Guerrero?						
<input type="checkbox"/> Sí			<input type="checkbox"/> No			
5. ¿Su madre la amamantó?						
<input type="checkbox"/> Sí			<input type="checkbox"/> No		<input type="checkbox"/> No sé	
Si la respuesta es afirmativa, ¿Cuánto tiempo? <input style="width: 50px;" type="text"/>						
Instrucciones para el entrevistador:						
Si esta es una entrevista prenatal, el cuestionario con las secciones 1 y 3 completas se debe enviar al Responsable del Proyecto en este momento, para su revisión.						
Si esta es una entrevista postnatal y la muestra se recolectará hoy, pase a la Sección 4						
Sección 4. Para que complete quien recolecta la muestra						
Nombre del recolector:				Fecha (día/mes/año):		
Lugar donde se tomó la muestra:						

Información posnatal (para completar en el momento de tomar la muestra)

1. ¿Está dispuesta a firmar la carta de consentimiento informado?

Sí

No

Si la respuesta es afirmativa, adjunte el formulado firmado. Si no lo es, la madre no puede ser seleccionada para participar en el estudio.

2. ¿De cuántas semanas de gestación nació su bebé?

3. ¿Qué edad tiene su hijo?*

1 semana

2 semanas

3 semanas

4 semanas

3. ¿Es varón o niña?

Varón

Niña

4. ¿Su peso actual es diferente del que tenía antes del embarazo?

Aumentó de peso

Bajó de peso

No cambió

5. ¿Puede proporcionar una muestra de leche ahora?

Sí

No, en otro momento

¿Cuándo?

La tomará en el domicilio

Si desea tomar la muestra en el domicilio, ¿tiene refrigerador?

Sí

No***

*El lactante debe tener entre 2 y 4 semanas. Si no se cumple esta condición no tome la muestra.

Anexo 3.

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

He sido invitada a participar en el Proyecto de Investigación sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes en la Leche Materna. Se me ha informado sobre el objetivo y los procedimientos del estudio, en síntesis.

Objetivo del estudio

Los contaminantes orgánicos persistentes (a menudo llamados COP) son un grupo de productos químicos fabricados por el hombre, que se pueden encontrar en el medio ambiente. Estas sustancias químicas no se modifican sustancialmente con el tiempo y a menudo se les detecta en alimentos que contienen grasa, entre ellos la leche materna. El Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del estado de Guerrero está apoyando estudios para determinar las concentraciones de COP en la leche materna. Los resultados de los estudios ayudarán a las instituciones de salud pública a establecer si las concentraciones de COP están disminuyendo gracias al Convenio de Estocolmo. Este estudio también apoyará y fortalecerá la capacidad nacional para la vigilancia y gestión racional de los COP en los alimentos.

A pesar del riesgo que supone la presencia de COP en la leche materna, los datos científicos siguen demostrando los beneficios para la salud de la lactancia materna. Para la población general, se recomienda la lactancia materna exclusiva durante los primeros seis meses para la gran mayoría de los lactantes, y luego leche materna con los alimentos complementarios apropiados hasta los dos años de edad o más.

Procedimientos

Se le solicita que proporcione una muestra de 50 mL de leche. La leche se puede extraer manualmente o con un sacaleche. La muestra se recolectará en el centro de salud más cercano o en su domicilio. En la muestra se analizarán COP seleccionados.

Riesgos y molestias

Puede sentir algunas molestias cuando extraiga la leche manualmente o con un sacaleche. Le daremos instrucciones acerca de cómo extraer la leche de ambas maneras. Ninguna de las preguntas que le formularemos será de naturaleza personal.

Compensación a las participantes en el estudio

Las participantes recibirán un pequeño obsequio, como agradecimiento por su tiempo e interés en el estudio.

Confidencialidad

La información que se reúna para este proyecto de investigación será confidencial. La información sobre Ud. que se requiera para el estudio será guardado en un documento en el que no figurará su nombre sino su número. El nombre asociado al número asignado a cada documento será guardado en un lugar seguro y no será divulgado a nadie, excepto al Responsable Técnico de este Proyecto.

Aun si esta información se divulgara accidentalmente, su divulgación no tendría consecuencias importantes porque en los resultados no figurará su nombre sino un código. Además, solo se informarán resultados promedio y no resultados individuales.

Participación voluntaria

Ud. no está obligada a participar en este estudio si no lo desea. La decisión de no participar no afectará en modo alguno la atención que recibe en este centro. Seguirá gozando de todos los beneficios, independientemente de cuál sea su decisión.

Información de contacto

Si tiene alguna pregunta, puede formularla ahora o más adelante. Si desea hacerlo más adelante puede ponerse en contacto con el M.C. Luís Alberto Chávez Almazán a los teléfonos (01-744) 4415257 ó 441-4090, ext. 24

He leído atentamente la información precedente o me ha sido leída. Se me ha dado la posibilidad de formular preguntas sobre esta información y todas las preguntas que he formulado han sido respondidas de manera satisfactoria. Otorgo mi consentimiento voluntario para participar como sujeto de este estudio y comprendo que tengo derecho a retirarme del estudio. Si decido retirarme del estudio, entiendo que puedo hacerlo sin que esto afecte de manera alguna la atención médica que recibo. También otorgo mi consentimiento para que todo resto de muestra de leche no utilizado para el presente estudio pueda ser guardada para estudios similares que se realicen en el futuro.

Nombre de la madre participante

Firma de la participante

Fecha

Si la participante es analfabeta, poner la huella digital en el cuadro:

Huella

Nombre de un testigo independiente, fecha y firma del testigo
(De ser posible, esta persona debe ser elegida por la participante, y no debe tener relación alguna con el equipo de investigación)

Nombre del testigo

Firma del testigo

Fecha

Nombre del entrevistador

Firma del entrevistador

Fecha

Anexo 4. Técnica de extracción de plaguicidas



a) Homogeneización con sulfato de sodio



b) Recuperación de la grasa por evaporación del hexano



c) Precipitación de la grasa



d) Limpieza de extracto con sulfato de sodio



e) Concentración del extracto



f) Aforo final con hexano

Anexo 5. Artículo publicado en el *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*
Página siguiente:

Organochlorine Pesticide Levels in Breast Milk in Guerrero, Mexico

Luis A. Chávez-Almazán · Jesús Díaz-Ortiz ·
Mario Alarcón-Romero · Gustavo Dávila-Vazquez ·
Hugo Saldarriaga-Noreña · Stefan M. Waliszewski

Received: 3 January 2014 / Accepted: 26 May 2014
© Springer Science+Business Media New York 2014

Abstract In Mexico, organochlorine pesticides were used in public health and agriculture programs, causing chronic exposure to the population. Human breast milk samples were collected from 171 mothers who were residents from Guerrero, Mexico. Analysis was carried out by gas chromatography. Median concentrations (mg/kg on fat basis) for the following pesticides were: HCB, 0.009; b-HCH, 0.004; *pp'*DDE, 0.760; *op'*DDT, 0.016; *pp'*DDT, 0.045; and Σ -DDT, 0.833. These values are lower than in other States in Mexico, and in some countries where the use of these pesticides was banned more than 30 years ago. Differences were found in HCB, *pp'*DDE and *pp'*DDT concentrations in groups divided according to age ($p < 0.05$). The older age groups had higher concentrations, except for the comparison between groups 21–23/24–28 years, which were 0.913 and 0.530 mg/kg of *pp'*DDE, respectively.

Given the restrictions on use, a greater decrease in organochlorine pesticide levels in human milk is expected in a few years.

Keywords Organochlorine pesticides · Bio-monitoring · Breast milk

Organochlorine pesticides were widely used in the last century in agriculture and public health programs due to their effectiveness and low cost. These compounds are stable for chemical degradation and are persistent in the environment, causing contamination of soil, water and air. In addition, they are bio-accumulated and bio-magnified in a food chain. The application of dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) for chemical control of *Anopheles* mosquitoes during the National Program for the Eradication of Malaria was started in the late 1950s and continued until it was replaced by pyrethroids in 1999 (Gallardo 2000). Also, hexachlorobenzene (HCB) and hexachlorocyclohexane (HCH) were used in crop protection and to combat ectoparasites that affect humans. These activities caused a permanent exposure to the population through the inhalation route and ingestion of contaminated food. Because of its potential negative health effects, it is important to know the rate of accumulation of organochlorine pesticides in humans. Breast milk is a good sample to evaluate human exposure to these compounds and may reflect the degree of contamination of a particular region. The benefit of this sampling for pesticide monitoring consists of it is easy to obtain and rich in fat, and is the main route for eliminating deposited organochlorine pesticides from a mother's body.

The aim of this study was to determine organochlorine pesticide levels in breast milk from inhabitants of Guerrero

L. A. Chávez-Almazán (✉) · J. Díaz-Ortiz ·
M. Alarcón-Romero
State Laboratory of Public Health, Health Department of
Guerrero, Blvd. Vicente Guerrero Esq. J.R. Escudero, Col. Cd.
Renacimiento, C.P. 39715 Acapulco, Guerrero, Mexico
e-mail: chavez_79@hotmail.com

G. Dávila-Vazquez
Center for Research and Assistance in Technology and Design of
Jalisco, Guadalajara, Jalisco, Mexico

H. Saldarriaga-Noreña
Chemical Research Center, University of the State of Morelos,
Cuernavaca, Morelos, Mexico

S. M. Waliszewski
Institute of Forensic Medicine, University of Veracruz,
Boca del Río, Veracruz, Mexico

Published online: 03 June 2014

that have been environmentally exposed due to application of these compounds for control of vector-borne diseases and in agriculture.

Materials and Methods

Health Centers and Hospitals of various localities, both rural and urban, attached to the Health Department of Guerrero, Mexico, were visited to invite mothers who have been resident in this State during the last 10 years to participate in the study. Women were informed about study objectives and invited to donate a breast milk sample. Those who agreed to participate signed a written consent and were instructed in the collection of the sample, either manually or by suction device. This study was approved by the Committee on Research Ethics of State Laboratory of Public Health, Health Department of Guerrero. Samples (about 50 mL) were collected in clean glass jars with a Teflon cap and transported to the laboratory for their separation by means of centrifugation at 3,000 rpm for 15 min. Fat fractions were transferred to glass vials previously washed with a chromic mixture and were stored at -20°C until analysis. The pesticide extraction was made by the method described by Waliszewski et al. (1996); 2–3 g fat was placed on a ceramic container and mixed with sodium sulfate anhydrous (Sigma–Aldrich, St. Louis, MO, USA) until a dry powder was obtained; afterwards this material was placed in a glass column and the fats were extracted with 100 mL of hexane (JT-Baker, Center Valley, PA, USA). The extract was concentrated to 30 mL in a rotatory evaporator at 40°C . To calculate fat content of the sample, 10 mL of concentrated eluate was placed in a pre-weighed round bottomed flask and solvent was evaporated. The fat content corresponds to the difference between both weights. Later, 10 mL of eluate was transferred to a tube and 1 mL of sulfuric acid was added (JT-Baker, Center Valley, PA, USA) and vigorously shook for 1 min to fat precipitation. Supernatant was dried by passing it through a 5 g layer of sodium sulfate anhydrous and washed with hexane. The extract was concentrated to a few drops and transferred quantitatively to a glass vial and adjusted to 1.0 mL with hexane. Chromatographic analysis was done on a 3,400 CX Varian Gas chromatograph (Palo Alto, CA, USA); 1 μL was injected in splitless mode. The organochlorine pesticides separation was performed on a capillary column DB-608 (0.32 mm inner diameter, 30 m in length) with nitrogen flow rate at 6.3 mL/min. Oven temperature was 193°C for 7 min followed by an increase of $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ until 250°C , remaining at this temperature for 20 min. Organochlorine pesticides in samples were identified and quantified, comparing data to a standard solution of HCB, α -HCH, β -HCH, γ -HCH, *pp'*DDE, *op'*DDT and *pp'*DDT

(Supelco Inc. Bellefont, PA, USA). The quantities of organochlorine pesticides in breast milk fats were expressed as milligrams per kilogram of lipids (mg/kg).

To determine the quality of the method, samples of bovine milk, free of organochlorine pesticides, were spiked in 10 replicates and analyzed to calculate a recovery percentage. The fortification study, done at 0.01–0.04 mg/kg levels depending on the compound, showed mean values from 87.1 % to 101.4 %, indicating excellent analytical quality to determine organochlorine pesticides in breast milk. Also, the precision is acceptable, taking into account the coefficient of variation was less than 10.5 % for all compounds. The minimum detection limits for the analyzed residues on fat basis were: 0.001 mg/kg for HCB, α -HCH and γ -HCH, and 0.002 mg/kg for β -HCH, *pp'*DDE, *op'*DDT and *pp'*DDT.

Concentrations of pesticides in the population were reported as mean and median, with the standard deviation (SD) and ranges. To determine the influence of age on pesticide concentrations, a Pearson correlation analysis was performed. In addition, participants were divided into four groups, each with a similar number of individuals, to determine differences in pesticide concentrations by means of a Kruskal–Wallis test with a confidence level of 95 % with statistical software SPSS, version 20 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA).

Results and Discussion

A total of 171 samples of breast milk with a mean age of 24.6 years (SD = 5.9, range 14–41) of donors were analyzed. HCB and β -HCH were found in the samples with a low frequency: 36.8 % and 36.3 %, respectively. *op'*DDT and *pp'*DDT were present in 76 % and 98.2 % of analyzed samples. *pp'*DDE was found in 100 % of participants. The isomers α -HCH and γ -HCH were not detected (Table 1).

Table 1 Organochlorine pesticides in breast milk (mg/kg on basis fat)

	Frequency %	Mean/SD	Median	Ranges
HCB	36.8	0.013 \pm 0.014	0.009	0.001–0.074
α -HCH	Not detected			
β -HCH	36.3	0.011 \pm 0.019	0.004	0.001–0.123
γ -HCH	Not detected			
<i>pp'</i> DDE	100	0.893 \pm 0.780	0.760	0.017–5.604
<i>op'</i> DDT	76	0.022 \pm 0.022	0.016	0.001–0.179
<i>pp'</i> DDT	98.2	0.062 \pm 0.071	0.045	0.002–0.727
Σ -DDT*		0.972 \pm 0.821	0.833	0.017–5.896

* Σ -DDT Sum of the compounds *pp'*DDE, *op'*DDT and *pp'*DDT

Table 2 Organochlorine pesticide levels (mg/kg on basis fat) in certain countries

Country	HCB	β -HCH	<i>pp</i> 'DDE	<i>pp</i> 'DDT
	Median			
United Kingdom (Kalantzi et al. 2004)	0.018	0.017	0.150	0.006
Belgium (Colles et al. 2008)	0.016	–	0.096	–
Australia (Mueller et al. 2008)	0.014	0.021	0.279	0.007
Germany (Zietz et al. 2008)	0.031	0.017	–	–
Belgium (Croes et al. 2012)	0.006	0.006	0.057	0.003
Tunisia (Ennaceur et al. 2007)	0.114	0.027	1.389	0.484
USA (Johnson-Restrepo et al. 2007)	0.002	0.004	0.035	0.001
Colombia (Rojas-Squella et al. 2013)	–	–	0.126	–
	Mean			
Turkey (Cok et al. 2011)	0.150	0.039	1.062	0.256
India (Devanathan et al. 2009)	0.003	1.408	0.900	0.143
Hong Kong (Hedley et al. 2010)	0.022	0.940	–	–
China (Song et al. 2013)	–	0.175	0.334	0.011
	Median			
This study	0.009	0.004	0.760	0.045
	Mean			
	0.013	0.011	0.893	0.062

HCB and β -HCH presented low levels, with a mean of 0.013 and 0.011 mg/kg, respectively. The concentrations of *op*'DDT and *pp*'DDT showed levels at 0.022 and 0.062 mg/kg, indicating a low exposure to these insecticides. The principal contributor of total DDT was the metabolite *pp*'DDE which revealed a mean of 0.893 mg/kg and a broad range of 0.017–5.604 mg/kg. The SD of obtained values was high from most of the compounds indicating a great variability of concentrations (Table 1).

The production and use of organochlorine pesticides were restricted in most countries from the 1970s, although in some countries they are still used for the prevention and control of vector-borne diseases such as malaria, and ectoparasites. To assess the exposure levels of the study population compared to other countries and areas in Mexico, data obtained were compared with recent reports in breast milk of women with similar age to that of this population. According to Table 2, it was observed that HCB levels are slightly lower (0.009 mg/kg) than those obtained in Europe and Oceania countries. Colles et al. (2008) reported a median value of 0.016 mg/kg in Belgium, and Kalantzi et al. (2004) and Mueller et al. (2008) found similar results in the United Kingdom (0.018 mg/kg) and Australia (0.014 mg/kg), respectively. Zietz et al. in

Table 3 Organochlorine pesticide levels (mg/kg on basis fat) in Mexico

Study	β -HCH	<i>pp</i> 'DDE	<i>pp</i> 'DDT
	Median		
Chiapas (López et al. 2006)	–	1.259	0.277
San Luis Potosí (López et al. 2006)	–	0.268	0.018
	Mean		
Mexico city (Prado et al. 2004)	0.615	0.855	0.645
Yucatán (Rodas et al. 2008)	0.612	3.042	0.210
Veracruz (Waliszewski et al. 2002)	–	3.230	0.510
Veracruz (Waliszewski et al. 2009)	0.079	1.585	0.460
	Median		
This study	0.004	0.760	0.045
	Mean		
	0.011	0.893	0.062

2008 found values of 0.031 mg/kg in a German population. Higher concentrations were registered for Ennaceur et al. (2007) in Tunisia (0.114 mg/kg). HCB was used as a fungicide for seed treatment, but it is also a byproduct formed by industrial processes, and one reason that could explain these differences in levels of HCB is that in the State of Guerrero there are no major sources of this pollutant, which is reflected in the low values obtained.

β -HCH mean concentrations were less than those found in Hong Kong (0.940 mg/kg) and China (0.175 mg/kg) (Hedley et al. 2010; Song et al. 2013). In a study carried out in India, the obtained results were 1.408 mg/kg (Devanathan et al. 2009). Moreover, Cok et al. (2011) found levels in Turkey which are three times higher than the values found in this study (0.039 mg/kg) (Table 2). In different populations in Mexico, concentrations of this compound exceeded by 7–50 times the values of this study (Prado et al. 2004; Rodas et al. 2008; Waliszewski et al. 2009) (Table 3). Due to environmental conditions, the need to combat ectoparasites and disease vectors are different in these places, which is reflected in the exposure of residents to chemicals.

The residues of *pp*'DDT which remain in the environment and food are the main indicators of DDT exposure. Comparing the results obtained in this study (0.045 mg/kg) to those reported by Ennaceur et al. (2007) in Tunisia, a median level of *pp*'DDT exceeded 10 times these results (0.484 mg/kg). Otherwise, participants had *pp*'DDT levels higher than those found in countries where DDT was banned more than 30 years ago, such as in the USA, Belgium, United Kingdom and Australia (Johnson-Restrepo et al. 2007; Croes et al. 2012; Kalantzi et al. 2004 and Mueller et al. 2008) where the median values of the insecticide were as follows: 0.001, 0.003, 0.006 and 0.007 mg/kg, respectively (Table 2).

Table 4 Median concentrations of pesticides (mg/kg on basis fat) among age groups (years) and correlation analysis

	<20	21–23	24–28	>29	r
HCB	0.006*	0.011	0.014*	0.009	0.382**
β-HCH	0.004	0.005	0.006	0.005	0.190
pp'DDT	0.043	0.039*	0.047	0.048*	0.110
op'DDT	0.015	0.010	0.019	0.016	0.081
pp'DDE	0.859	0.913*	0.530*	0.807*	0.076
Σ-DDT	0.888	0.966*	0.613*	0.862*	0.083

* $p < 0.05$ of Kruskal–Wallis test

** $p < 0.05$ of correlation analysis

Also, obtained results were compared with other studies conducted in different regions of Mexico, which had historical applications of these insecticides. For example, in Yucatan, Rodas et al. (2008) reported 0.210 mg/kg for pp'DDT; in Veracruz, Waliszewski et al. (2002, 2009) found mean concentrations of 0.510 and 0.460 mg/kg of pp'DDT, respectively; and Prado et al. (2004) reported mean values of 0.645 mg/kg of this pesticide in Mexico city. Lopez et al. (2006) did a study on women in endemic areas for malaria such as Chiapas and San Luis Potosi, in which pp'DDT concentrations were 6 times higher in Chiapas (0.277 mg/kg) than those found in this study (0.045 mg/kg). By contrast, in San Luis Potosi, the values were lower (0.018 mg/kg) than those reported in Guerrero (0.045 mg/kg) (Table 3). Meanwhile, median concentrations of pp'DDE (0.760 mg/kg) were higher than those found in Colombia by Rojas-Squella et al. (2013) (0.126 mg/kg) and in Massachusetts, USA by Johnson-Restrepo et al. (2007) (0.035 mg/kg) (Table 2). Also, in a study carried out in suburban and urban areas of Mexico City (Prado et al. 2004), the mean values were similar (0.855 mg/kg) to those obtained in Guerrero (0.893 mg/kg) (Table 3).

According to the values of the Pearson correlation coefficient, a slight influence of the age of participants on concentration of β-HCH, pp'DDE, op'DDT and pp'DDT was observed (Table 4). Only in the case of HCB there was a moderate relationship ($r = 0.382$). Also, participants were divided into four groups (<20, 21–23, 24–28 and >29 years), based on the idea that older persons would have higher concentrations caused by a more prolonged time of exposure. This hypothesis was tested according to the results of the comparison analysis, which showed that the medians of HCB, pp'DDE and pp'DDT were statistically different ($p < 0.05$) among some age groups: <20/24–28 years for HCB; 21–23/24–28 and 24–28/>29 years for pp'DDE; and 21–23/>29 years for pp'DDT. The younger age groups had decreased levels of these compounds, with the exception of groups 21–23/24–28 years which had 0.913 and 0.530 mg/kg of pp'DDE, respectively

(Table 4). Because of the predominance of pp'DDE, Σ-DDT values also increased significantly ($p = 0.05$) in group >29 years (0.862 mg/kg) compared to the group 24–28 years (0.613 mg/kg), but decreased significantly ($p < 0.05$) in group 24–28 years (0.613 mg/kg) compared to the group 21–23 years (0.966 mg/kg). There was an increase in concentrations of β-HCH in age groups, but the increase was not statistically significant ($p > 0.05$). Changes in op'DDT levels between age groups showed no trend and were not significant ($p > 0.05$) (Table 4). Because the use of pesticide DDT has been banned in Mexico since 1999, op'DDT values remain stable in the population without significant changes between age groups. It is expected that in a few years this isomer will not be detectable in samples of people of Guerrero. Based on the results, age has an influence on the concentration of organochlorine pesticides, but there are variables (not examined in this work) such as gender, number of children, duration of lactation, and others that affect the levels found. In conclusion, the presence of HCB, β-HCH, pp'DDE, op'DDT and pp'DDT in most of the analyzed samples was detected. The concentrations of these pesticides had a heterogeneous distribution with a high variability in participants. There were significant differences in levels of HCB, pp'DDE and pp'DDT among some age groups. The study population presented lower levels of organochlorine pesticides compared to other States in Mexico, which may be due to the need for application of insecticides for controlling disease vectors being different in these other regions due to their particular environmental conditions. Since 1999, when the use of this pesticide was banned, there has been an overall decrease in concentrations of pp'DDT in the environment and food, and a continuance of high concentrations of pp'DDE. Therefore, from this monitoring study it can be deduced that human contamination levels will decrease with time, and this tendency is going to reduce children's exposure to these compounds through breast milk during the first months of life.

Acknowledgments This project was funded by National Council of Science and Technology and Government of Guerrero (GUE-2009-01-126320). The authors express their appreciation to Winston Smith for his help in editing this article.

References

- Cok İ, Yelken C, Durmaz E, Üner M, Sever B, Satir F (2011) Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide levels in human breast milk from the mediterranean city Antalya, Turkey. *Bull Environ Contam Toxicol* 86:423–437
- Colles A, Koppen G, Hanot V, Nelen V, Noë E, Malisch R, Kotz A, Kypke K, Biot P, Vinkx C, Schoeters G (2008) Fourth WHO-coordinated survey of human milk for persistent organic pollutants (POPs): Belgian results. *Chemosphere* 73:907–914

- Croes K, Colles A, Koppen G, Govarts E, Bruckers L, Van de Mieroop E, Nelen V, Covaci A, Dirty AC, Thomsen C, Haug LS, Becher G, Schoeters G, Van Larebeke N, Baeyens W (2012) Persistent organic pollutants (POPs) in human milk: a biomonitoring study in rural areas of Flanders (Belgium). *Chemosphere* 89:988–994
- Devanathan G, Subramanian A, Someya M, Sudaryanto A, Isobe T, Takahashi S, Chakraborty P, Tanabe S (2009) Persistent organochlorines in human breast milk from major metropolitan cities in India. *Environ Pollut* 157:148–154
- Ennaceur S, Gandoura N, Driss MR (2007) Organochlorine pesticide residues in human milk of mothers living in northern Tunisia. *Bull Environ Contam Toxicol* 78:325–329
- Gallardo EG (2000) Situación actual de la malaria y el uso de DDT en México. Pan American Health Organization-Health Department of México, México
- Hedley AJ, Hui LL, Kypke K, Malisch R, van Leeuwen FXR, Moy G, Wong TW, Nelson EAS (2010) Residues of persistent organic pollutants (POPs) in human milk in Hong Kong. *Chemosphere* 79:259–265
- Johnson-Restrepo B, Addink R, Wong C, Arcaro K, Kannan K (2007) Polybrominated diphenyl ethers and organochlorine pesticides in human breast milk from Massachusetts, USA. *J Environ Monit* 9:1205–1212
- Kalantzi OI, Martin FL, Thomas GO, Alcock RE, Tang HR, Drury SC, Carmichael PL, Nicholson JK, Jones KC (2004) Different levels of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and chlorinated compounds in breast milk from two UK regions. *Environ Health Perspect* 112:1085–1091
- Lopez D, Yañez L, Athanasiadou M, Bergman A, Herrera C, Diaz F (2006) Determinación de niveles de DDT, DDE y DDE-MeSO₂ en leche materna y sangre de poblaciones contaminadas por DDT en México. *Acta Toxicol Argent* 14:34–46
- Mueller JF, Harden F, Toms LM, Symons R, Furst P (2008) Persistent organochlorine pesticides in human milk samples from Australia. *Chemosphere* 70:712–720
- Prado G, Diaz G, Noa M, Mendez I, Cisneros I, Castorena F, Pinto M (2004) Niveles de pesticidas organoclorados en leche humana de la ciudad de México. *Agro Sur* 32:60–69
- Rodas JP, Ceja V, Gonzalez RL, Alvarado J, Rodriguez ME, Gold-Bouchot G (2008) Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls levels in human milk from Chelem, Yucatán, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 80:255–259
- Rojas-Squella X, Santos L, Baumann W, Landaeta D, Jaimes A, Correa JC, Sarmiento OL, Ramos-Bonilla JP (2013) Presence of organochlorine pesticides in breast milk samples from Colombian women. *Chemosphere* 91:733–739
- Song S, Ma X, Tong L, Tian Q, Huang Y, Yin S, Sun H (2013) *Environ Monit Assess.* doi:10.1007/s10661-013-3096-4
- Waliszewski SM, Pardo VT, Chantiri JN, Infanzon RM, Rivera J (1996) Organochlorine pesticide residues in human breast milk from tropical areas in Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 57:22–28
- Waliszewski SM, Bermudez MT, Infanzon RM (2002) Niveles de DDT en tejido adiposo materno, suero sanguíneo y leche de madres residentes en Veracruz, México. Estudio 1997–1999. *Rev Int Contam Ambient* 18:17–25
- Waliszewski SM, Melo-Santiesteban G, Villalobos-Pietrini R, Gomez-Arroyo S, Amador-Munoz O, Herrero-Mercado M, Carvajal O (2009) Breast milk excretion kinetic of *b*-HCH, pp'DDE and pp'DDT. *Bull Environ Contam Toxicol* 83:869–873
- Zietz BP, Hoopmann M, Funcke M, Huppmann R, Suchenwirth R, Gierden E (2008) Long-term biomonitoring of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in human milk from mothers living in northern Germany. *Int J Hyg Environ Health* 211:624–638

X. GLOSARIO

COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
CV	Coefficiente de Variación
DDA	Dicloro Difenil Àcido Acético
DDE	Dicloro Difenil Dicloroetileno
DDT	Dicloro Difenil Tricloroetano
DE	Desviación Estándar
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GABA	Ácido Gamma-aminobutírico
HCB	Hexaclorobenceno
HCH	Hexaclorociclohexano
IARC	Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LMR	Límite Máximo Residual
OMS	Organización Mundial de la Salud
OR	Razón de momios o Riesgo Calculado
SIG	Sistema de Información Geográfico