



**Documentos**  
***Evaluación de Riesgos en  
Inocuidad de Alimentos***

*Residuos de plaguicidas organoclorados en  
matrices de carne y leche de origen bovino*



# DOCUMENTOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS EN INOCUIDAD DE ALIMENTOS

Perfil de riesgo de residuos de plaguicidas organoclorados en  
matrices de carne y leche de origen bovino

REPÚBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL  
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD

Bogotá, D.C., 2015

**ALEJANDRO GAVIRIA URIBE**  
Ministro de Salud y Protección Social

**NORMAN JULIO MUÑOZ MUÑOZ**  
Viceministro de Protección Social

**FERNANDO RUIZ GÓMEZ**  
Viceministro de Salud Pública  
y Prestación de Servicios

**MARTHA LUCIA OSPINA MARTÍNEZ**  
DirectorS General Instituto Nacional de Salud

**MÁNCEL ENRIQUE MARTÍNEZ DURÁN**  
Director de Vigilancia y Análisis  
de Riesgo en Salud Pública

**OSCAR EDUARDO PACHECO GARCÍA**  
Subdirector de Prevención Vigilancia  
y Control en Salud Pública

**HERNÁN QUIJADA BONILLA**  
Subdirector de Análisis del Riesgo y  
Respuesta Inmediata

**YULY ANDREA GAMBOA MARÍN**  
Líder Grupo de Evaluación de Riesgos en  
Inocuidad de Alimentos ERIA

**GRUPO DE COMUNICACIÓN DEL RIESGO**



**Evaluación de Riesgo en  
Inocuidad de Alimentos**

**Perfil de riesgo de residuos de plaguicidas organoclorados en  
matrices de carne y leche de origen bovino**

Instituto Nacional de Salud (INS)  
Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA)

**ISSN: 2422-0965**

Para citar: Instituto Nacional de Salud, Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos. Perfil de riesgo de residuos de plaguicidas organoclorados en matrices de carne y leche de origen bovino. Página. Bogotá, D. C., Colombia. 2015

Todos los derechos reservados. El Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA), autoriza la reproducción y difusión del material contenido en esta publicación para fines educativos y otros fines NO comerciales, sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, especificando claramente la fuente. El Grupo ERIA, prohíbe la reproducción del material contenido en esta publicación para venta, reventa u otros fines comerciales, sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Estas solicitudes deben dirigirse al Grupo ERIA, Avenida calle 26 No 51-20, Bloque B Of 250 o al correo electrónico [eria@ins.gov.co](mailto:eria@ins.gov.co).

ERIA 2015  
Todos los derechos reservados  
Bogotá D.C., Colombia 2015



Grupo de redacción

Teresa PÉREZ HERNÁNDEZ  
QF. M.Sc Toxicología  
Epidemióloga. M.Sc. Inocuidad de Alimentos

Ángela María OTÁLVARO ÁLVAREZ  
Ingeniera Química  
M.Sc. Ing. Química. Dra. Ing. Química

Javier Francisco REY RODRÍGUEZ  
Ingeniero de Alimentos Esp

Henry REYES PINEDA  
Ing. Químico. Esp.Dr. en Ing. Química y Nuclear

Nathaly MARULANDA PAREDES  
MD. M.Sc. Toxicología. Epidemióloga. M.Sc Socio Sanitaria

Iván Camilo SÁNCHEZ BARRERA  
Ing. Químico. Esp. M.Sc. Ciencia y Tecnología de Alimentos

María Pilar MONTOYA  
Microbióloga Agrícola y Veterinaria

## Revisores Científicos Internacionales

### **Olga PARDO MARÍN.**

Ph.D. en Química. Técnico de Seguridad Alimentaria en la Dirección General de Salud Pública-Generalitat Valenciana

### **Mónica FERNÁNDEZ FRANZÓN**

Ph.D en Farmacia. Docente área de toxicología de la Universitat de València

## Revisores Científicos Nacionales

### **Yuby Sulema ASCANIO SUÁREZ.**

Bacterióloga. Profesional Universitario del Grupo Sistema de Análisis de Riesgos Químicos en Alimentos y Bebidas. Dirección de Alimentos y Bebidas. INVIMA

### **Edgar Arturo GUERRERO ÁNGEL.**

Químico. Profesional Especializado del Grupo Sistema de Análisis de Riesgos Químicos en Alimentos y Bebidas. Dirección de Alimentos y Bebidas. INVIMA

### **Sandra Nayibe VEGA FÉRIZ.**

Ingeniera de Alimentos, M.Sc. Ciencia y Tecnología de Alimentos, M.Sc. Gestión y Seguridad Alimentaria. Grupo ERIA

### **Yuly Andrea GAMBOA MARIN.**

Bacterióloga y Laboratorista Clínico, M.Sc en Microbiología, Mg en Gerencia de Programas Sanitarios en Inocuidad de Alimentos. Grupo ERIA

### **Amanda Carolina MORA GUZMÁN.**

Ingeniera Química, M.Sc. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Grupo ERIA.

### **Marlib Paloma SÁNCHEZ TORRES.**

MD, M.Sc. Toxicología. Grupo ERIA.

### **Jaime Alberto GUERRERO MONTILLA.**

Químico de Alimentos. Esp. en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Grupo ERIA.

### **José Antonio CHÁVES YELA.**

Ingeniero de Alimentos. Esp. en Epidemiología. Grupo ERIA.

### **MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL.**

Dirección de Promoción y Prevención, Dirección de Epidemiología y Demografía.



## Agradecimientos

El grupo de redacción agradece a la Dra. Cilia Leonor Fuentes Piedrahita, Kepa Stephan Silva Orduz, Howard Armando Junca Díaz, William Albarracín Hernández y Natalia Valderrama de la Universidad Nacional de Colombia por sus valiosos aportes. A Marlib Paloma Sánchez Torres y Amanda Carolina Mora Guzmán del grupo ERIA por su colaboración.



## Resumen

El grupo de Evaluación de Riesgos para la Inocuidad de los Alimentos (ERIA) del Instituto Nacional de Salud (INS) realizó la gestión para el presente perfil de riesgo por solicitud del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) y del Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS), para lo cual convocó un panel de expertos con el fin de establecer los factores de riesgo asociados a la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en matrices de carne y leche de origen bovino, alimentos consumidos por la población colombiana, incluyendo población especial como los infantes.

Este perfil permite identificar los aspectos de estas sustancias que son pertinentes y relevantes para determinar el riesgo que conlleva su exposición a través del consumo de estos alimentos y así establecer prioridades en la política de evaluación de riesgos, construir normas de inocuidad y plantear estrategias de gestión para el país. Siguiendo la metodología del análisis del riesgo, este documento contiene la definición del peligro, la caracterización de las cadenas productivas, las fuentes de exposición de plaguicidas organoclorados, la evaluación de la exposición, las patologías asociadas a la ingesta de residuos de plaguicidas organoclorados y las medidas de control, así como las conclusiones de respuesta a los términos de referencia formulados por los gestores, las recomendaciones y los vacíos de información.

Los plaguicidas organoclorados son sustancias químicas derivadas de los hidrocarburos clorados que se caracterizan por su alta solubilidad en solventes orgánicos y grasas. Han sido desarrollados por la industria para uso agrícola y en general, para el control de vectores. Se consideran Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) por su resistencia a la degradación. Entre estos compuestos se encuentran el Endosulfán, DDT, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Heptacloro, HCH (Lindano), Toxafeno, Clordano y 2,4-D, entre otros.

La carne y la leche de origen bovino, así como sus derivados, constituyen dos fuentes principales de nutrición para la población colombiana que, debido a su alto contenido graso, pueden estar contaminadas por sustancias químicas liposolubles que se bioconcentran a través de la cadena alimenticia, generando



riesgo en la salud de los consumidores. Aunque los plaguicidas organoclorados están prohibidos en el país para uso agrícola y control de vectores transmisores de enfermedades para la población, la contaminación con residuos de plaguicidas puede darse en diferentes etapas de la producción, incluso desde la alimentación del ganado con pasturas por la presencia de residuos en el suelo y los cuerpos hídricos utilizados para el riego; debido a la contaminación ambiental, los concentrados para alimentación animal y el aire de los sitios donde pastan los animales.

Los efectos en salud de los plaguicidas organoclorados están relacionados con neurotoxicidad e inmunotoxicidad, afectando principalmente el Sistema Nervioso Central (SNC) y la disminución de la respuesta inmune. Con respecto a efectos carcinogénicos no hay datos concluyentes, aunque algunas de estas sustancias están clasificadas por la IARC (Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer) en los **grupos IIb** (posiblemente carcinógeno para el ser humano).

Aunque la información disponible sobre presencia y concentración de residuos organoclorados en las matrices mencionadas es escasa en el país, se realizaron estimaciones de exposición predictivas con base en datos ambientales, las cuales fueron clasificadas en bajo riesgo teniendo en cuenta que la exposición se calculó sobre el consumo reportado en 2005 para población adulta en general. Sin embargo, algunos estudios reportan valores mayores a los límites máximos permitidos, que pueden estar asociados a malas prácticas agrícolas tales como los entierros que han generado contaminaciones altas de estos plaguicidas en sitios específicos, principalmente en los departamentos de Bolívar, Cesar y Tolima. Otros departamentos que pueden ser susceptibles de contaminación con organoclorados de acuerdo con la producción de carne y leche, son Córdoba, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Meta y Casanare, que pueden tener su origen en contaminación ambiental y transmisión por la cadena trófica.

Este documento evidenció la necesidad de contar con planes de monitoreo robustos para carne y leche bovina de producción nacional e importada al país, por la puesta en vigencia de los Tratados de Libre Comercio (TLC), que permitan la obtención de datos para la elaboración de una evaluación de riesgos. Así mismo, se requiere fortalecer los programas de muestreo y monitoreo de plaguicidas organoclorados en fuentes hídricas y suelos, así como en pasturas y forrajes, de tal manera que se propicie una caracterización completa de la problemática asociada a la exposición a residuos de este grupo de compuestos.

## Contenido

Justificación, Términos de referencia, Alcance y objetivos.....	18
Justificación del Ministerio de Salud y Protección Social.....	18
Términos de referencia.....	19
Alcance.....	20
Objetivos.....	20
1.    Introducción.....	22
2.    Combinación Peligro/Alimento.....	24
2.1.    Residuos de plaguicidas organoclorados.....	24
2.1.1.    Generalidades de los plaguicidas organoclorados.....	24
2.1.2.    Ciclo ambiental.....	25
2.1.3.    Fuentes de contaminación.....	26
2.1.4.    Métodos de análisis.....	27
2.2.    Descripción de los alimentos.....	28
2.2.1.    Características generales del alimento.....	28
2.2.2.    Producción y consumo mundial.....	29
2.2.3.    Producción en Colombia.....	31
2.2.4.    Balanza comercial.....	32
2.2.5.    Acuerdos comerciales.....	33
2.2.6.    Cadena productiva.....	34
2.3.    Presencia del peligro en la cadena alimentaria.....	36
2.3.1.    Carne bovina.....	36
2.3.2.    Leche bovina.....	37
2.3.3.    Zonas de producción de carne y leche bovina y contaminación ambiental.....	39
3.    Efectos adversos en salud asociados al peligro.....	42
3.1.    Toxicología.....	42
3.1.1.    Toxicocinética.....	42
3.1.2.    Toxicodinámica.....	45
3.2.    Grupo Riesgo.....	52
3.3.    Información epidemiológica en el contexto internacional.....	53
3.4.    Información epidemiológica en el contexto nacional.....	54

3.5.	Relación dosis respuesta .....	55
3.5.1.	Internacional .....	55
3.5.2.	Nacional .....	57
4.	Evaluación de la exposición .....	58
4.1.	Datos de consumo .....	59
4.2.	Cálculo de la exposición por consumo de carne y leche .....	59
4.2.1.	Estimación de la exposición por consumo de carne y leche con datos del modelo .....	59
4.2.2.	Evaluación de la exposición reportada en investigaciones .....	62
4.2.3.	Efectos por el procesamiento del alimento .....	65
5.	Medidas de prevención y control .....	66
6.	Carencias de datos y futuras necesidades de investigación .....	68
7.	Conclusiones .....	70
8.	Recomendaciones .....	72
	Abreviaturas, Siglas y Acrónimos .....	74
	Glosario .....	76
	Referencias Bibliográficas .....	78
	Anexos .....	92

## Índice de Tablas

Tabla 1. Concentración de algunos plaguicidas OCL detectados en aguas de varios lugares de la Costa Caribe colombiana .....	27
Tabla 2. Distribución de la producción mundial de carne en miles de toneladas métricas por año.....	29
Tabla 3. Estudios internacionales de OCL en carne bovina .....	37
Tabla 4. Estudios internacionales de plaguicidas OCL en leche bovina .....	38
Tabla 5. Estudios nacionales de plaguicidas OCL en leche bovina.....	39
Tabla 6. Aspectos toxicocinéticos particulares de los plaguicidas OCL.....	44
Tabla 7. Plaguicidas OCL clasificados de acuerdo con la IARC .....	48
Tabla 8. Manifestaciones clínicas particulares reportadas para cada plaguicida.....	50
Tabla 9. Determinación en muestras biológicas y valores de referencia .....	51
Tabla 10. Grupo de riesgo por consumo para la población colombiana.....	53
Tabla 11. Reglamentación internacional <i>Codex Alimentarius</i> .....	56
Tabla 12. Reglamentación internacional Unión Europea .....	56
Tabla 13. Consumo de carne y leche en la población general colombiana ...	59
Tabla 14. Ingesta de carne y leche en población infantil en Colombia .....	59
Tabla 15. Estimación de la exposición a residuos de plaguicidas OCL en carne y leche .....	60
Tabla 16. Exposición con corrección a peso corporal promedio .....	60
Tabla 17. Evaluación de exposición para OCL presente en la carne respecto al modelo.....	61
Tabla 18. Evaluación de exposición para OCL presente en la leche líquida utilizando el modelo .....	61
Tabla 19. Evaluación de exposición para OCL presente en la leche en polvo utilizando el modelo.....	62
Tabla 20. Estimación del riesgo de residuos de OCL presentes en muestras de leche pasteurizada de dos marcas comerciales distribuidas en Cartagena, Bolívar .....	63
Tabla 21. Estimación la dosis de exposición (DE) para el estudio realizado en Cartagena, Bolívar .....	64

Tabla 22.	Estimación de la relación IDP/IDA de OCL en muestras de leche cruda de subregiones del departamento de Córdoba, Colombia.....	64
Tabla 23.	Reducción de la concentración de compuestos OCL por procesamiento térmico para diferentes alimentos .....	65
Tabla 24.	Propiedades de los plaguicidas OCL .....	93
Tabla 25.	Métodos analíticos de multi-residuos para la determinación de plaguicidas OCL en carne y leche. ....	94
Tabla 26.	Parámetros cinéticos de los plaguicidas OCL. ....	95
Tabla 27.	Normativa sobre plaguicidas OCL prohibidos o restringidos en Colombia por el MSPS. ....	96
Tabla 28.	Cálculos desarrollados al aplicar el modelo para obtener la CAE a 2012. ....	103
Tabla 29.	Concentraciones estimadas de OCL en pasturas a 2012.....	104
Tabla 30.	Concentración final estimada de los pesticidas OCL en carne y leche .....	104

## Índice de gráficas

Gráfica 1: Ciclo de plaguicidas en el ambiente .....	25
Gráfica 2. Origen de la contaminación de carne y leche .....	26
Gráfica 3. Producción mundial de leche .....	30
Gráfica 4. Producción de leche en Latinoamérica .....	30
Gráfica 5. Inventario bovino por departamento en Colombia .....	31
Gráfica 6. Producción de leche en Colombia (litro/día).....	32
Gráfica 7. Eslabones de la cadena cárnica bovina en Colombia .....	35
Gráfica 8. Eslabones de la cadena láctea bovina en Colombia .....	36
Gráfica 9. Regiones de producción de carne y leche bovina y departamentos con presencia de OCL en Colombia .....	40
Gráfica 10. Efectos oxidativos del Dieldrín .....	46
Gráfica 11. Genotoxicidad del Dieldrín.....	47
Gráfica 12. Estimación teórica de la aplicación de organoclorados en pastos. ....	101



## Justificación, Términos de referencia, Alcance y Objetivos

### Justificación del Ministerio de Salud y Protección Social

El uso indiscriminado de compuestos organoclorados en las prácticas agrícolas y pecuarias ha dado como resultado que se diseminen por toda la superficie del planeta, debido a su difusión por aire y su persistencia, llegando a encontrarse en el tejido adiposo de osos polares, quienes nunca han estado en contacto directo con el plaguicida (1). Los plaguicidas organoclorados (OCL) son COP que generan impacto ambiental y una gran variedad de efectos tóxicos en animales y seres humanos toda vez que se concentran en tejido adiposo, conllevando su persistencia, bioconcentración y biomagnificación a través de la cadena alimenticia.

En Colombia los OCL se encuentran estrictamente regulados existiendo tanto prohibiciones como restricciones de uso, compra y venta; sin embargo, en la actualidad, aún se encuentran residuos de estos plaguicidas en el ambiente debido a la inadecuada disposición de éstos, evidenciada por sitios potencialmente contaminados por derrames del pasado o por enterramientos, así como por la escorrentía y filtración de estos compuestos químicos. A su vez, nuestro país como miembro de la Convención de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, se encuentra desarrollando e implementando diferentes acciones para cumplir con dicho compromiso, entre los cuales están el monitoreo y estudio sobre la presencia de COP en alimentos.

La contaminación ambiental del agua, el suelo y las plantas por depósito de plaguicidas organoclorados, han llevado a la contaminación de los alimentos para el consumo humano. La contaminación de los pastos y su posterior ingesta, por el ganado bovino, resulta en la contaminación de leche y carne, los cuales se consideran como la mayor fuente de residuos de estos plaguicidas en la



alimentación humana. Estudios internacionales como el desarrollado en la región de Veracruz (México), documentaron la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en carne de bovino en concentraciones medias superiores a los límites recomendados por el *Codex Alimentarius*, principalmente se encontraron residuos de DDT, hexaclorobenceno, Lindano y otros hexaclorociclohexanos (HCH), indicando una contaminación bovina generalizada en la región de Veracruz.

En nuestro país, diversos estudios han encontrado residuos de plaguicidas organoclorados en alimentos, como los desarrollados por Vargas-Melo, Castilla-Pinedo y Hernández-Vidal, en los cuales se reporta la presencia de estos contaminantes en leche cruda y pasteurizada, generando un riesgo para la salud de los consumidores. En el año 2010 el INVIMA, en un monitoreo realizado en carne de bovino, encontró que el 8% de muestras analizadas contenían residuos del plaguicida Aldrín (OCL), sin embargo, los valores no sobrepasaban los límites máximos de residualidad establecidos por el *Codex*.

Como fuentes de contaminación de la leche y la carne de bovinos, están la suplementación alimenticia con residuos de cultivos como el algodón o de desechos de desmote de floricultura, así como el consumo por parte de los animales de pastos contaminados con residuos de estos plaguicidas. Por lo anterior, es necesario realizar un perfil de riesgo que determine los niveles de residuos de plaguicidas organoclorados a los cuales está expuesta la población general por consumo de carne de bovino que se produce y comercializa en nuestro país, con el fin de tomar las medidas pertinentes para la vigilancia y control en dicho producto de origen animal”

#### Términos de referencia

- ¿Cuáles plaguicidas organoclorados podrían ser encontrados como residuos en carne y leche bovina en Colombia?
- A partir de estimaciones predictivas y resultados de estudios nacionales de organoclorados en carne y leche de origen bovino en Colombia, frente a la normativa actual del país, ¿Cuáles de los plaguicidas organoclorados identificados como residuos podrían constituirse como un riesgo para la salud pública?

- De acuerdo con la producción de carne y leche bovina, ¿Cuáles regiones o departamentos pueden resultar con residuos de los plaguicidas organoclorados identificados?

## Alcance

Los plaguicidas organoclorados considerados en este perfil corresponden a aquellos que podrían ser encontrados como residuos en carne y leche de origen bovino en Colombia, los cuales han sido utilizados en el país. La bibliografía consultada para la realización de este perfil, corresponde a las publicaciones presentadas durante los últimos 40 años, debido a que los principales estudios realizados sobre plaguicidas organoclorados fueron publicados desde esta fecha.

## Objetivos

Realizar un perfil de riesgo de residuos de plaguicidas organoclorados presentes en carne y leche de origen bovino con el fin de identificar si representan o no un riesgo para la salud de la población colombiana.



## 1. Introducción

Los plaguicidas organoclorados son compuestos químicos derivados de hidrocarburos clorados que pueden contener átomos de Oxígeno (O) y Azufre (S) (2). Propiedades fisicoquímicas, como la alta solubilidad en solventes orgánicos y grasas hacen que sean fácilmente absorbidos y almacenados en el tejido adiposo de los organismos vivos, por lo que se bioacumulan y pueden causar efectos adversos en la salud a largo plazo (3). Estos compuestos fueron desarrollados para uso agrícola y sanitario en control vectorial. Sin embargo, actualmente son considerados como COP caracterizados por la resistencia a la degradación. Los plaguicidas Endosulfán, DDT, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Heptacloro, HCH (Lindano), Toxafeno, Clordano y 2,4-D, entre otros, pertenecen a este grupo (2).

Como consecuencia de sus propiedades fisicoquímicas y su persistencia en el ambiente, éstos pueden contaminar los alimentos, bioconcentrarse y biomagnificarse en la cadena alimenticia y estar presentes en las dietas de algunas especies empleadas en la alimentación del hombre como el ganado bovino, por lo cual la carne bovina y la leche, productos con alto contenido de grasa, pueden presentar residuos de plaguicidas OCL (4) y por lo tanto ser un factor de riesgo para los humanos que los consumen (5, 6). Teniendo en cuenta que la leche es un producto de consumo masivo, especialmente por grupos susceptibles como niños y mujeres gestantes, y que la carne de bovino es parte del aporte de proteínas a la dieta de los colombianos, es necesario identificar el riesgo para la salud de los consumidores debido a la exposición crónica a través de estos alimentos a plaguicidas OCL y sus efectos en salud.



## 2. Combinación Peligro/Alimento

### 2.1. Residuos de plaguicidas organoclorados

#### 2.1.1. Generalidades de los plaguicidas organoclorados

Se denominan plaguicidas OCL a un grupo de compuestos químicos sintéticos, utilizados para atacar, controlar o repeler plagas que afectan a los cultivos y controlar vectores que transmiten enfermedades (7). Corresponden a hidrocarburos clorados que pueden tener átomos de S y O en sus moléculas. Dentro de sus propiedades fisicoquímicas se cuentan alta estabilidad química, baja presión de vapor y alta solubilidad en solventes orgánicos (2).

En general estos compuestos son altamente liposolubles y tienen un volumen de distribución elevado (8). La concentración de estos residuos en tejido adiposo se eleva al pasar de herbívoros a carnívoros, presentando estos últimos las mayores concentraciones, lo que genera biomagnificación (9).

En cuanto a la exposición aguda, los plaguicidas OCL presentan toxicidad baja a moderada para los seres humanos y para algunas especies de animales (Fitoplancton, zooplancton y macrofitos, invertebrados y peces; suelo: lombriz, anfibios y reptiles tienen mayor sensibilidad que las aves *pato salvaje* y *halcón* y los mamíferos) (2). Estos compuestos tienen la capacidad de persistir en el medio ambiente por varios años, razón por la cual pueden encontrarse en el suelo, fuentes hídricas y plantas. Las características de los plaguicidas OCL se describen en la Tabla 1 del Anexo I.

En Colombia el uso de los OCL se inició en la década de los 50 (7) y por el bajo costo de producción y efectividad insecticida se hizo extensivo; sin embargo, debido a los efectos sobre el medio ambiente y salud, a partir de 1970 su utilización empezó a ser restringida, llegando a la prohibición de los registros agrícolas de algunos de estos productos (10).



### 2.1.3. Fuentes de contaminación

Alimentos de origen animal como la carne y la leche pueden contener residuos de plaguicidas OCL debido a la contaminación presente en los alimentos y el agua que consume el animal, que es un reflejo de la contaminación ambiental por este tipo de sustancias (Gráfico 2). De este modo, aunque el uso de plaguicidas OCL está prohibido o restringido en la mayoría de países, debido a la persistencia en el medio ambiente, la lipofilicidad y a la capacidad de bioacumularse y biomagnificarse en el tejido adiposo, pueden estar presentes en alimentos de origen animal que contienen grasa, como son la carne y la leche (12).



Fuente: Grupo de redacción ERIA  
Gráfica 2. Origen de la contaminación de carne y leche

Adicionalmente, los recursos hídricos pueden considerarse como una fuente de contaminación con OCL; en la Tabla 1 se reportan los niveles de algunos de estos compuestos en la Costa Atlántica colombiana.

Tabla 1. Concentración de algunos plaguicidas OCL detectados en aguas de varios lugares de la Costa Caribe colombiana

Plaguicida	Desembocadura Río Magdalena año1975 (ng/ml)	Bahía de Cartagena año1980 (ng/ml)	Ciénaga Grande Santa Marta año 1986 (ng/ml)
Aldrín	0,010	0,013	0,0002-0,0011
Heptacloro epóxido	0,010	0,030	NA
DDT y Metabolitos	0,140	0,018	0,001
Lindano	ND	NA	0,0004-0,0442
Heptacloro	ND	NA	0,282
Dieldrín	ND	0,002	0,0002-0,0019
Endrín	ND	0,032	NA

Fuente: Bonilla *et al.*, 2000 (13)

#### 2.1.4. Métodos de análisis

La determinación de compuestos OCL se realiza por diferentes técnicas analíticas e instrumentales, siendo la cromatografía de gases con detector de captura de electrones la más utilizada, aunque requiere la confirmación de la identidad del plaguicida por otro sistema analítico y el empleo de sistemas de extracción complejos con baja eficiencia en la extracción. Actualmente se vienen utilizando diferentes técnicas tales como: extracción líquido-líquido y la extracción *soxhlet*, que son reconocidas por su simplicidad y robustez a pesar del alto consumo de solvente y de los largos tiempos de análisis (14). La técnica de extracción actualmente desarrollada se basa en extracción y limpieza en fase sólida dispersiva conocida como QuEChERS (*Quick Easy Cheap Effective Rugged Safe*) (15, 16). Sin embargo, el desarrollo de detectores de masas acoplados a cromatografía de gases y la selección de iones moleculares apropiados que evita las interferencias de coextrayentes, aumenta la eficiencia en el análisis, debido a que sólo se requiere un sistema cromatográfico, que proporciona la selectividad necesaria para la identificación de los plaguicidas y una sensibilidad similar a la del detector de captura de electrones (17). Los métodos que se han desarrollado por organismos internacionales como AOAC, proporcionan métodos con límites de detección bajos que permiten detectar los residuos máximos permitidos.

## 2.2. Descripción de los alimentos

### 2.2.1. Características generales del alimento

#### 2.2.1.1. Carne bovina

El Decreto 1500 de 2007 (18) , define a la carne como *“la parte muscular y tejidos blandos que rodean al esqueleto de los animales de las diferentes especies, incluyendo su cobertura de grasa, tendones, vasos, nervios, aponeurosis y que ha sido declarada inocua y apta para el consumo humano”*. Mientras que el Codex la define como: *“todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin”* (19). La carne es el producto pecuario de mayor valor nutricional gracias a la cantidad y calidad de sus proteínas (hasta un 22%) y aminoácidos (la totalidad de los aminoácidos esenciales), además de poseer una buena cantidad de minerales y vitaminas biodisponibles para los seres humanos (20). El porcentaje de grasa podría alcanzar valores hasta del 28% en canal de vacuno (21).

#### 2.2.1.2. Leche bovina

El Decreto 616 de 2006 (22), define la leche como: *“producto de la secreción mamaria normal de animales, bovinos, bufalinos y caprinos lecheros sanos, obtenida mediante uno o más ordeños completos, sin ningún tipo de adición, destinada al consumo de leche líquida o elaboración posterior”*. En este Decreto se establece que la leche cruda debe contener mínimo 3% de grasa. Por su parte la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), define la leche como *“la secreción mamaria normal de animales lactantes que se obtiene de uno o más ordeños sin adiciones ni extracciones, y que se proyecta destinar al consumo como leche líquida o para su elaboración posterior”* (23).

## 2.2.2. Producción y consumo mundial

### 2.2.2.1. Carne bovina

La producción de carne bovina en el mundo se encuentra alrededor de 59 millones de toneladas por año, y está siendo dinamizada por las economías emergentes, donde se destacan Brasil y China (24); sin embargo, Estados Unidos sigue siendo el productor más importante. En la tabla 2 se relacionan los principales productores de carne bovina en el mundo entre los años 2010 y 2014. Entre los diez primeros productores de carne no se encuentra Colombia según lo reportado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (*USDA*, por sus siglas en inglés) (25).

**Tabla 2.** Distribución de la producción mundial de carne en miles de toneladas métricas por año

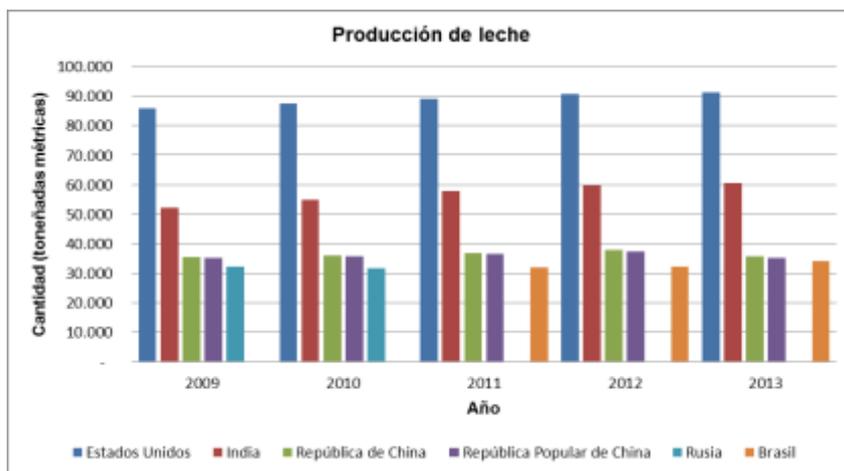
País	2010	2011	2012	2013	2014
Estados Unidos	12.046	11.983	11.848	11.752	11.126
Brasil	9.115	9.030	9.307	9.675	9.920
Unión Europea	8.101	8.114	7.708	7.384	7.475
China	6.531	6.475	6.623	6.700	6.525
India	3.125	3.308	3.491	3.800	4.100
Argentina	2.620	2.530	2.620	2.850	2.820
Australia	2.129	2.129	2.152	2.359	2.510
México	1.745	1.804	1.821	1.808	1.760
Pakistán	1.485	1.536	1.587	1.630	1.675
Rusia	1.435	1.360	1.380	1.380	1.390
Canadá	1.276	1.141	1.060	1.049	1.050
Mundo	58.488	58.153	58.522	59.435	59.598

Fuente: FAS/USDA, 2014 (25)

El consumo promedio de carne bovina a nivel mundial para 2014, fue de 57,8 millones de toneladas (25), con un consumo *per cápita* de 42,9 kg para 2012 (20).

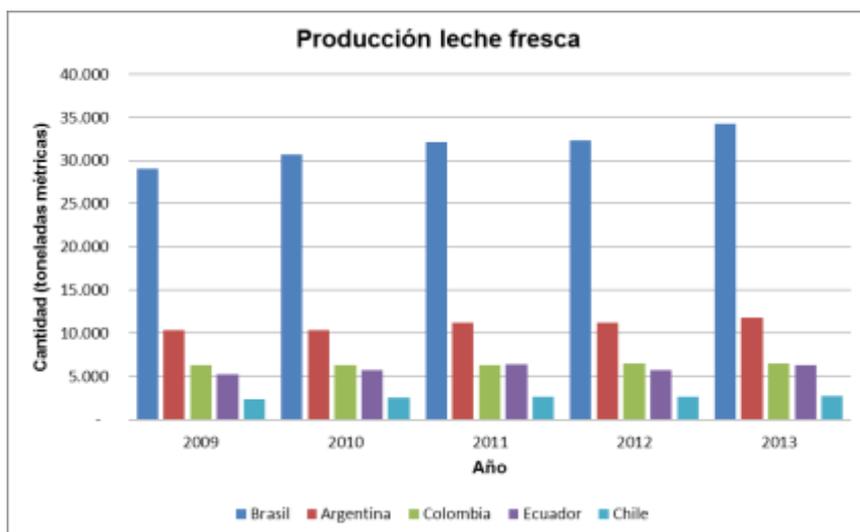
### 2.2.2.2. Leche bovina

De acuerdo con información de la *FAO*, el volumen de producción de leche anual para 2013 alcanzó la cifra de 746,7 millones de toneladas métricas (t) en el mundo, de los cuales más del 85% corresponde a leche bovina, representando un total de 635,6 millones de toneladas métricas (26). En el Gráfico 3 se muestran los principales productores de leche a nivel mundial donde se destacan Estados Unidos, India, China (República Popular y República Democrática), Rusia y Brasil (26).



Fuente: FAO-FAOSTAT, 2013 (26)  
Gráfica 3. Producción mundial de leche

Es importante resaltar el caso de Latinoamérica, que ha venido destacándose con un rápido crecimiento en la producción de leche a una tasa de aumento mayor al 4%. En el Gráfico 4 se ilustra la producción de leche en esta región.



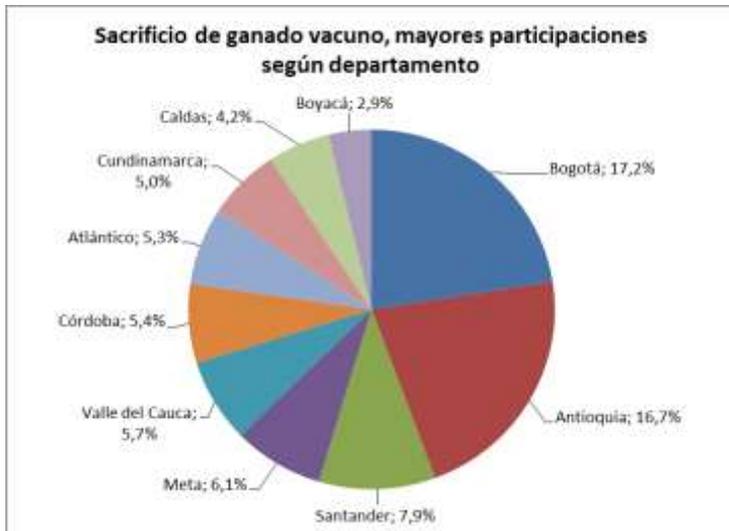
Fuente: FAO-FAOSTAT, 2013 (26)  
Gráfica 4. Producción de leche en Latinoamérica

El informe de *FAO* de 2012 describe dos comportamientos en el consumo de productos lácteos, el de países desarrollados con un consumo promedio de 234,3 litros *per cápita* y de países en desarrollo de 69,5 litros *per cápita* (27).

### 2.2.3. Producción en Colombia

#### 2.2.3.1. Carne bovina

Para 2013 el hato ganadero en el país estaba alrededor de 22,5 millones de cabezas, de las cuales el 60% se destinaba a la producción de carne (levante, cría y ceba), el 38% al doble propósito y el 2% restante a la producción especializada de leche (28). Esta producción se estableció en 41,7 millones de hectáreas. La producción de carne llegó a 957.000 t en el 2013 (29). De acuerdo con cifras del DANE (2014) (30), el sacrificio registrado en el año 2013 fue de 4.086.036 cabezas de ganado, su distribución a nivel nacional se muestra en el Gráfico 5, donde los departamentos con mayor sacrificio y producción de carne son Bogotá, D.C.; Antioquia, Santander, Meta, Valle del Cauca y Córdoba.



Fuente: Grupo de redacción, adaptado de DANE, 2014 (30)  
Gráfica 5. Inventario bovino por departamento en Colombia

En el 2013 la producción de leche en Colombia fue de 13.119.456 litros/día (28). El Gráfico 6 describe un histórico de la producción de leche en Colombia.



Fuente: DANE, ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA, 2009-2013.(28, 31-34)  
Gráfica 6. Producción de leche en Colombia (litro/día)

De acuerdo con los resultados de la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2012 (31) la distribución de producción de leche por departamentos indicó que la región central (Cundinamarca, Boyacá, Meta, Norte de Santander y Santander) produjo la mayor proporción con el 37%, seguida de la región Atlántica (Cesar, Magdalena, Córdoba, Atlántico, Guajira, Sucre y Bolívar) con el 32%; la Región Occidental (Antioquia, Huila, Quindío, Caldas y Risaralda), y la Región Pacífica (Valle del Cauca, Nariño y Cauca) producen respectivamente el 21% y el 7%.

## 2.2.4. Balanza comercial

### 2.2.4.1. Carne bovina

Rusia, Japón y Estados Unidos son los principales países importadores de carne en el mundo, con una participación en el mercado del 37%. India, Estados Unidos, Australia y Brasil, se destacaron como los principales exportadores de carne en el mundo, concentrando el 69% del total de las exportaciones (35). En el ámbito nacional, Colombia importó 593.961 kg de carne bovina en 2013.



Los principales países de origen fueron Argentina, Canadá, Chile, Estados Unidos y Uruguay. El total de las exportaciones colombianas de carne bovina (Toneladas equivalentes en carne deshuesada) en 2013 fueron de 73.444 t, las cuales estuvieron destinadas principalmente a Venezuela con un 96%, y países como Angola, las Antillas Holandesas, España, Hong Kong, Líbano, Vietnam y Perú.

### 3.2.4.2 Leche bovina

En el contexto internacional las importaciones de leche y productos lácteos para 2013 destacan a China, Rusia, Arabia Saudita, Argelia y México (36) como los principales importadores. Para el mismo año Rusia y la Unión Europea reportaron como los mayores importadores de mantequilla. Los principales importadores de queso fueron Rusia, la Unión Europea y Japón. En cuanto a leche en polvo descremada se encontró que Brasil y México resaltaron en América Latina, Argelia en África, y Rusia, China, Indonesia y Filipinas en Asia. Argelia se destacó por las importaciones de leche en polvo entera.

En las exportaciones reportadas del mismo año, Nueva Zelanda se destacó como el primer exportador de leche y productos lácteos, principalmente mantequilla y leche en polvo entera, aunque también se encontró entre los principales exportadores de leche en polvo descremada junto con Australia, la Unión Europea, India y Estados Unidos. Entre los mayores exportadores de queso para 2013 se resaltó de cada continente Estados Unidos, Argentina, la Unión Europea, Ucrania y Nueva Zelanda (36). Colombia importó en el año 2013 13.804 t de productos lácteos, principalmente leche líquida y otros derivados lácteos (yogurt, lactosuero, mantequilla y quesos). Por otro lado, se reportó una exportación de 1'447.283 t de estos mismos productos. Lo anterior demuestra la balanza positiva del sector lácteo en el país (37)

### 2.2.5. Acuerdos comerciales

Hasta el año 2012, el país mantuvo los siguientes acuerdos internacionales que incluyeron en su negociación la comercialización de carne y leche (38):

- MERCOSUR: disminución de aranceles en la importación de leche en polvo y carne.

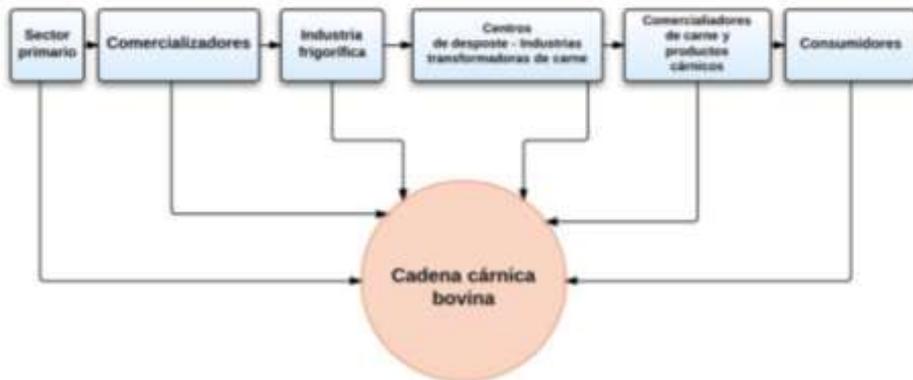
- Estados Unidos: desgravación inmediata de canales y carnes finas, disminución de aranceles para la comercialización de carne industrial y vísceras, disminución de aranceles progresivamente en 15 años en leche en polvo, quesos, mantequilla y yogurt.
- Unión Europea: disminución de aranceles para vísceras y despojos. Liberación progresiva de arancel a 17 años para leche en polvo, lactosuero y quesos.
- Suiza: arancel preferencial para leche en polvo.
- Chile: libre comercio de carne y leche a partir de 2012.
- México: aranceles preferenciales en carne bovina y derivados lácteos.
- Canadá: arancel preferencial en carne bovina y despojos.
- Corea: actualmente se encuentra suscrito un TLC que contempla un cupo de 9.900 t de carne bovina deshuesada y liberalización del comercio en 19 años. En lácteos se acordó un cupo sin arancel de 100 t de leche en polvo; desgravaciones a 10, 15 y 16 años para crema de leche, lactosueros, quesos y ariquipe, y desmonte de los aranceles para las bebidas lácteas.
- Israel: el tratado suscrito contempló un cupo de 500 toneladas sin arancel para exportación de carne refrigerada, sin embargo Colombia aún no cuenta con acceso sanitario para vender el producto a este país. Por otra parte, Israel otorgó a Colombia 0% de arancel para 100 toneladas de leche en polvo, 100 toneladas de lactosuero y 250 toneladas de queso.

## 2.2.6. Cadena productiva

### 2.2.6.1. Carne bovina

De acuerdo con lo reportado por FEDEGAN en el año 2011 (39), la ganadería representó el 1,7% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, lo que correspondió al 53% del PIB pecuario y al 20% del PIB agropecuario. Actualmente la cadena de la carne bovina en Colombia está conformada por los siguientes eslabones: producción de ganado especializado y doble propósito, comercialización de ganado en pie, producción de carne y subproductos, comercialización de carne y subproductos, y consumidores (40). En el Gráfico 8 se puede observar el esquema de la cadena cárnica en el país. La producción de ganado en el país es extensiva, donde se hace importante el manejo de pastos y forrajes (39). Este sistema prioriza la producción de machos por su índice de masa muscular (40).

El peso promedio para sacrificio de los animales está alrededor de los 400 kg, con una edad promedio de 38 meses (41).

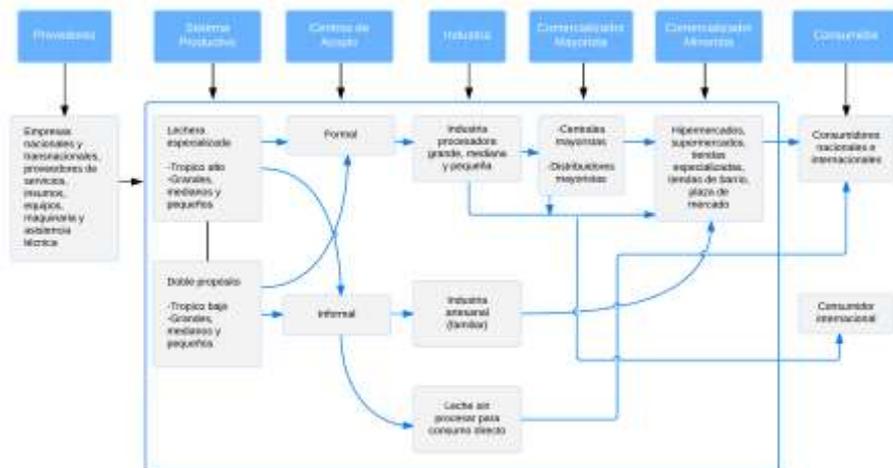


Fuente: FEDEGAN, 2012 (42)

Gráfica 7. Eslabones de la cadena cárnica bovina en Colombia

#### 2.2.6.2 Leche bovina

La cadena láctea en Colombia está compuesta principalmente por: producción primaria, centros de acopio, procesamiento industrial, comercialización (mayorista y minorista) y consumidores (43). El 70% de la producción nacional proviene de la ganadería especializada, mientras que la ganadería doble propósito aporta aproximadamente el 30% (39, 43). Se debe tener en cuenta que la producción de leche bovina disminuye en los tiempos de verano y aumenta en los de invierno (44). Del total de producción de leche, el 88% es absorbido por el eslabón industrial de la cadena dedicada a la pulverización y procesamiento de leche, mientras que el restante es aprovechado para el sostenimiento de terneros lactantes y autoconsumo de la población rural o comercialización en estratos bajos de la población (45). En el Gráfico 9 se representan los eslabones de la cadena láctea en Colombia.



Fuente: Mojica (2007) (46)

Gráfica 8. Eslabones de la cadena láctea bovina en Colombia

## 2.3. Presencia del peligro en la cadena alimentaria

### 2.3.1. Carne bovina

#### 2.3.1.1. Estudios internacionales

En los últimos años, la mayoría de países en el mundo han reglamentado la aplicación de plaguicidas OCL prohibiendo su uso. Se encontraron pocos reportes sobre contaminación de plaguicidas OCL en carne bovina, debido a la disminución de la aplicación en labores agrícolas y al bajo interés de los investigadores en esta área. En países como Suecia, donde desde hace varias décadas dejaron de utilizarse estos plaguicidas se ha observado disminución en los niveles de los mismos, Glynn reportó disminuciones para HCB desde 3,9 ng/g de grasa hasta 1,3 ng/g de grasa y para *p,p'*-DDE desde 3,7 hasta 0,5 ng/g de grasa en un seguimiento realizado desde 1991 hasta 2004, actualmente reporta que los valores están por debajo del límite cuantificación de 0,5-1 ng/g de grasa (47). En la Tabla 3 se muestran los estudios internacionales que reportaron residuos de los OCL en carne bovina.

Tabla 3. Estudios internacionales de OCL en carne bovina

Región	País	Hallazgos	Año	Referencia
Medio Oriente	Jordania	Aldrín (470), DDD (45), DDE (38), DDT (45), Lindano (50), Heptacloro (70), Heptacloroepóxido (48), Hexaclorobenceno (48), Dieldrín, Endosulfán y Endrín (ND). Valor medio expresado en ng/g de grasa.	2010	(49)
Centro América	México	Lindano (1.434,0 en época de lluvia y 0,036 en época seca); valor medio expresado en µg/kg de músculo en base grasa. DDT (1.121,0 en época de lluvia y 0,002 en época seca); valor medio expresado en µg/g de músculo en base grasa.	2012	(50)
Europa	Suecia	Reporte de disminución en los niveles de OCL (PCB como HCB; DDE) en carne bovina, desde 1991 hasta 2004, por reducción de la presencia de estos contaminantes en la alimentación animal.	2009	(47)
África	Egipto	DDT (17,9), HCH (4,58), Lindano (0,72), Dieldrín (0,62), Toxafeno (0,14), valor medio expresado en ng/g de músculo en base húmeda.	2008	(51)

ND: No Detectable.

Fuente: Grupo de redacción ERIA

### 2.3.1.2. Estudios nacionales

En la documentación científica revisada, no se identificaron estudios de contaminación de carne bovina por plaguicidas OCL, o no se encuentran publicados en bases de datos indexadas.

## 2.3.2. Leche bovina

### 2.3.2.1. Estudios internacionales

La presencia de residuos de plaguicidas OCL en la leche y derivados lácteos ha sido más ampliamente estudiada que en carne bovina (52). La prohibición del uso de estas sustancias ha implicado una disminución en la ocurrencia en leche, sin que se hayan aún eliminado en su totalidad. Un claro ejemplo de esto es Jordania, donde se prohibió su utilización desde 1981 y aún se reporta presencia de residuos en grasa láctea (53). Los estudios internacionales en los cuales se reportaron residuos de plaguicidas OCL en leche bovina se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Estudios internacionales de plaguicidas OCL en leche bovina

Pais	Matriz/n° muestras	Hallazgos	Año	Referencia
Uganda (África)	Leche cruda	DDT (0,033), Lindano (0,026), Aldrín (0,009) y Dieldrín (0,007) niveles superiores a los recomendados por FAO y OMS. Valores medios expresados en mg/kg de grasa de la leche.	2011	(54)
Ghana (África)	Leche	Lindano (menor a LD), Aldrín (0,22), DDE (1,42), Dieldrín (1,32), Endosulfán (0,60), DDT (12,53). Expresados en g/kg de grasa.	2008	(55)
Brasil (Sur América)	Leche cruda, pasteurizada y UHT	Leche cruda: HCB (2,56), Lindano (7,47), Aldrín (5,69), $\Sigma$ DDT (30,1). Leche pasteurizada: HCB (2,52), Lindano (2,92), Aldrín (1,21), $\Sigma$ DDT (11,4). Leche UHT: HCB (2,52), Lindano (7,73), Aldrín (51,02), $\Sigma$ DDT (14,4). Expresados en ng/g de grasa.	2007	(52)
Chile (Sur América)	Leche pasteurizada UHT	HCH alfa + beta (0,859), gamma HCH (0,049), Heptacloro + epóxido (0,319), Aldrín + Dieldrín (0,0174). Expresados en ng/g de grasa.	2005	(56)
México (Centro América)	Leche y mantequilla	Aldrín, Heptacloro, Heptacloro epóxido (ND), DDD (0,004), DDE (0,044), DDT (0,059), Endosulfán (0,008), Lindano (0,094), Hexaclorobenceno (0,014). Expresados en mg /kg de grasa.	1997	(57)
México (Centro América)	Leche pasteurizada n=96	HCH alfa y beta (2,21), Lindano (0,07), Aldrín + Dieldrín (0,25), Heptacloro + Heptacloro epóxido (0,15), Endrín (0,05), DDT (0,12). Expresados en g/kg de grasa.	1998	(58)
Costa Rica (América)	Leche n=48	HCB (84), alfa BHC (85), Lindano (30), Aldrín (62), Dieldrín (62), Oxiclordano (23), Heptacloro epóxido (63), DDT (1.105 $\mu$ g/kg de grasa). Expresados en g/kg de grasa.	1996	(59)
España (Europa)	Leche	Lindano (0,0022), Heptacloro epóxido (0,0024), Aldrín (0,0037), Dieldrín (0,0035), DDE (0,0050), DDT (0,0004). Expresados en mg/kg de producto.	1996	(60)
Eslovenia (Europa)	Leche	Alfa HCH (0,05), Lindano (0,1), Heptacloro (0,05), DDD total (0). Expresados en mg /kg de grasa.	2000	(61)
España (Europa)	Leche orgánica y no orgánica	$\Sigma$ OCL en marcas convencionales 23,34, $\Sigma$ OCL en leches orgánicas 14,49. Expresados en ng/g de grasa.	2012	(62)
Jordania (Asia)	Leche	Aldrín (ND), DDD (ND), DDT (0,027), Endosulfán (0,030), Heptacloro (0,026). Expresados en mg /kg de grasa.	2009	(53)
India (Asia)	Leche descremada de búfala	Aldrín (0,937), DDD (0,161), DDE (0,025), DDT (0,192), Lindano (0,218), Heptacloro (1,928), Heptacloro epóxido (3,324). Datos tomados en invierno cuando son más altos los niveles. Expresados en mg/l.	2001	(63)
India (Asia)	Leche de búfala	Aldrín (1,255), DDD (0,373), DDE (0,354), DDT (0,797), Lindano (0,360), Heptacloro (2,273), Heptacloro epóxido (4,545). Datos tomados en invierno cuando son más altos los niveles. Expresados en mg/l.	2001	(63)
Irán (Asia)	Leche	HCB 0,8 – 7 ng/g de grasa, Aldrín 0,074-0,0271 mg /kg de grasa, HCH 0,094 mg /kg de grasa, DDT 0,159 mg /kg de grasa.	1997	(57, 64, 65)

ND: No detectable.

Fuente: Grupo de redacción ERIA

### 3.3.2.2 Estudios nacionales

En la Tabla 5 se describen los estudios realizados de contaminación de leche bovina por plaguicidas OCL realizados en los últimos 10 años a nivel nacional.

**Tabla 5. Estudios nacionales de plaguicidas OCL en leche bovina**

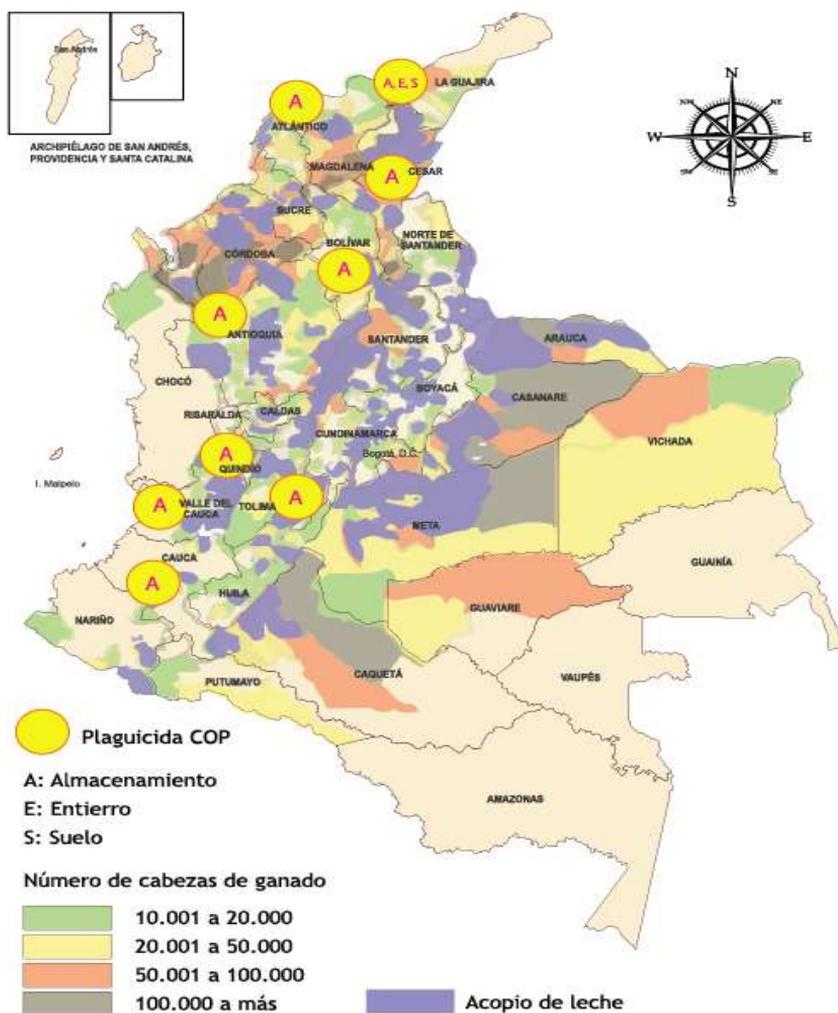
Departamento, municipio	N° muestras	Hallazgos	Año	Referencia
Bolívar Cartagena	47	El valor promedio de OCL encontrados en las muestras fue de 4.122 ng/g de grasa.	2010	(66)
Sucre San Pedro	48	100% de las muestras presentaron contaminación con OCL. Las concentraciones más altas encontradas en ng/ml correspondieron a: Endrín (620), DDT (590) y Aldrín (520).	2010	(67)
Córdoba 10 municipios	63	Las máximas concentraciones promedio de los OCL fueron HCH (469,6), DDT (47,17), Aldrín (36,6), Dieldrín (48,7) y Endrín (47,1) expresadas en ng/g de grasa, considerando que la leche presenta 4% de grasa y su densidad es de 1,032 g/ml.	2012	(68)
Bolívar Cartagena	36	Se analizaron dos marcas de leche pasteurizada (A y B) y se reportó que el 100% de las muestras contenían Lindano: 42 ±3 para la marca A y 62 ±1,6 para la marca B en ng/g de grasa.	2011	(69)

Fuente: Grupo de redacción ERIA

Es de resaltar que las investigaciones reportadas en la tabla anterior corresponden a estudios realizados en la Región Atlántica.

### 2.3.3. Zonas de producción de carne y leche bovina y contaminación ambiental

En el Gráfico 10 se muestra la información de las regiones de producción de carne y leche en el país y de los departamentos donde se ha evidenciado el almacenamiento y se han identificado entierros de compuestos orgánicos persistentes, entre ellos OCL. Se resaltó la zona de la costa norte colombiana donde confluyen zonas de almacenamiento de plaguicidas, entierro y contaminación del suelo; igualmente la zona norte antioqueña donde hay alta producción lechera y almacenamiento de plaguicidas OCL.



Fuente: Grupo de redacción ERIA

Gráfica 9. Regiones de producción de carne y leche bovina y departamentos con presencia de OCL en Colombia



## 3. Efectos adversos en salud asociados al peligro

### 3.1. Toxicología

#### 3.1.1. Toxicocinética

Los OCL son compuestos orgánicos de estructura generalmente cíclica, con átomos de Cloro en su molécula, liposolubles, semivolátiles y de gran persistencia (70). Estos plaguicidas pueden ser transportados a largas distancias por la atmósfera y llegar a lugares remotos debido a las precipitaciones y a fenómenos como la volatilización progresiva en lugares relativamente cálidos y la posterior condensación en ambientes más fríos, esto puede llevar a que aumenten las concentraciones en regiones de latitudes altas (71). Para efectos de la caracterización del peligro los plaguicidas considerados se agruparon de acuerdo con lo indicado por Ferrer (2003) (72).

- Derivados del clorobenceno: DDT, Metoxicloro.
- Derivados de ciclohexano: HCH, Lindano.
- Ciclodienos: Aldrín, Dieldrín, Clordano, Heptacloro, Endrín, Endosulfán.
- Canfenos clorados: Toxafeno.

Los plaguicidas OCL se absorben principalmente por vía oral y respiratoria, la absorción por vía dérmica depende del tipo de compuesto. La absorción por cualquier ruta depende del vehículo que utilice la fórmula comercial (debido a que ninguno de estos compuestos es hidrosoluble) y del estado físico (líquido o polvo). En cuanto a la distribución, los OCL son compuestos liposolubles, lo que facilita la penetración en diferentes tejidos como SNC y tejido adiposo. Son metabolizados a nivel hepático por el sistema enzimático Citocromo P450; en su mayor parte sufren un proceso de declorinación y son almacenados en el tejido adiposo y en otros tejidos ricos en grasa como la glándula adrenal. Sin embargo, como resultado del metabolismo, algunos OCL pueden ser



bioactivados a moléculas más tóxicas, este es el caso del heptacloro que es metabolizado a heptacloro epóxido (73). La fracción restante es oxidada y conjugada para formar metabolitos hidrosolubles que son eliminados por vía renal. La velocidad de eliminación va a depender del tipo específico de plaguicida. Estos compuestos orgánicos tienen circulación enterohepática significativa y pueden también ser eliminados por la bilis. Todos los compuestos lipofílicos son eliminados en leche materna (74). El DDT, el Dieldrín, el Lindano y el Heptacloro tienen los tiempos de vida media más prolongados (74).

A pesar de que los OCL se encuentran prohibidos para uso agrícola y salud pública, la población continúa expuesta a éstos a través del consumo de alimentos debido a la bioacumulación y a la biomagnificación en la cadena trófica. La Tabla 26 del Anexo I muestra algunos parámetros que explican el comportamiento de estas sustancias en los organismos vivos, tales como tiempo de vida media, tejidos de acumulación, la ingesta diaria admisible (IDA) y dosis letal 50 (LD 50) (9).

Otros factores de importancia comprenden la liposolubilidad y los coeficientes de reparto octanol/agua ( $K_{o/w}$ ). Ritter et al. (1995) (75) reportaron: Log  $K_{ow}$  entre 5,0 y 7,40 para el Aldrín, entre 4,89 y 6,91 para el DDT, entre 3,69 y 6,20 para el Dieldrín, entre 3,20 y 5,33 para Endrín, entre 4,40 y 5,50 para el Heptacloro y entre 3,03 y 6,42 para el Hexaclorobenceno. La Tabla 6, resume los aspectos toxicocinéticos particulares para los plaguicidas comprendidos en este documento, es de resaltar que todos presentan eliminación lenta y acumulación en el organismo.

Tabla 6. Aspectos toxicocinéticos particulares de los plaguicidas OCL

Grupo	Plaguicida	Absorción	Eliminación	Metabolismo
Derivados del clorobenceno	DDT	La principal vía de absorción es la oral debido a la ingesta de alimentos, sobre todo aquellos con altos niveles de grasa. La absorción dérmica es muy baja en el caso del DDT(72, 76).	Eliminación lenta por su prolongada vida media ( $t_{1/2}$ ) Se elimina en la leche materna (77).	Sus principales metabolitos son el DDE y DDD, los cuales son muy estables con una $t_{1/2}$ de 16 años en el medio ambiente y en tejido adiposo (72).
Derivados de ciclohexano	HCH isómeros (Lindano)	Por vía respiratoria, oral y dérmica (72). La absorción dérmica es del 9,3% (76).	Eliminación renal lenta hasta el 80% de una dosis. El HCH se elimina en la leche materna (77). El lindano se elimina en leche materna en una menor proporción (76).	Se produce deshalogenación y luego hidroxilación para formar el clorofenol correspondiente.  El lindano y otros isómeros del HCH se producen por oxidación del 2,4,6-triclorofenol (76). Los derivados del lindano pueden ser metabolizados a compuestos, más tóxicos, antes de hidroxilarse (72, 76).
	Aldrín	El Aldrín se absorbe por, vía respiratoria, oral y dérmica (72).	Eliminación renal lenta, se elimina por la leche materna (77).	El Aldrín se metaboliza a Dieldrín por una reacción de epoxidación catalizada la enzima mono-oxigenasa dependiente del citocromo P-450. Otros análogos metilados del Aldrín no sufren epoxidación (76).
	Dieldrín			
Ciclodienos	Endrín	Se absorbe por vía respiratoria, oral y dérmica(77, 78).	El Endrín se acumula menos que su isómero el Dieldrín. El Endrín se elimina con mayor eficacia por vía renal (72) y en menor proporción por leche materna (76).	El endrín es rápidamente metabolizado por animales, se almacena en concentraciones menores en tejido adiposo. El endrín se metaboliza en compuestos solubles en agua para facilitar su eliminación, mediante la conjugación del anti-12-hidroxiendrín con ácido glucurónico y sulfato (79).
	Clordano			El Heptacloro es un metabolito del clordano que se emplea directamente como insecticida. El Heptacloro tiene como metabolito principal al Heptacloro epóxido (80).
	Heptacloro y heptacloro epóxido	Se absorbe por vía respiratoria, oral y dérmica (72).	Eliminación renal lenta (72). Eliminación por la leche materna (77).	
Ciclodienos	Endosulfán	Su principal vía es la oral; aunque también se puede absorber por otras vías como: inhalatoria, dérmica (81)	Eliminación renal y hepatobiliar. Menor eliminación por leche materna (76, 77).	Se transforma en metabolitos polares y no polares por el sistema microsomal hepático (81).
Canfenos clorado	Toxafeno	La absorción dérmica es muy baja (76).	Eliminación renal lenta. Menor eliminación por leche materna (76, 77).	Rápida redistribución en la grasa (82)
Fenoxiacéticos	2,4-D		Su eliminación renal es deficiente y la toxicidad se presenta cuando se excede la capacidad de eliminación (83). Se elimina por la leche materna (84).	

Fuente: Grupo redacción ERIA

### 3.1.2. Toxicodinámia

Las mismas propiedades neurotóxicas que hacen que los OCL sean letales para los insectos, los hacen tóxicos para los seres humanos (74).

#### 3.1.2.1. Mecanismos de Acción

El órgano blanco de todos los OCL es el SNC produciendo estimulación. Afectan la membrana neuronal mediante la interferencia con la repolarización o el mantenimiento del estado polarizado de la membrana, dando como resultado la hiperexcitabilidad del sistema nervioso y descargas neuronales repetitivas. (74).

Los plaguicidas OCL actúan sobre los canales de **sodio-voltaje** dependientes, uniéndose al canal cuando está abierto, lo que produce un aumento en la conductancia al Sodio y potenciales de acción repetitivos. Por ejemplo el DDT interfiere en la transmisión del impulso nervioso a través del axón, al alterar el intercambio iónico con el Na (85). Algunos OCL tienen la capacidad de inhibir la  $\text{Na}^+\text{K}^+\text{ATPasa}$ , la  $\text{Ca}^{+2}\text{ATPasa}$  y la fosfoquinasa (72, 85).

Los compuestos organoclorados como los ciclodienos y el lindano producen efectos sobre el sistema neurológico debido a que actúan como antagonistas del ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) inhibiendo la entrada de  $\text{Cl}^-$  a la célula. Este efecto excitatorio sobre el sistema nervioso se debe a que se unen al receptor  $\text{GABA}_A$  (8, 72, 85, 86). Los OCL según la dosis producen daño en la membrana celular de las neuronas del SNC ocasionando neurotoxicidad debido a su interferencia en el metabolismo de la vía acetil Co-A por fosforilación oxidativa (83).

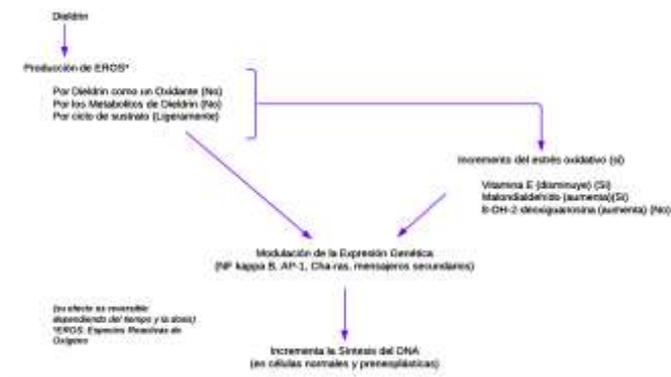
El efecto de los OCL sobre las enzimas se debe principalmente a su bajo peso molecular y su naturaleza lipofílica, lo que les permite activar los receptores aril-hidrocarburo, por lo cual pueden inhibir o incrementar la actividad metabólica de enzimas como la glutatión  $\text{-S-}$  transferasa (GSTs) y otras enzimas hepáticas. Los OCL tienen capacidad de ser inductores hepáticos, afectando la biotransformación de medicamentos. El HCH favorece la inclusión de grasa hepática, la hipertrofia de hepatocitos y la proliferación de células epiteliales en los ductos. Todos estos cambios degenerativos conllevan a un aumento en las transaminasas hepáticas (87).

### 3.1.2.2. Intoxicación por exposición aguda

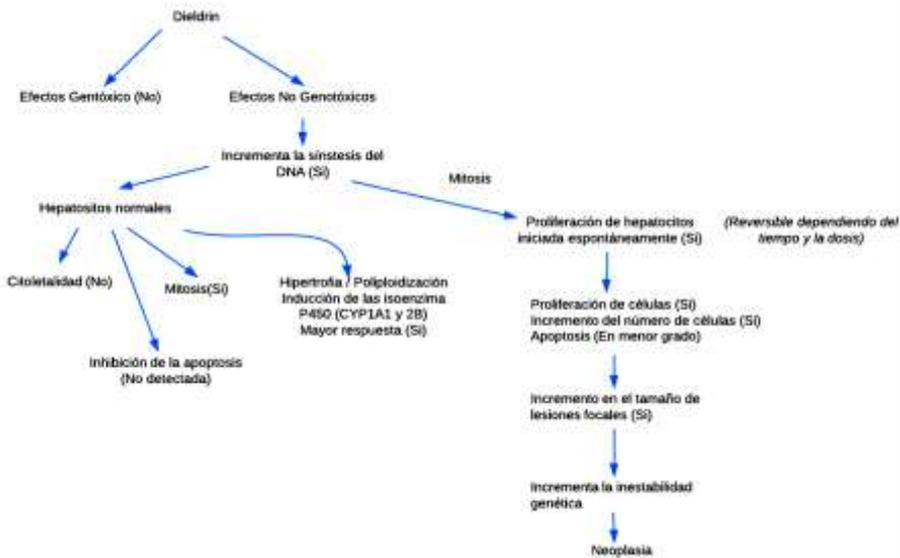
Los plaguicidas OCL producen estimulación del SNC, cuando se ingieren grandes cantidades pueden causar convulsiones, falla respiratoria alteraciones del ritmo cardiaco y la muerte. Las intoxicaciones agudas, usualmente se caracterizan por la presencia de temblor, náuseas, hiperestesia peribucal y facial, parestesias en la cara, lengua y extremidades, cefalea, mareo y mioclonías. Las convulsiones pueden presentarse dentro de las primeras 6 horas tras la exposición. La exposición aguda oral a 2,4-D, incluye vómitos, diarrea, cefalea, confusión, agresividad o cambios en el comportamiento (72).

### 3.1.2.3. Exposición crónica

Debido a que estos pesticidas son liposolubles y tienden a bioacumularse pueden causar gran variedad de efectos adversos crónicos en diferentes órganos y sistemas. La exposición prolongada a ciertos OCL está asociada a cambios neurodegenerativos como la enfermedad de Parkinson. La combinación de Lindano y Dieldrín puede inducir un rápido incremento de las especies reactivas de oxígeno a nivel intracelular, una disminución del potencial de la membrana mitocondrial y la activación de caspasas, efectos que pueden conducir a neurotoxicidad (86). El DDT produce una lesión mitocondrial directa en el SNC, induciendo estrés oxidativo, disminuyendo los niveles del transportador de dopamina (88). El Gráfico 11 muestra los efectos oxidativos del Dieldrín, mientras que el Gráfico 12 describe la genotoxicidad de este compuesto.



Fuente: Stevenson et al., 1999 (89)  
Gráfica 10. Efectos oxidativos del Dieldrín



Fuente: Stevenson et al. (1999) (89)  
Gráfica 11. Genotoxicidad del Dieldrin

- Cáncer y OCL

La IARC clasifica los plaguicidas organoclorados incluidos en este estudio en los grupos descritos en la Tabla 7:

Tabla 7. Plaguicidas OCL clasificados de acuerdo con la IARC

Grupo iarc	Plaguicida	Observaciones
2B <i>Posible carcinógeno en humanos</i>	Clordano Heptacloro	Hay evidencia particular de incremento en riesgo de cáncer de pulmón en trabajadores expuestos ocupacionalmente. Se ha observado un incremento en el riesgo de Linfoma no Hodgkin, leucemia y sarcoma de tejido blando.
	DDE DDT	Se han encontrado reportes de cáncer de seno en mujeres expuestas a la mezcla de DDD, DDE y Aldrín (OR=1,008, IC 95% 1,001-1,015, p=0.024) (90). El contacto prolongado con DDE/DDT /PCB induce la aparición de cáncer de páncreas (91).
	Hexaclorobenceno	Estudios en ratones indicaron que es inductor de células tumorales hepáticas (92).
	Toxafeno	En dos estudios de casos y controles para Linfoma No_Hodgkin y para Leucemia, no se encontró asociación con la exposición a Toxafeno (93).
	HCH Isómeros del HCH	Producen cáncer hepático en ratas expuestas a los isómeros $\beta$ y $\gamma$ a los $\delta$ y $\epsilon$ .
	2,4-D	Se evidenció incremento en el riesgo de presentar tumores cerebrales. En una población campesina en Kansas, Estados Unidos, se observó un incremento de linfoma no_Hodgkin asociado a la aspersión del 2,4-D (84).
3 <i>No puede ser clasificado respecto a su carcinogenicidad para el ser humano</i>	Dieldrín Aldrín Endrín	En estudios realizados en humanos (trabajadores de una fábrica (dealdrin, dieldrinyendrin) la mortalidad por cáncer no se incrementó después de 13 años de seguimiento.
Sin clasificar	Endosulfán	No ha sido clasificado aún por la IARC ni la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U.) (94).

Fuente: Grupo redacción ERIA

Estos compuestos pueden interactuar con receptores endocrinos. En casos de cáncer de próstata y de seno, se observó que existe una relación directa del efecto de OCL sobre el sistema endocrino (95). Los estudios no han evidenciado una asociación estadísticamente significativa entre la exposición crónica a OCL y el cáncer testicular (96). Algunos plaguicidas OLC tienen efectos estrogénicos, por lo cual han sido asociados con un aumento en el riesgo de presentar cáncer de seno y de útero. Sin embargo estudios recientes han demostrado que la exposición a OCL no es un factor de riesgo para cáncer de seno (97, 98).

- Otros efectos por exposición crónica

Con relación al efecto sobre el desarrollo fetal, se han llevado a cabo estudios en animales. El hexaclorobenceno produjo efectos teratogénicos en ratones con dosis de 6,25, 12,5, y 25 mg/kg/d (99). Para el 2,4-D, los estudios han evidenciado muerte fetal en ratas expuestas a dosis mayores de 188 mg/kg y



alteración en la síntesis de ADN en ratones expuestos a dosis de 200 mg/kg. El 2,4-D ha demostrado ser mutagénico generando daño en cromosomas en cultivos de células humanas. Los OCL como el DDT producen un estímulo al sistema hepático de oxidasas que causan deterioro de la membrana mitocondrial, con proliferación de los hepatocitos que origina hepatomegalia. El clorobenceno y el Dieldrín incrementan la incidencia de hepatomas en ratones. El Mirex ha demostrado elevar la incidencia de hepatomas en ratones expuestos (100).

En cuanto a los efectos sobre el metabolismo de lípidos y de carbohidratos, los OCL pueden causar resistencia a la insulina y alterar la homeostasis de la glucosa. El DDE ha sido asociado con incremento en el índice de masa corporal y obesidad, aumento en los niveles séricos de triglicéridos y disminución de los niveles de las lipoproteínas de alta densidad (colesterol HDL), lo que aumenta el riesgo cardiovascular. La resistencia a la insulina y la obesidad pueden llevar al deterioro de las células del páncreas debido a la sobreproducción de insulina, lo que finalmente puede progresar a diabetes. Se ha observado la interacción directa de los OCL con los receptores activadores de la proliferación de peroxisomas (PPAR), que hacen parte una superfamilia de receptores nucleares y actúan como factores de transcripción sobre diferentes genes blanco implicados en el metabolismo de lípidos y carbohidratos. Son considerados clave en la regulación del metabolismo, y están implicados en la fisiopatología de la hipertensión y la diabetes (86).

Se ha demostrado un efecto inmuno-modulador del DDT en ratas. Las exposiciones por un periodo de tiempo de 4 a 6 semanas han evidenciado supresión hormonal de inmunoglobulinas, reducción de la respuesta inmunológica, y disminución en la actividad de linfocitos y macrófagos. Estos efectos han sido evidenciados en delfines expuestos a OCL (93).

Con relación al sistema endocrino, altas concentraciones de p,p'-DDE podrían afectar el metabolismo de la testosterona, debido a la inhibición de la enzima 5 $\alpha$ -reductasa, que convierte la testosterona a dihidrotestosterona (DHT). El DDE causa aumento en la actividad de la aromatasa basal y de la aromatasa estimulada por la hormona foliculo estimulante (FSH) en las células granulosas del ovario. Se ha reportado que los compuestos OCL pueden inducir apoptosis de las células de *Leydig* en ratas. Exposiciones prolongadas a Dieldrín y otros OCL, aún en muy pequeñas dosis podrían afectar el desarrollo reproductivo. El Lindano

y el DDT pueden actuar como antagonistas de los andrógenos causando alteraciones en el desarrollo testicular y disminución de la fertilidad (86). En ratas expuestas a Lindano se ha observado alteración en su capacidad reproductiva, este compuesto es altamente estrogénico en ratas hembras y en machos (84).

- Manifestaciones clínicas

Las manifestaciones clínicas particulares reportadas para los grupos de plaguicidas OCL en estudio se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Manifestaciones clínicas particulares reportadas para cada plaguicida

Grupo	Plaguicida	Manifestaciones clínicas		
		Sistema Nervioso Central	Gastrointestinal	Otros
Derivados del clorobenceno	DDT	Alteraciones en la marcha, malestar, fatiga, náuseas, temblor y vómito; parestesias, neuropatía mixta (motoras y sensitivas con pérdida de la fuerza y parálisis). Puede presentarse una posible asociación entre la exposición y la enfermedad de Parkinson (101).	Son potentes inductores de enzimas microsomales hepáticas. En el hígado las dosis elevadas pueden causar necrosis central lobulillar.	A nivel respiratorio la inhalación de partículas provoca irritación.
Derivados de ciclohexano	HCH isómeros (Lindano)	Parestesias, cefalea, mareo, confusión, ataxia, náuseas, vómito, insomnio, sensación de aprensión. A dosis mayores convulsiones, hiper-reflexia, alteración del estado de conciencia y coma (85).	Produce cirrosis, hepatitis crónica, rinitis, eczemas, conjuntivitis. Interfiere en la fertilidad masculina por atrofia en los testículos (102).	Lindano: Se ha relacionado con cuadros de anemia aplásica y megaloblástica (76).
	Aldrín	Convulsiones (76).		
Ciclodienos	Dieldrín	Convulsiones (76). Se ha considerado la posible asociación del Dieldrín con la enfermedad de Parkinson (103).		
	Endrín	Convulsiones (76).		
	Clordano	Convulsiones (76).		Se ha relacionado con cuadros de anemia aplásica y megaloblástica (76).
Ciclodienos	Heptacloro y heptacloro epóxido	Convulsiones (76).		Dolor abdominal cuando la vía de absorción es gastrointestinal. Puede causar alteración de la función renal y hepática.
Canfenos clorados	Toxafeno o canfeclor	Convulsiones (76). Neurotóxico, puede producir temblor, hipertermia, confusión y depresión respiratoria (83, 85).		La exposición crónica puede causar sintomatología respiratoria (8).
Fenoxiacéticos	2,4-D	Neurotóxico dependiendo de la dosis ingerida (83).	Daño hepático y muscular en ratas. Puede observarse falla renal (83).	La exposición inhalatoria causa irritación de la vía aérea. Altamente corrosivo e irritante en ojos (83).

Fuente: Grupo de Redacción ERIA

- Niveles de referencia

La vigilancia de la exposición a plaguicidas OCL en la población general o expuesta, se realiza a través de la cuantificación de los niveles del plaguicida o sus metabolitos en sangre y orina, aunque se pueden detectar en otros fluidos biológicos como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Determinación en muestras biológicas y valores de referencia

Grupo	Plaguicidas	Vigilancia epidemiológica	Niveles de referencia
Derivados del clorobenceno	DDT	Detección de niveles urinarios de ácido bis acético.	
		Metabolitos sanguíneos: niveles de DDE en suero indican una exposición crónica. En 1950 se detectó por primera vez en leche materna. Biomarcadores: DDT, DDE, DDD (104).	
Derivados de ciclohexano	HCH isómeros (Lindano)	Se detecta Lindano en sangre y suero. Isómeros del HCH en suero o triclorofenol en orina. Niveles de $\gamma$ HCH en los fluidos indican exposición aguda debido a su excreción y metabolismo rápido (104) mientras la presencia de $\beta$ -HCH indica exposición crónica (105).	
Ciclodienos	Aldrín	La concentración en los tejidos de Dieldrín se mide como HEOD componente principal del Dieldrín y metabolito del Aldrín.	Niveles de Dieldrín superiores a 0,10 mg/ml indican que la persona debe ser retirada de la fuente exposición (9)
	Dieldrín	Niveles sanguíneos entre 1-10ug/dl indican sobreexposición y mayores a 20ug/dl toxicidad. Las mediciones de Dieldrín y Aldrín se realizan en suero y plasma.	Niveles de Dieldrín superiores a 0,10 mg/ml indican retiro inmediato de la fuente de exposición. Valores sanguíneos de 0,20 mg/ml o superiores son compatibles con intoxicación.

Fuente: Grupo de redacción ERIA

Como se aprecia en la tabla no existen niveles de referencia para todos los plaguicidas OCL.

### 3.2. Grupo Riesgo

Los grupos poblacionales más susceptibles a la exposición de plaguicidas OCL por consumo de carne y leche con residuos de estas sustancias son: los menores de edad, debido al mayor consumo de leche con respecto a su peso; las mujeres gestantes, porque los compuestos OCL pueden atravesar la barrera placentaria; y los adultos mayores debido a un mayor tiempo de exposición a lo largo de la vida, por lo que estarían en condiciones de mayor susceptibilidad de exposición al riesgo (106, 107).

Para la población general, otro factor que podría incrementar el riesgo es el consumo de carne y leche. Para países desarrollados el consumo anual *per cápita* de leche reportado para 2013 fue de 220,6 kg, mientras que para países en desarrollo correspondió a 76,4 kg. En el caso de las carnes, de acuerdo con estimaciones de la *FAO* para el mismo año, mientras en países desarrollados el consumo anual *per cápita* de carne fue en promedio de 75,7kg, en los países en desarrollo fue de 33,7kg (108). De acuerdo con lo reportado por FEDEGAN, en Colombia el consumo anual *per cápita* de carnes de 20 kg para 2013 (109).

En Colombia se cuenta con los datos de la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional, ENSIN (2005) (110), con los cuales se pueden identificar los grupos de riesgo; es importante resaltar que en la categoría de carne incluye derivados cárnicos y carne bovina y porcina, de igual manera la categoría de leche incluye leche en polvo y derivados lácteos, (excluyendo queso), en relación con la cantidad de carne y leche consumida, ver Tabla 10.

Tabla 10. Grupo de riesgo por consumo para la población colombiana

Grupos de edad	Consumo de carne		Consumo de leche	
	% Población consumo	Consumo día (g)	% Población consumo	Consumo día (g)
2 - 3	38,6	37,7	54,2	310,4
4 - 8	37,2	45,3	52,2	248,4
9 - 13	38,6	53,4	46,1	242,7
14 - 18	40,8	59,9	44,9	235,4
19 - 50	44,6	63,1	46,4	226,8
51 - 64	40,6	55,6	46,3	212,7
Nivel de SISBEN	% Población consumo	consumo día (g)	% Población consumo	consumo día (g)
Nivel 1	13,5	14,7	41,2	43,0
Nivel 2	17,9	20,3	48,2	51,2
Tipo de área	% Población consumo	consumo día (g)	% Población consumo	consumo día (g)
Urbana	14,1	13,1	51,2	52,7
Rural	19,1	-17,2	41,1	43,6
Género	% Población consumo	consumo día (g)	% Población consumo	consumo día (g)
Masculino	15,7	16,9	47,1	48,7
Femenino	15,0	16,1	50,3	51,9

Fuente: Adaptado por el grupo de redacción de ENSIN (2005) (110)

### 3.3. Información epidemiológica en el contexto internacional

En 1984 se produjo en Pakistán una intoxicación con Endrín. Sus manifestaciones fueron convulsiones en siete (7) miembros de una misma familia de los cuales dos fallecieron. Para el estudio de la intoxicación se tomaron muestras de alimentos, aceites y plaguicidas, y se realizaron pruebas paraclínicas a los pacientes para identificar el origen de los cuadros convulsivos masivos. Dado que en Pakistán el transporte de alimentos no estaba regulado, era una práctica común transportar alimentos con sustancias químicas, por lo que se planteó la hipótesis de una posible intoxicación con alimentos contaminados con Endrín, siendo el azúcar el único alimento en el que se aisló una pequeña fracción de esta sustancia (11). En 1991, equivocadamente se preparó un pan con harina que fue tratada con Endosulfán con la intención de eliminar una plaga de pájaros en África; resultaron intoxicadas 350 personas, de las cuales fallecieron 31 (111).

Según Bradberry *et al.* (2004) (112), el envenenamiento por plaguicidas del grupo clorofenoxi es inusual pero puede llegar a producir secuelas serias. En la mayoría de los casos el envenenamiento se da por ingestión del 2,4-D solo o

acompañado por otros plaguicidas. Para el período comprendido entre 1998 y 2002, de los 11.2 millones de casos de exposición a tóxicos reportados por *American Association of Poison Control Centers Toxic Exposure Surveillance System*, 11.385 corresponden a plaguicidas del grupo clorofenoxi y de éstos el 30% de los incidentes involucró a niños menores de 6 años. 33 de los 11.385 casos de exposición reportados, generaron secuelas importantes para los involucrados y dos terminaron en la muerte. Además, en un estudio anterior desarrollado por Casey y Vale (1994) (113), en donde se revisaron todas las muertes ocasionadas por envenenamiento con plaguicidas en Inglaterra y Gales entre 1945 y 1989, se determinó que de los 1.012 registros existentes, 787 involucraban plaguicidas y específicamente 50 fueron ocasionados por plaguicidas del grupo clorofenoxi, es decir que aproximadamente el 5% de todas las muertes causadas por plaguicidas fueron ocasionadas por este grupo.

Un estudio realizado en la India a mujeres embarazadas con diagnóstico de retardo de crecimiento intrauterino, encontró una asociación estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre los niveles de HCH (OR=1,38, 95% IC 1,05–1,80),  $\alpha$ -HCH (OR=1,22, 95% IC 1,02–1,46),  $\delta$ -HCH (OR=1,61, 95% IC 1,01–2,54), total de HCH (OR=1,07, 95% IC 1,01–1,13), y el retardo del crecimiento intrauterino (114).

### 3.4. Información epidemiológica en el contexto nacional

En Colombia se han presentado intoxicaciones con plaguicidas diferentes a los OCL. Los reportes indican que se han producido intoxicaciones masivas accidentales por metil-paratión o paratión como las ocurridas en el municipio de Chiquinquirá (Boyacá) (1967) y San Juan de Pasto (Nariño) (1977) por consumo de harina de trigo, en Puerto López (Meta) (1970) por consumo de bebidas gasificadas. Los reportes de estos tres sucesos indicaron que cerca de 442 personas fueron hospitalizadas de las cuales 85 fallecieron (115).

Aunque los OCL ocupan el tercer puesto entre los plaguicidas más utilizados en Colombia, no se reporta información disponible sobre los casos de intoxicaciones causadas por éstos (115). Sin embargo, algunos estudios han determinado la presencia de residuos OCL en la sangre de personas vecinas a la cuenca alta del Río Bogotá, donde hay evidencia de la existencia de estas sustancias. De otro lado, se ha identificado que existe un grupo poblacional con

alta exposición a estas sustancias y es el asociado a labores agrícolas o de erradicación de malaria (116, 117).

A este respecto, Hernández *et al.* (1986) (117), realizaron un estudio sobre los niveles sanguíneos de OCL en varios grupos de población colombiana incluyendo grupos ocupacionalmente expuestos que incluían formuladores (56 hombres con edades entre 18 y 55 años, operarios de empresas formuladoras de insecticidas, fungicidas y herbicidas), aplicadores del servicio de erradicación de la malaria (formado por 56 personas, distribuidas entre Villavicencio y Puerto Boyacá, contratados por el Gobierno para realizar fumigación en la zonas predominantes en malaria) y el grupo de los aplicadores agrícolas (50 varones adultos, trabajadores de los cultivos del arroz principalmente).

Por otra parte, se consideró otro grupo denominado *grupo no ocupacionalmente expuesto*, conformado por población rural en donde se aplican los plaguicidas con fines agrícolas y sanitarios (31 adultos de la zona rural de Villavicencio), población rural de zonas donde se aplican los plaguicidas con fines agrícolas y sin usos sanitarios (50 campesinos mayores de 18 años, ubicados en el departamento del Tolima) y población sin exposición agrícola ni sanitaria (50 habitantes de la ciudad de Bogotá, D.C.) en su trabajo. Se analizaron 294 muestras biológicas encontrando contaminación con plaguicidas en el 97,95%, principalmente trazas de Lindano, Aldrín, Dieldrín, Heptacloro epóxido y DDT. El grupo de personas ocupacionalmente expuestas y el de mayor afectación es el correspondiente a los aplicadores del servicio de erradicación de la malaria, mientras que en el grupo de no expuestos ocupacionalmente, los más afectados fueron los campesinos que habitan las regiones en donde se presenta exposición agrícola y no había uso sanitario de los OCL (117).

### 3.5. Relación dosis respuesta

#### 3.5.1. Internacional

La reglamentación internacional para el manejo de estos compuestos ha sido muy discutida por diferentes organizaciones de las cuales se derivan las principales normas para el establecimiento de los límites máximos de residualidad (LMR) de los plaguicidas OCL. En las Tablas 11 y 12 se mencionan las principales normas del *Codex Alimentarius* y Unión Europea, respectivamente.

Tabla 11. Reglamentación internacional *Codex Alimentarius*

Alimento	Código códex	Plaguicida	Lmr codex (mg/kg)	Año adopción
Carne de vacuno	MM 0812	N.D.	N.D.	N.D.
Carne de ternera	MM 4797	N.D.	N.D.	N.D.
Grasa de vacuno	MF 0812	N.D.	N.D.	N.D.
Grasas de mamíferos (excepto grasas de la leche)	MF 0100	Clorotalonil	0,07	2011
Leche de vaca	ML 0812	N.D.	N.D.	N.D.
Leche de vaca, cabra y oveja	ML 0107	N.D.	N.D.	N.D.
Leches	ML 0106	Clordano	0,002	*
		Heptacloro	0,006	*
		Aldrín y Dieldrín	0,006	*
		Lindano	0,01	2004
		Endosulfán	0,01	2007
Despojos comestibles (mamíferos)	MO 0105	2,4-D	0,01	2003
		DDT	0,02	1997
		Clorotalonil	0,07	2011
		Lindano	0,01	2004
		Clorotalonil	0,07	2011
Hígado de vacuno, caprino, porcino y ovino	MO 0099	2,4-D	5	2003
		0,1	2003	
Riñones de vacuno, caprino, porcino y ovino	MO 0098	Endosulfán	0,03	2007
Vacuno, hígado	MO 1281	N.D.	N.D.	N.D.
Vacuno, despojos comestibles	MO 0812	N.D.	N.D.	N.D.

\* Residuo soluble en grasa y determinado como residuos extraños

N.D. Información no disponible

Fuente: Grupo de redacción ERIA

Tabla 12. Reglamentación internacional Unión Europea

Plaguicida	Alimento	Lmr (mg/kg)*	Fuente
Aldrín y Dieldrín (1)	Carne	0.2	Reglamento CE N° 839/2008 de la Comisión del 31 de julio de 2008 (118)
	Leche	0.006	
Endosulfán (2)	No se informa		
Picloram	Carne	0.2	
	Leche	N.D.	

Fuente: Parlamento Europeo (2005) (119)

(1): Aldrín y Dieldrín (suma de Aldrín y Dieldrín calculada en forma de Dieldrín).

(2): Suma de isómeros alfa y beta, sulfato de endosulfán, expresado como Endosulfán.

### 3.5.2. Nacional

#### 3.5.2.1. Límites Máximos de Residuos (LMR)

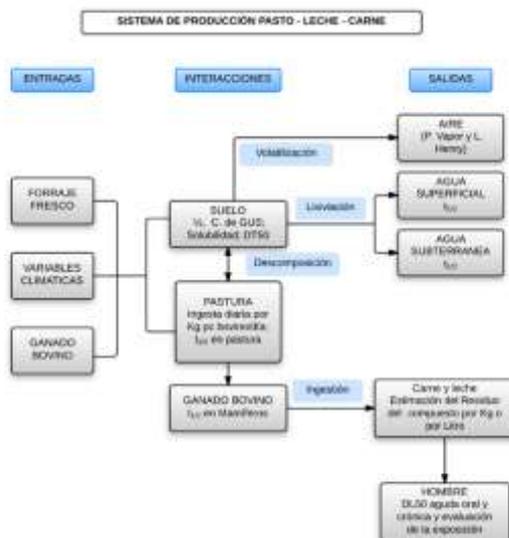
Colombia estableció los LMR de plaguicidas en alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes en la Resolución 2906 de 2007 del Ministerio de Salud y Protección Social (120).

#### 3.5.2.2. Plaguicidas OCL prohibidos

Los plaguicidas organoclorados fueron prohibidos en el país desde 1993 por el Ministerio de Salud (Resolución 10255 de 1993) (121). El ICA mantiene actualizada la lista de las moléculas que se encuentran prohibidas o restringidas. A excepción del 2,4-D, los demás OCL, incluidos en el alcance de este estudio se encuentran prohibidos. La Tabla 27 del Anexo I relaciona las resoluciones mediante las cuales se establece la prohibición para la producción, venta, comercialización y uso en el país.

## 4. Evaluación de la exposición

Para realizar esta estimación se consideró el modelo por Silva, K. y Fuentes, C. (2007) (122), en el que a partir de la información sobre las cantidades y épocas de aplicación de estos OCL y las fechas en que su aplicación fue suspendida, se infiere la cantidad de residuos de éstos presentes en el suelo, para luego establecer la fracción que pasaría desde éste al forraje. Luego de estimar la cantidad de residuos de OCL en el forraje, se infiere la cantidad de dichos residuos que sería acumulada en el tejido adiposo del ganado que lo consume, así como la cantidad que podría ser excretada a través de la leche y con estos valores, se hace la determinación de la cantidad de residuos que finalmente llegaría al consumidor. El modelo utilizado se describe en el Anexo II, éste se presenta en el Gráfico 13.



Fuente: Adaptado por los autores de Guaitero (2010) (123)

## 4.1. Datos de consumo

En el país se cuenta con información de la ingesta de carne y leche de origen bovino para la población general y población susceptible, de acuerdo con lo reportado en la ENSIN 2005 (110). La información desagregada por alimento para la población general se muestra en la Tabla 13 y para población infantil en la Tabla 14.

**Tabla 13. Consumo de carne y leche en la población general colombiana**

Alimento (población general)	Población que consume el alimento (%)	Cantidad promedio consumida por individuo (g/día)
Carne bovina	41,9 (40,5 – 43,2)	58,0 (57,6 - 58,4)
Leche bovina líquida	47,2 (45,9 – 48,5)	235,2 (233,7 - 236,7)
Leche bovina en polvo	8,7 (6,9 -10,5)	19,6 (18,8 – 20,3)

Fuente: ENSIN 2005 (110)

**Tabla 14. Ingesta de carne y leche en población infantil en Colombia**

Población infantil edad (años)	Peso promedio (kg)	Población que consume el alimento (%)		Cantidad promedio consumida por individuo (g/día)	
		Carne	Leche líquida	Carne	Leche líquida
2 – 3	12,5	38,6 (33,2-44,1)	54,2 (49,5 – 58,9)	37,7 (33,6 – 41,8)	310,4 (286,7 – 334,2)
4 -8	21,3	37,2 (33,8 – 40,5)	52,2 (49,3 – 55,1)	45,3 (43,4 – 47,2)	248,4 (241 – 255,8)
9 -13	35,5	38,6 (35,4 . 41,9)	46,1 (43,1 – 49,2)	53,4 (51,1 – 55,7)	242,7 (233,9 – 251,5)
14 – 18	52,4	40,8 (37,4 – 44,2)	44,9 (41,6 – 48,2)	59,9 (57,3 – 62,6)	235,4 (225,9 – 244,9)

Fuente: ENSIN 2005 (110)

De la Tabla 14 se puede considerar que hay mayor consumo de leche que de carne, el consumo de leche va disminuyendo con la edad y la de carne va aumentando, para la población entre 2 y 18 años.

## 4.2. Cálculo de la exposición por consumo de carne y leche

### 4.2.1. Estimación de la exposición por consumo de carne y leche con datos del modelo

Para el cálculo de la exposición se tuvo en cuenta la información de la cantidad residual teórica o concentración teórica por plaguicida para carne y leche reportadas en la Tabla 30 en el Anexo II y los datos de consumo descritos en el

numeral anterior; los cálculos se muestran en el Anexo II. Los resultados de esta estimación se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15. Estimación de la exposición a residuos de plaguicidas OCL en carne y leche**

Plaguicida	Carne (ng/persona/día)	Leche líquida (ng/persona/día)	Leche polvo (ng/persona/día)
DDT	1244,30	1027,90	189,47
Aldrín	3068,20	3,04E-2	5,61E-3
Dieldrín	7,94	6,56	1,21
Endrín	109,83	90,73	16,72
Heptacloro	119,67	98,86	18,22
HCH/ Lindano	14,48	11,96	2,20

*Nota: los datos de Endosulfán no se incluyen debido a que no se cuenta con información suficiente para realizar el cálculo de la exposición.*

**Fuente:** Grupo de redacción ERIA

Asumiendo el peso corporal promedio de la población (64,9 kg) se estima la dosis de la exposición, como se presenta en la Tabla 16.

**Tabla 16. Exposición con corrección a peso corporal promedio**

Plaguicida	Carne (ng/kg de PC/día)	Leche líquida (ng/kg de PC/día)	Leche polvo (ng/kg de PC/día)
DDT	19,17	15,84	2,92
Aldrín	5,67E-4	4,69E-4	8,64E-5
Dieldrín	1,22E-01	1,01E-01	1,86E-02
Endrín	1,69	1,40	2,58E-01
Heptacloro	1,88	1,52	2,81E-01
HCH/ Lindano	2,23E-01	1,84E-01	3,40E-02

PC: peso corporal

*Nota: los datos de Endosulfán no se incluyen debido a que no se cuenta con información suficiente para realizar el cálculo de la exposición.*

**Fuente:** Grupo de redacción ERIA

Con base en la información mostrada en las Tablas 15 y 16, se resalta que el DDT es el que generaría mayor exposición por el consumo de las matrices estudiadas.

El cálculo de la exposición de OCL por consumo de carne se presenta en la Tabla 17. La ingesta diaria posible (IDP) se estimó con base en los valores presentados en la columna 2 de la Tabla 17, la que se comparó con la ingesta diaria admisible (IDA) del *Codex Alimentarius*, FAO y OMS, ajustada por peso. Siguiendo la recomendación citada por Castilla, Álvis y Álvis (2010) sobre la clasificación de la evaluación de exposición en riesgo bajo, medio o alto, se utilizó la relación IDP/IDA. Razones menores a 0,3 se clasifican como riesgo

bajo; entre 0,3 y 1 como riesgo medio; y mayor a 1 como de riesgo alto o inaceptable (66).

**Tabla 17. Evaluación de exposición para OCL presente en la carne respecto al modelo**

OCL en carne	Exposición OCL (ng/kg de PC/día)	IDP (ng/día)	IDA (ng/kg de PC /día)	IDA ajustada por peso (ng/día)	Razón IDP/IDA	Clasificación del riesgo
DDT	19,17	1244,133	20.000,00	1298000	0,0009585	Riesgo Bajo
Aldrín	5,67E-04	3,68E-02	1,00E+02	6490	0,00000567	Riesgo Bajo
Dieldrín	1,22E-01	7,92E+00	1,00E+02	6490	0,00122	Riesgo Bajo
Endrín	1,69	109,681	2000	129800	0,000845	Riesgo Bajo
Heptacloro	1,88	122,012	500	32450	0,00376	Riesgo Bajo
HCH/ Lindano	2,23E-01	1,45E+01	ND	ND	ND	Riesgo Bajo

PC: peso corporal

*Nota: los datos de Endosulfán no se incluyen debido a que no se cuenta con información suficiente para realizar el cálculo de la exposición.*

**Fuente:** Grupo de redacción ERIA

**Tabla 18. Evaluación de exposición para OCL presente en la leche líquida utilizando el modelo**

OCL en leche líquida	CONCENTRACIÓN OCL (ng/kg de PC/día)	IDP (ng/día)	IDA (ng/kg de PC /día)	IDA ajustada por peso ng/día	RAZÓN IDP/IDA	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO
DDT	15,84	1028,016	20.000,00	1298000	0,000792	Riesgo Bajo
Aldrín	4,69E-04	0,0304381	1,00E+02	6490	0,00000469	Riesgo Bajo
Dieldrín	1,01E-01	6,5549	1,00E+02	6490	0,00101	Riesgo Bajo
Endrín	1,4	90,86	2000	129800	0,0007	Riesgo Bajo
Heptacloro	1,52	98,648	500	32450	0,00304	Riesgo Bajo
HCH/ Lindano	1,84E-01	11,9416	ND	ND	ND	Riesgo Bajo

PC: peso corporal.

*Nota: los datos de Endosulfán no se incluyen debido a que no se cuenta con información suficiente para realizar el cálculo de la exposición.*

**Fuente:** Grupo de redacción ERIA.

Tabla 19. Evaluación de exposición para OCL presente en la leche en polvo utilizando el modelo

OCL en leche en polvo	Concentración OCL en el alimento (ng plaguicida/kg de PC/día)	IDP (ng de OCL/día)	IDA (ng de OCL/kg de PC /día)	IDA ajustada por peso ng de OCL/día	Razón IDP/IDA	Clasificación del riesgo
DDT	2,92	189,508	20.000,00	1298000	0,000146	Riesgo Bajo
Aldrin	8,64E-05	0,00560736	1,00E+02	6490	0,000000864	Riesgo Bajo
Dieldrin	1,86E-02	1,20714	1,00E+02	6490	0,000186	Riesgo Bajo
Endrin	2,58E-01	16,7442	2000	129800	0,000129	Riesgo Bajo
Heptacloro	2,81E-01	18,2369	500	32450	0,000562	Riesgo Bajo
HCH/ Lindano	3,40E-02	2,2066	ND	ND	ND	Riesgo Bajo

PC: peso corporal.

*Nota: los datos de Endosulfán no se incluyen debido a que no se cuenta con información suficiente para realizar el cálculo de la exposición.*

**Fuente:** Grupo de redacción ERIA

Los resultados para carne, leche líquida y leche en polvo mostrados en las tablas 17, 18 y 19, clasifican el riesgo como bajo con base en el modelo utilizado, la información disponible y los supuestos realizados.

#### 4.2.2. Evaluación de la exposición reportada en investigaciones

Castilla, Álvis y Álvis (2010) (66) estimaron la exposición por residuos de OCL presentes en 47 muestras de leche pasteurizada de dos marcas comerciales distribuidas en Cartagena, investigación realizada en adultos mayores asumiendo un peso corporal de 65,4 kg y con consumo promedio de 314,8 g/día, valor más alto que el reportado por la ENSIN (2005) (110). Los resultados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Estimación del riesgo de residuos de OCL presentes en muestras de leche pasteurizada de dos marcas comerciales distribuidas en Cartagena, Bolívar

Plaguicida	Cantidad detectada en la leche (mg/g)	IDA (g/kg de PC/día)	IDP (mg/día)	IDA Promedio Ajustado por peso (mg/día)	Razón IDP/IDA	Clasificación del Riesgo
A – BHC	0,00001	0,0000008	0,003	0,05235571	0,06	Riesgo Bajo
B- BHC	0,00001	0,0000008	0,003	0,05235571	0,06	Riesgo Bajo
Γ- BHC	0,00263	0,0000008	0,828	0,05235571	15,81	Riesgo Alto
Δ – BHC	0,00005	0,0000008	0,016	0,05235571	0,30	Riesgo Medio
Heptacloro	0,00002	0,0000005	0,006	0,03272232	0,19	Riesgo Bajo
Heptacloro epóxido	0,00001	0,0000005	0,003	0,03272232	0,10	Riesgo Bajo
Aldrin	0,00002	0,0000001	0,0060	0,00654446	0,96	Riesgo Medio
Dieldrin	0,00002	0,0000001	0,006	0,00654446	0,96	Riesgo Medio
γ – Clordano	0,00012	0,0000005	0,0387	0,03272232	1,15	Riesgo Alto
α – Clordano	0,0009	0,0000005	0,283	0,03272232	8,66	Riesgo Alto
DDT	0	0,00002	0,000	1,30889267	0	Riesgo Bajo
DDE	0,00001	0,00002	0,003	1,30889267	0	Riesgo Bajo
D.D.D.	0,00001	0,00002	0,003	1,30889267	0	Riesgo Bajo
Endosulfán I	0,00004	0,000006	0,013	0,3926678	0,03	Riesgo Bajo
Endosulfán II	0,000001	0,000006	0,000	0,3926678	0	Riesgo Bajo
Endosulfán Sulfato	0,000002	0,000006	0,001	0,3926678	0	Riesgo Bajo
Endrin	0,000027	0,000002	0,008	0,01308893	0,65	Riesgo Medio
Endrin Aldehído	0,000009	0,000002	0,028	0,01308893	2,16	Riesgo Alto
Endrin Cetona	0,000042	0,000002	0,013	0,01308893	1,01	Riesgo Alto
Metoxicloro	0,000191	N.D.	0,060	N.D	N.D.	N.D.

Fuente: Grupo de redacción ERIA, adaptada de Castilla, Álvis y Álvis (2010) (66).

PC: peso corporal

IDA: Ingesta Diaria Admisible

LMR: Límites Máximos de Residuos, propuestos por la FAO/OMS

IDP = (gramo de leche consumida / día) X (mg de OCL /gramo de leche)

Para el Endrin aldehído, el Endrin cetona y los isómeros del Clordano, la exposición estimada es alta. Los autores establecieron la siguiente estimación de la dosis de exposición para Cartagena (ver Tabla 21).

Tabla 21. Estimación la dosis de exposición (DE) para el estudio realizado en Cartagena, Bolívar

Plaguicida	DE (mg/g-día)
α - BHC	0,029
β- BHC	0,029
γ- BHC	7,707
δ - BHC	0,147
Heptacloro	0,059
Heptacloro epóxido	0,029
Aldrín	0,059
Dieldrín	0,059
γ - Clordano	0,352
α - Clordano	2,638
DDT	0
DDE	0,029
D.D.D,	0,029
Endosulfán I	0,117
Endosulfán II	0
Endosulfán	0,003
Sulfato	
Endrín	0,006
Endrín Aldehído	0,079
Endrín Cetona	0,264
Metoxicloro	0,123

Fuente: Castilla-Pinedo *et al.*, 2010 (66)

De Arcor y Jaramillo (2011) (69), analizaron 36 muestras de leche pasteurizada en Cartagena, observando que todas estaban contaminadas con Lindano y que las concentraciones superaban el LMR de 0,01 mg/kg establecido por FAO/OMS. El valor máximo encontrado fue de 0,062 mg/kg base grasa. Por su parte, Díaz-Pongutá (68) estudió leche cruda de la región de Córdoba, Colombia. Los principales residuos de OCL fueron DDT (47,17 ng/g), Endrín (47,1 ng/g), Dieldrín (48,7 ng/g), Aldrín (36,6 ng/g) y HCH (469,6 ng/g). Con estos valores los autores estimaron la exposición que se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22. Estimación de la relación IDP/IDA de OCL en muestras de leche cruda de subregiones del departamento de Córdoba, Colombia

PLAGUICIDA	RELACIÓN (IDP/IDA ajustado) *100			
	San Jorge	Sinú Medio	Sabanas	Costanera
DDT	11,4	8,8	8,2	8,9
a-HCH	156,3	140,0	282,4	73,5
d-HCH	N.D.	23,0	N.D.	5,2
Aldrín	151	161,1	176,1	N.D.
Dieldrín	234,3	193,8	209,2	147,7
Endrín	90,4	113,3	91,2	89,5
Heptacloro	N.D.	2,9	N.D.	N.D.
Heptacloro-epóxido	59,4	16,1	57,8	N.D.
γ-Clordano	N.D.	39,3	N.D.	N.D.

Fuente: Díaz-Pongutá (68)

Estos valores muestran que para algunas regiones (San Jorge) existe una exposición a HCH y Dieldrín que podría ser calificado como alta.

#### 4.2.3. Efectos por el procesamiento del alimento

El tratamiento con calor de muestras de carne bovina (ebullición por 1,5 horas) produjo reducciones de 40,4%, 55%, 32,4%, 33,5%, 29,2%, 42,7% y 38,2 % para DDT, Lindano, Dieldrín, Aldrín, Endrín, Toxafeno y HCB respectivamente; estas pérdidas se atribuyen a que los lípidos y los compuestos lipídicos son parcialmente removidos durante procesos que involucran tratamiento térmico (51). En el trabajo de Sallam *et al.* (2008) (51), también se mencionan investigaciones anteriores en donde se ha probado el efecto de los tratamientos térmicos sobre los OCL como los relacionados en la Tabla 23.

Tabla 23. Reducción de la concentración de compuestos OCL por procesamiento térmico para diferentes alimentos

COMPUESTOS	CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO	% REDUCCIÓN	REFERENCIA
DDT	Cortes de carne de cordero sometidos a cocción.	44	(124)
Lindano	Carne cocida durante 2 horas a 115°C	60	(125)
Lindano	Carne de conejo en ebullición por 1,5 horas	65	(126)
Lindano	Carne de ovino procesada incluyendo cocción y parrillada	17-35	(127)
DDT, Dieldrín, Toxafeno y HCB	Filetes de pescado	Reducción significativa	(128)
Alfa y beta Endosulfán	Carne de búfalo	Ebullición: alfa (58,3) y beta (55,93) T° y presión: alfa (64,6) y beta (61,6) Microondas: alfa (61,8) y beta (58,54)	(129)

Fuente: Grupo de redacción ERIA

Es importante destacar que algunos factores como el tratamiento térmico de la leche, coagulación ácida y enzimática, el descremado y la acidificación de derivados como el yogur pueden reducir los niveles de los OCL, especialmente de Lindano que se redujo por tratamiento térmico hasta en un 85% (54, 130, 131).

## 5. Medidas de prevención y control

Se recomienda hacer cumplir las buenas prácticas correspondientes a cada etapa del ciclo productivo para disminuir los riesgos asociados a la salud, realizar control exhaustivo a las fincas de producción de ganado y leche por parte de las instituciones oficiales que tienen funciones de Inspección, Vigilancia y Control en el país (132-135).

En Colombia la Resolución 2906 de 2007 de los Ministerios de Protección Social y de Agricultura y Desarrollo Rural establece los LMR de plaguicidas en alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes (120). Adicionalmente, se cuenta con normatividad para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA), a través de la Resolución 4174 de 2009 expedida por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) por la cual se reglamenta la Certificación en BPA, inicialmente para garantizar la producción inocua de frutas y hortalizas en fresco (136).

Con respecto a las buenas prácticas ganaderas (BPG) se cuenta con el Decreto 616 de 2006, por el que se establece el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano en el país; en el cual se definen los aspectos sobre buenas prácticas en el uso de medicamentos veterinarios y en la alimentación animal, lo que favorece un control más estricto en la producción de leche y su inocuidad (137). Así mismo, el Decreto 1500 de 2007 y sus decretos reglamentarios establecen los requisitos sanitarios y de inocuidad en la producción de carne (138) y la Resolución 2341 de 2007 reglamenta las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria bovina y bufalina destinada a sacrificio (139).

El riesgo de contaminación de alimentos y su ingesta aumenta con el uso excesivo de OCL, debido a la contaminación directa durante la cadena productiva, a una mayor bioacumulación de estos compuestos en tejidos grasos de origen animal y vegetal, a un mayor tiempo de exposición y al consumo de alimentos contaminados especialmente en grupos de riesgo (134, 135, 140).



Por esta razón, es responsabilidad de los diferentes entes sociales tales como el Estado, miembros de la cadena productiva y población general, implementar medidas de prevención que disminuyan los riesgos asociados a la persistencia de estos plaguicidas en el ambiente y al consumo de sus residuos (141-143). Una aplicación constante y sistemática de las buenas prácticas correspondientes a cada etapa de la cadena productiva es el requisito principal que garantiza la inocuidad de los alimentos. Finalmente se recomienda fortalecer los programas de vigilancia ambiental y sanitaria para informar, verificar y cuantificar la presencia de este tipo de contaminantes y su efecto en salud sobre la población.

## 6. Carencias de datos y futuras necesidades de investigación

Para determinar la carga ambiental de plaguicidas hace falta diseñar e implementar programas y planes de monitoreo de contaminación por OCL de agua y suelos.

No se cuenta con programas y planes de monitoreo de contaminación por OCL en pasturas y ensilados, los cuales aportan información requerida para la estimación de la exposición.

Los datos disponibles de consumo de carne y leche de la población colombiana no permiten tener información discriminada por tipo de alimento para llevar a cabo la estimación de la exposición de manera más precisa.

La información de vigilancia epidemiológica disponible no permite establecer el nexo entre la sustancia tóxica y su efecto en salud, especialmente por exposición crónica, por lo que se sugiere fortalecer las herramientas de recolección primaria de información y contar con laboratorios para el monitoreo sistemático y constante de residuos de plaguicidas OCL en alimentos.

En la revisión bibliográfica realizada no se encontraron investigaciones que generen información sobre contaminación de carne bovina con OCL en Colombia. Respecto a la leche se encontraron investigaciones limitadas en los departamentos de Bolívar y Córdoba.



## 7. Conclusiones

### Término de referencia 1.

*¿Cuáles plaguicidas organoclorados podrían ser encontrados como residuos de carne y leche bovina en Colombia?*

Los OCL que podrían ser encontrados como residuos en carne y leche bovina en Colombia son aquellos que fueron utilizados en el país: Endosulfán, DDT, Aldrín, Dieldrín, Endrín, Heptacloro, HCH (Lindano), Toxafeno y Clordano, incluidos en el Convenio de Estocolmo por ser compuestos orgánicos persistentes, que además han sido restringidos y prohibidos por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Adicionalmente se incluye en este perfil el 2,4-D que cuenta con registro de uso y venta por parte del ICA.

**Término de referencia 2.** A partir de estimaciones predictivas y resultados de estudios nacionales de organoclorados en carne y leche de origen bovino en Colombia, frente a la normativa actual del país,

*¿Cuáles de los residuos de OCL identificados como residuos en el TdR 1 podrían constituirse como un riesgo para la salud pública?*

Con la información disponible y analizada, las estimaciones predictivas realizadas en carne y leche fueron clasificadas como riesgo bajo, teniendo en cuenta que el modelo se aplicó a población general adulta y que los niveles de contaminación fueron estimados a partir de los datos ambientales utilizados en el modelo descrito, del cual se puede inferir que la exposición actual no representa un riesgo para la salud pública. Algunos estudios puntuales realizados en leche evidenciaron niveles de contaminación mayores al LMR para Clordano, Endrín, HCH y Dieldrín, en los departamentos de Bolívar y Córdoba, sin que se disponga de información en salud asociada a esta contaminación.

**Término de referencia 3.** De acuerdo con la producción de carne y leche bovina, *¿Qué regiones o departamentos son susceptibles de tener residuos de plaguicidas organoclorados identificados en el TdR I?*

Los principales departamentos productores de leche se encuentran en la Región Atlántica (Córdoba) y Andina (Cundinamarca, Boyacá y Antioquia); la producción de carne se encuentra principalmente en la Región Atlántica (Córdoba), Andina (Antioquia) y la Orinoquía (Meta y Casanare). Las anteriores regiones son susceptibles de tener residuos de OCL debido a la contaminación ambiental ocasionada por **a.** el uso extensivo por más de 40 años de estos plaguicidas especialmente DDT en campañas de erradicación del vector de la malaria, **b.** el uso en cultivos de algodón, arroz, flores y café, durante más de 30 años, y **c.** por el hallazgo de entierros de plaguicidas en los departamentos de Bolívar, Cesar y Tolima, entre otros.

El panorama anterior configura un escenario propicio para la contaminación ambiental de los suelos, teniendo como consecuencia la presencia de residuos de plaguicidas OCL en carne y leche a través de la cadena trófica. Se podría suponer que los niveles altos de residuos de OCL en leche, encontrados en los departamentos de Córdoba y Bolívar, pueden tener su origen en la contaminación ambiental.

## 8. Recomendaciones

Fortalecer los programas y planes de muestreo y monitoreo de residuos de plaguicidas OCL en producción primaria y procesamiento de carne y leche.

Desarrollar e implementar por la autoridad ambiental competente, programas y planes de monitoreo de contaminación por OCL de agua y suelos.

Desarrollar e implementar por la autoridad sanitaria competente, planes de monitoreo de contaminación por plaguicidas OCL en pasturas y ensilados.

Incluir en la ENSIN datos de porción y frecuencia de consumo discriminados por tipo de alimento para carne y leche de origen bovino y los subproductos.

Mejorar la ficha de notificación de eventos de interés en salud pública, de modo que permita incorporar información de posibles sustancias tóxicas tales como residuos de plaguicidas, así como de las pruebas diagnósticas y de laboratorio que deben practicarse tanto en eventos agudos como crónicos.

Promover las investigaciones que generen información sobre los niveles de residuos de plaguicidas OCL en carne y leche bovina con cobertura nacional, así como investigaciones sobre contaminación ambiental, especialmente en suelos y aguas, pasturas, ensilados y forrajes.

Fortalecer los estudios epidemiológicos de tal manera que permitan establecer el grado de asociación entre la sustancia tóxica y su efecto en salud, especialmente por exposición crónica.



## Abreviaturas, Siglas y Acrónimos

2,4-D:	Acido 2,4-Diclorofenoxiacético
AOAC:	Association of Analytical Communities - Asociación de comunidades analíticas.
COP:	Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes
DBCP:	Dibromocloropropano
DDT:	Diclorodifeniltricloroetano
ECD:	Detector de captura de electrones
ENSIN:	Encuesta Nacional de la Situación Nutricional
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FEDEGAN:	Federación Colombiana de Ganaderos
GABA:	Acido Gama-aminobutírico
GC/MS:	Cromatografía de gases/ espectrometría de masas
GC:	Cromatografía de gases
GSC:	Cromatografía gas-sólido
HCH:	Hexaclorohexano (Lindano)
HDL:	Colesterol de alta densidad
IDA:	Ingesta Diaria Admisible
IDP:	Ingesta Diaria Provisional
IR:	Índice de residuos
IRT:	Índice de Residuos Tóxicos
LLE:	Extracción líquido- líquido
LMR:	Límite Máximo de Residuo
MRM:	Resonancia magnética nuclear
MS:	Materia Seca
MS:	Espectrometría de masas
OCL:	Organoclorados
OMS:	Organización Mundial de la Salud
SISBEN:	Sistema de Identificación y Clasificación de Potenciales Beneficiarios para los programas sociales



SNC:	Sistema Nervioso Central
TLC:	Tratado de Libre Comercio
UE:	Unión Europea
USDA:	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
VD:	Volumen de Distribución.
VDA:	Volumen de Distribución Aparente.

## Glosario

**Volumen de Distribución (VD):** volumen de agua corporal en el que el fármaco se disuelve. El volumen de distribución, relaciona la cantidad de fármaco presente en el cuerpo con su concentración en plasma ( $C_p$ ).

$V_d = \text{Dosis} / \text{concentración plasmática}$

$V_d = \text{Dosis} * f / \text{ABC} * K_e$

$V_d = \text{Cl} / K_e$

**Volumen de Distribución Aparente (VDA):** valor aparente, constante de proporcionalidad entre la concentración plasmática y la cantidad de fármaco en el organismo.

**Compuestos Orgánicos Persistentes (COP):** son productos químicos que poseen ciertas propiedades tóxicas y que, contrariamente a otros contaminantes, son resistentes a la degradación. Los COP son especialmente perjudiciales para la salud humana y para el medio ambiente. Se bioacumulan, son transportados por el aire, el agua y las especies migratorias, y se acumulan en los ecosistemas terrestres y acuáticos.



## Referencias Bibliográficas

1. Kucklick JR, Struntz WD, Becker PR, York GW, O'Hara TM, Bohonowych JE. Persistent organochlorine pollutants in ringed seals and polar bears collected from northern Alaska. *Science of the Total Environment*. 2002;287(1):45-59.
2. Arias V, Riera C, Rojas D, Cabrera N, Dierkmeier G. Plaguicidas Organoclorados. Serie vigilancia 9. ECO/OMS, México. 1990;97.
3. 2006/507/CE: Decisión del Consejo, de 14 de octubre de 2004 , relativa a la firma, en nombre de la Comunidad Europea, del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes [Internet]. Diario Oficial. 2006 [cited 29/07/2013]. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006D0507:ES:HTML>.
4. Henao S, Nieto O. Curso de autoinstrucción en diagnóstico, tratamiento y prevención de intoxicaciones agudas causadas por plaguicidas. División de Salud y Ambiente de la Organización Panamericana de la Salud (HEP/OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS) y proyecto PLAGSALUD de la OPS/OMS. 2008.
5. Aulakh RS, Gill JPS, Bedi JS, Sharma JK, Joia BS, Ockerman HW. Organochlorine pesticide residues in poultry feed, chicken muscle and eggs at a poultry farm in Punjab, India. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2006;86(5):741-4.
6. Noble A. The relation between organochlorine residues in animal feeds and residues in tissues, milk and eggs: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 1990;30(1):145-54.
7. Sánchez M. NP, Rodríguez Susa MS, Sarria M. VM. Pesticidas obsoletos en Colombia. Situación actual y alternativas de tratamiento y disposición. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*. 2006;13-22(0121-4993).

8. Ladrón de Guevara JL, Pueyo VM. Toxicología médica: clínica y laboral. Madrid: McGraw Hill, Interamericana de España; 1995. p. 737.
9. Guerrero E. Los plaguicidas. Sistema de Educación Continua Salud Ocupacional. Bogotá D.C.: Asociación Colombiana de Facultades de Medicina: Módulo no. 8; 1991. p. 112.
10. Ministerio de Agricultura. Resolución 447 del 6 de diciembre de 1974. 1974.
11. García JE. Intoxicaciones Agudas con Plaguicidas: Costos humanos y económicos. Rev Panam Salud Pública. 1998;4(6):p 383-5.
12. FAO. Prevención y eliminación de plaguicidas obsoletos 2013 [cited 2013 29 Jul 2013]. Available from: <http://www.fao.org/agriculture/crops/obsolete-pesticides/why-problem/pesticide-bans/es/>.
13. Carrascal. JBJPMUyE. Informe nacional sobre el uso y manejo de plaguicidas en Colombia, tendiente a identificar y proponer alternativas para reducir el escurrimiento de plaguicidas al mar Caribe. Programa CAM - INVEMAR Global Environment Facility. 2000.
14. Directiva 96/23/CE del Consejo en cuanto al funcionamiento de los métodos analíticos y la interpretación de los resultados., Decisión 2002/657/CE (2002).
15. Lehotay S. AOAC Official Method 2007.01 Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate. Journal of AOAC International. 2007;90(2):485-520.
16. Foods of plant origin - Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and clean-up by dispersive SPE - QuEChERS-method. Standard reference: EN 15662:2008., EN 15662:2008 (2008).
17. FAO. Revision of the list of methods for pesticide residue analysis including methods of determination for Dithiocarbamates. Commonly used Methods for Pesticide Residue Analysis in Food. Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. 2007.
18. Reglamento técnico creación del Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos Destinados para el Consumo Humano, Decreto 1500 de 2007 (2007).
19. The Codex Alimentarius Code of Hygienic Practice for Meat, (2005).

20. FAO. Carne y Productos Cárnicos: Departamento de Agricultura y Protección al consumidor; 2014. Available from: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html>.
21. Hautzinger GHP. Meat Processing Technology for Small-to-medium-scale producers Bangkok: FAO, 2007 Contract No.: RAP PUBLICATION 2007/20.
22. Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendia, importe o exporte en el país, Decreto 616 de 200 (2006).
23. FAO. Informe de la Segunda Reunion del Comité del Codex sobre la Leche y los Productos Lácteos. Apéndice X: Código de Principios Referentes a la Leche y los Productos Lácteos. FAO, Roma: Departamento de Agricultura, 1996 Contract No.: ALINORM: 97/11.
24. Food Outlook. Global Market Analysis [Internet]. 2012 [cited 29/07/2013]. Available from: <http://www.fao.org/docrep/016/al993e/al993e00.pdf>.
25. Livestock and Poultry: World Markets and Trade [Internet]. Office of Global Analysis. 2014. Available from: <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/fas/livestock-poultry-ma//2010s/2014/livestock-poultry-ma-10-17-2014.pdf>.
26. FAO-FAOSTAT. Food and Agricultural commodities production 2013. Available from: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QL/E>.
27. FAO-FEPALE. Situación de la Lechería en América Latina y el Caribe en 2011, Observatorio de la Cadena Lechera. . Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, División de Producción y Sanidad Animal., 2012.
28. DANE. Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria ENA. Dirección de Metodología y Producción Estadística – DIMPE –; 2013.
29. FEDEGAN. Colombia produjo 957 mil toneladas de carne bovina en 2013: Contexto Ganadero; 2013 [cited 2013]. Available from: <http://contextoganadero.com/internacional/colombia-produjo-957-mil-toneladas-de-carne-bovina-en-2013>.
30. DANE. Encuesta de Sacrificio de Ganado. DANE, 2014.
31. DANE. Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria ENA. Dirección de Metodología y Producción Estadística – DIMPE –; 2012.

32. DANE. Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria ENA. Dirección de Metodología y Producción Estadística – DIMPE –; 2011.
33. DANE. Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria ENA. Dirección de Metodología y Producción Estadística – DIMPE –; 2010.
34. DANE. Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria ena. Dirección de Metodología y Producción Estadística – DIMPE –; 2009.
35. FAS/USDA. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. FAS/USDA. New York: Office of Global Analysis, 2014.
36. FAO. Market summaries. Milk an milk products. 2013.
37. FEDEGAN. Exportaciones e impotaciones de lácteos en 2013. FEDEGAN, 2013.
38. Ministerio de Comercio lyT. Acuerdos Vigentes 2013 [updated 17 de octubre de 2013; cited 30 Julio de 2013]. Available from: <http://www.tlc.gov.co/publicaciones.php?id=5398>.
39. FEDEGAN. Situación actual y perspectivas de la producción de carne de res2011.
40. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. La cadena de la carne bovina en Colombia. Una mirada global de su estructura dinámica 1991-2005. Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogotá D.C.2005.
41. PROEXPORT. Sector carnico en Colombia2010 Consultado el 14 de agosto de 2012 en: .
42. La Ganadería Colombiana y las Cadenas Láctea y Cárnica. Cifras de Referencia. [Internet]. Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana PEGA 2019. 2012 [cited 29/07/2013]. Available from: [http://portal.fedegan.org.co/pls/portal/docs/PAGE/PORTAL/ESTA\\_DISTICAS1/CIFRAS%20DE%20REFERENCIA/1-%20SECTOR%20GANADERO\\_%20CIFRAS%20REFERENCIA%20\(SEPTIEMBRE\\_2012\).PDF](http://portal.fedegan.org.co/pls/portal/docs/PAGE/PORTAL/ESTA_DISTICAS1/CIFRAS%20DE%20REFERENCIA/1-%20SECTOR%20GANADERO_%20CIFRAS%20REFERENCIA%20(SEPTIEMBRE_2012).PDF).
43. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. La cadena de lácteos en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogotá (Colombia)2005. p. p 2-39.
44. LÁCTEO CN. Acuerdo de Competitividad de la Cadena Láctea Colombiana. CONSEJO NACIONAL LÁCTEO, 2010.
45. Herrera. Identificación de la capacidad empresarial y la eficiencia de los productores de leche de Guamal, departamento del Meta. . In:

- Javeriana PU, editor. Tesis de maestría. Villavicencio. Colombia 2009. p. p 13-25.
46. Mojica F, Trujillo R, Castellanos D, Bernal N. Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Cadena Láctea Colombiana 2007. Available from: [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_agronet/200831311504\\_L%E1cteos.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/200831311504_L%E1cteos.pdf).
  47. Glynn A, Aune M, Nilsson I, Darnerud PO, Ankarberg EH, Bignert A, et al. Declining levels of PCB, HCB and p,p'-DDE in adipose tissue from food producing bovines and swine in Sweden 1991–2004. *Chemosphere*. 2009;74(11):1457-62.
  48. Suazo RA, 1986. Determinación de plaguicidas organoclorados en el agua potable del Paraíso. Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras. Determinación de plaguicidas organoclorados en el agua potable del Paraíso. Honduras.: Universidad Nacional Autónoma de Honduras; 1986.
  49. Ahmad R, Salem NM, Estaitieh H. Occurrence of organochlorine pesticide residues in eggs, chicken and meat in Jordan. *Chemosphere*. 2010;78(6):667-71.
  50. Pardío V, Martínez D, Flores A, Romero D, Suárez V, López K, et al. Human health risk of dietary intake of organochlorine pesticide residues in bovine meat and tissues from Veracruz, México. *Food Chemistry*. 2012;135(3):1873-93.
  51. Sallam KI, Mohammed Ali Morshedy AE. Organochlorine pesticide residues in camel, cattle and sheep carcasses slaughtered in Sharkia Province, Egypt. *Food Chemistry*. 2008;108(1):154-64.
  52. Heck MC, Sifuentes dos Santos J, Bogusz Junior S, Costabeber I, Emanuelli T. Estimation of children exposure to organochlorine compounds through milk in Rio Grande do Sul, Brazil. *Food Chemistry*. 2007;102(1):288-94.
  53. Salem NM, Ahmad R, Estaitieh H. Organochlorine pesticide residues in dairy products in Jordan. *Chemosphere*. 2009;77(5):673-8.
  54. Kampire E, Kiremire BT, Nyanzi SA, Kishimba M. Organochlorine pesticide in fresh and pasteurized cow's milk from Kampala markets. *Chemosphere*. 2011;84(7):923-7.
  55. Darko G, Acquah SO. Levels of organochlorine pesticides residues in dairy products in Kumasi, Ghana. *Chemosphere*. 2008;71(2):294-8.

56. Moraleda CJ. Niveles de Residuos de Pesticidas Organoclorados en Leche Pasteurizada UHT procedente de la IX y X Regiones de Chile. In: Chile UAd, editor. Facultad de Ciencias Agrarias Escuela de Ingeniería en Alimentos. Valdivia 2005.
57. Waliszewski SM, Pardío VT, Waliszewski KN, Chantiri JN, Aguirre AA, Infanzón RM, et al. Organochlorine pesticide residues in cow's milk and butter in Mexico. *Science of The Total Environment*. 1997;208(1-2):127-32.
58. Prado G, Diaz G, Vega y Leon S. Residuos de plaguicidas organoclorados en leche pasteurizada comercializada en Ciudad de México. *Arch med vet*. 1998;30(1):12.
59. Zapata AL, Santamaria MM, Alvarez M, Salazar S, Muller U. Residuos de plaguicidas organoclorados en leche vacuna, Nicaragua. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)*. 1996;120(6):8.
60. Losada A, Fernández N, Diez MJ, Terán MT, García JJ, Sierra M. Organochlorine pesticide residues in bovine milk from León (Spain). *Science of The Total Environment*. 1996;181(2):133-5.
61. Cerkenik V, Doganoc DZ, Jan J. Evidence of some trace elements, organochlorine pesticides and PCBs in Slovenian cow's milk. *Food Technology and Biotechnology*. 2000;38(2):155-60.
62. Luzardo O, Almeida-Gonzalez M, Henriquez-Hernandez L, Zumbado M, Alvarez-Leon E, Boada L. Polychlorobiphenyls and organochlorine pesticides in conventional and organic brands of milk: occurrence and dietary intake in the population of the Canary Islands (Spain). *Chemosphere*. 2012;88(3):307-15.
63. John PJ, Bakore N, Bhatnagar P. Assessment of organochlorine pesticide residue levels in dairy milk and buffalo milk from Jaipur City, Rajasthan, India. *Environment International*. 2001;26(4):231-6.
64. Martinez MP, Angulo R, Pozo R, Jodral M. Organochlorine pesticides in pasteurized milk and associated health risks. *Food and Chemical Toxicology*. 1997;35(6):621-4.
65. Aman IM, Bluthgen A. Occurrence of residues of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in milk and dairy products from Egypt. *Milchwissenschaft-Milk Science International*. 1997;52:394-9.
66. Castilla-Pinedo Y, Alvis-Estrada L, Alvis-Guzmán N. Exposición a organoclorados por ingesta de leche pasteurizada comercializada en

- Cartagena, Colombia. Revista de Salud Pública. 2010;12(1):p 14-26.
67. Hernández M, Vidal JV, Marrugo JL. Plaguicidas organoclorados en leche de bovinos suplementados con residuos de algodón en San Pedro, Colombia. Revista de Salud Pública [en línea]. 2010;12(6):p 982-99.
68. Díaz-Pongutá B, Lans-Ceballos E, Barrera-Violeth JL. Residuos de insecticidas organoclorados presentes en leche cruda comercializada en el departamento de Córdoba, Colombia. Acta Agronómica. 2012;61:10-5.
69. De Arco D, Jaramillo BE. Evaluación de plaguicidas organoclorados por HS-SPME - GC/ECD en leche pasteurizada comercializada en la ciudad de Cartagena (Colombia). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2011;9:41-8.
70. UPV. 2013.
71. Shunthirasingham C, Wania F, MacLeod M, Lei YD, Quinn CL, Zhang X, et al. Mountain Cold-Trapping Increases Transfer of Persistent Organic Pollutants from Atmosphere to Cows' Milk. Environmental science & technology. 2013;47(16):9175-81.
72. Ferrer A, editor Intoxicación por plaguicidas. Anales del sistema sanitario de Navarra; 2003: SciELO Espana.
73. Kester JE. Endocrine-Disrupting Chemicals. In: Sullivan JB KGe, editor. Clinical Environmental Health and Toxic Exposures. Philadelphia: Lippincott William and Wilkins; 2001. p. 362-73.
74. Nelson L. Goldfrank's toxicologic emergencies: McGraw-Hill Medical New York; 2011.
75. Ritter L, Solomon K, Forget J. Contaminantes orgánicos persistentes. Informe de evaluación sobre: DDT, aldrina, dieldrina, endrina, clordano, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno, bifenilos policlorados, dioxinas y furanos Preparado por. Canadian Network of Toxicology Centres. 1995.
76. University of Minnesota (UM). Integrated Pest Management Concepts, Tactics, Strategies and Case Studies. St. Paul 2009. Available from: [www.ipmworld.umn.edu](http://www.ipmworld.umn.edu).
77. Lauder J, Liu J. Handbook of developmental neurotoxicology 1998. Available from: <http://books.google.es/books?id=TU4ObOjKdUsC&pg=PA154&lpg=PA154&dq=neurotoxicology+and+organochlorine&source=bl&ots=M>

hlVimxqky&sig=NUyqN3QZWFs2IQ2KDjm9RaEHM1g&hl=en&sa=X&ei=IFptUccug7k7gp-

AuAQ&sqj=2&ved=0CEsQ6AEwBA#v=onepage&q=neurotoxicology%20and%20organochlorine&f=false.

78. Hayes WJ. Chlorinated hydrocarbons insecticides. 1991. In: Pesticides studied in Man [Internet]. San Diego: Academic Press; [731-868].
79. WHO. Endrin in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. 2004.
80. WHO. Chlorine in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. 2003.
81. ATSDR. 2010.
82. ATSDR. 2004.
83. General Fact Sheet: 2,4 D [Internet]. 2005. Available from: <http://npic.orst.edu/factsheets/2,4-DTech.pdf>.
84. Extonet. 1993.
85. Karami-Mohajeri S, Abdollahi M. Toxic influence of organophosphate, carbamate, and organochlorine pesticides on cellular metabolism of lipids, proteins, and carbohydrates: a systematic review. *Hum Exp Toxicol*. 2011;30(9):1119-40.
86. Androutopoulos VP, Hernandez AF, Liesivuori J, Tsatsakis AM. A mechanistic overview of health associated effects of low levels of organochlorine and organophosphorous pesticides. *Toxicology*. 2013;307(0):89-94.
87. Dikshith TSS, Kumar SN, Tandon GS, Raizada RB, Ray PK. Pesticide residues in edible oils and oil seeds. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1989;42(1):50-6.
88. Schuh RA, Richardson JR, Gupta RK, Flaws JA, Fiskum G. Effects of the organochlorine pesticide methoxychlor on dopamine metabolites and transporters in the mouse brain. *NeuroToxicology*. 2009;30(2):274-80.
89. Stevenson DE, Walborg Jr EF, Warner North D, Sielken Jr RL, Ross CE, Wright AS, et al. Monograph: Reassessment of human cancer risk of aldrin/dieldrin. *Toxicology Letters*. 1999;109(3):123-86.
90. Boada LD, Zumbado M, Henríquez-Hernández LA, Almeida-González M, Álvarez-León EE, Serra-Majem L, et al. Complex organochlorine pesticide mixtures as determinant factor for breast cancer risk: a

- population-based case-control study in the Canary Islands (Spain). 2012.
91. Porta M, Malats N, Jarrod M, Grimalt JO, Rifà J, Carrato A, et al. Serum concentrations of organochlorine compounds and K-ras mutations in exocrine pancreatic cancer. *The Lancet*. 1999;354(9196):2125-30.
  92. Ramos García OG. Determinación de plaguicidas organoclorados en el agua potable de Cd. Victoria, Tamps. y su potencial riesgo a la salud: Universidad Autónoma de Nuevo León; 2004.
  93. (IPCS) TIPoCS. Persistent Organic Pollutants 1995. Available from: <http://kanat.jsc.vsc.edu/student/shephear/brandnew.htm>.
  94. ATSDR. 2013.
  95. Landau-Ossondo M, Rabia N, Jos-Pelage J, Marquet LM, Isidore Y, Saint-Aimé C, et al. Why pesticides could be a common cause of prostate and breast cancers in the French Caribbean Island, Martinique. An overview on key mechanisms of pesticide-induced cancer. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2009;63(6):383-95.
  96. McGlynn KA, Trabert B. Adolescent and adult risk for testicular cancer. *Nat Rev Urol*. 2012;9(6):11.
  97. Itoh H, Iwasaki M, Kasuga Y, Yokoyama S, Onuma H, Nishimura H, et al. Association between serum organochlorines and global methylation level of leukocyte DNA among Japanese women: a cross-sectional study. *Science of The Total Environment*. 2014;490:603-9.
  98. Calle EE, Frumkin H, Henley SJ, Savitz DA, Thun MJ. Organochlorines and breast cancer risk. *CA: a cancer journal for clinicians*. 2002;52(5):301-9.
  99. Khera K, Whalen C, Trivett G, Angers G. Teratologic assessment of maleic hydrazide and daminozide, and formulations of ethoxyquin, thiabendazole and naled in rats. *Journal of Environmental Science & Health Part B*. 1979;14(6):563-77.
  100. (WHO) WHO. ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA FOR ALDRIN AND DIELDRIN: World Health Organisation (WHO); 1989.
  101. Sharma H, Zhang P, Barber DS, Liu B. Organochlorine pesticides dieldrin and lindane induce cooperative toxicity in dopaminergic neurons: role of oxidative stress. *Neurotoxicology*. 2010;31(2):215-22.
  102. OBSERVATORIO LATINOAMERICANO DE CONFLICTOS AMBIENTALES O. Plaguicidas con solicitudes de prohibición y de

- severa restricción. OBSERVATORIO LATINOAMERICANO DE CONFLICTOS AMBIENTALES (OLCA).
103. Fleming L, Mann JB, Bean J, Briggie T, Sanchez-Ramos JR. Parkinson's disease and brain levels of organochlorine pesticides. *Annals of Neurology*. 1994;36(1):100-3.
  104. Agency for toxic substances and disease registry A. DDT, DDE, DDD: Agency for toxic substances and disease registry, ATSDR; 2011 [cited 2014]. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=20>.
  105. Agency for toxic substances and disease registry A. Hexaclorociclohexano: Agency for toxic substances and disease registry, ATSDR; 2005 [cited 2014]. Available from: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts43.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts43.pdf).
  106. Li C, Cheng Y, Tang Q, Lin S, Li Y, Hu X, et al. The association between prenatal exposure to organochlorine pesticides and thyroid hormone levels in newborns in Yancheng, China. *Environmental Research*. 2014;129(0):47-51.
  107. Saoudi A, Fréry N, Zeghnoun A, Bidondo M-L, Deschamps V, Göen T, et al. Serum levels of organochlorine pesticides in the French adult population: The French National Nutrition and Health Study (ENNS), 2006–2007. *Science of The Total Environment*. 2014;472(0):1089-99.
  108. FAO. *Food Outlook: Biannual Report on Global Food Markets*. FAO, 2014.
  109. FEDEGAN. *Estadísticas: consumo aparente per cápita 2014* [2014]. Available from: <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/consumo-0>.
  110. ICBF-Profamilia. *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2005 (ENSIN)*. Bogotá: ICBF; 2006.
  111. Restrepo M, Muñoz N, Day N, Parra JE, de Romero L, Nguyen-Dinh X. Prevalence of adverse reproductive outcomes in a population occupationally exposed to pesticides in Colombia. *Scan J Work, EnvironHealth*. 1990;116:7.
  112. Bradberry SM, Proudfoot AT, Vale JA. Poisoning Due to Chlorophenoxy Herbicides. 2004;23(2):65-73.
  113. Casey P, Vale J. Deaths from pesticide poisoning in England and Wales: 1945-1989. *Human & experimental toxicology*. 1994;13(2):95-101.

114. Siddiqui M, Srivastava S, Mehrotra P, Mathur N, Tandon I. Persistent chlorinated pesticides and intra-uterine foetal growth retardation: a possible association. *International archives of occupational and environmental health*. 2003;76(1):75-80.
115. Idrovo AJ. Intoxicaciones masivas con plaguicidas en Colombia; Large-scale pesticides poisoning in Colombia. *Biomédica (Bogotá)*. 1999;19(1):67-76.
116. Salcedo A, et al. Exposición a plaguicidas en los habitantes de la ribera del río Bogotá (Suesca) y en el pez Capitán. *Rev Cienc Salud*. 2012;10(especial):p 29-41.
117. Hernández L, Guerrero E, Cubillos F, Salazar F. Niveles sanguíneos de insecticidas organoclorados en varios grupos de población colombiana. *Rev Col Cienc Quim Farmacol*. 1986;45(1):49-58.
118. Reglamento CE N° 839/2008 de la Comisión del 31 de julio de 2008.
119. Parlamento Europeo. Reglamento relativo a los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal y que modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo. 2005.
120. Resolución 2906 de 2007, (2007).
121. Resolución 10255, 10255 (1993).
122. Silva Orduz KS. Adecuación de cámara de aspersión agrícola y prueba piloto para el posible uso de tres productos agroquímicos como adyuvantes activadores en formulación herbicida para el control de la maleza liendrepuerco *Echinochloa colona* sp. bajo condiciones de invernadero: Universidad Nacional de Colombia; 2007.
123. Guaitero L. Propuesta metodológica para la evaluación de riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia; 2010.
124. Bayarri S, Conchello P, Ariño A, Lázaro R, Herrera A. DDT, DDT metabolites, and other organochlorines as affected by thermal processing in three commercial cuts of lamb. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1994;52(4):554-9.
125. Jan J, Malnersic S. Effects of some food additives and fat content in meat on lindane transformation to nonpolar compounds during cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1982;30(6):1253-6.
126. Mirna A, Coretti K. Influence of processing on the degradation of pesticides in meat products. *Meat Science*. 1979;3(2):97-108.

127. Conchello MP, Herrera A, Ariño A, Lázaro R, Pérez-Arquillué MC. Effect of grilling, roasting, and cooking on the natural hexachlorobenzene content of ovine meat. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1993;50(6):828-33.
128. Zabik ME, Zabik MJ, Booren AM, Nettles M, Song J-H, Welch R, et al. Pesticides and Total Polychlorinated Biphenyls in Chinook Salmon and Carp Harvested from the Great Lakes: Effects of Skin-on and Skin-off Processing and Selected Cooking Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1995;43(4):993-1001.
129. Muthukumar M, Sudhakar Reddy K, Narendra Reddy C, Kondal Reddy K, Gopala Reddy A, Jagdishwar Reddy D ea. Detection of cyclodiene pesticide residues in buffalo meat and effect of cooking on residual level of endosulfan. *J Food Sci Technol*. 2010;47(3):325-9.
130. Kaushik G, Satya S, Naik S. Food processing a tool to pesticide residue dissipation—A review. *Food Research International*. 2009;42(1):26-40.
131. Abou-Arab A. Effects of processing and storage of dairy products on lindane residues and metabolites. *Food chemistry*. 1999;64(4):467-73.
132. Agriculture Canada. *Safety Pesticide*. Ottawa 1989.
133. International Labour Organization. *Safe use of pesticides*. Geneva 1979.
134. Murphy S. Toxic effects of pesticides In: Klaassen C, Amdur M, Doull J, editors. *Toxicology* New York: : Macmillan Publishing Company; 1986.
135. GIFAP. *Normas para el empleo seguro y eficaz de plaguicidas*. Bruselas (Bélgica): GIFAP; 1983.
136. Por medio de la cual se reglamenta la Certificación de Buenas Prácticas Agrícolas en la producción primaria de frutas y vegetales para consumo fresco., Resolución 4174 (2009).
137. Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendi, importe o exporte en el país, Decreto 616 (2006).
138. Reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos Destinados para el Consumo Humano Decreto 1500 (2007).

139. Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado bovino y bufalino destinado al sacrificio para consumo humano, Resolución 2341 (2002).
140. GIFAP. Normas para evitar, eliminar y destruir los residuos de plaguicidas en las fincas. Bruselas (Bélgica): GIFAP; 1988.
141. International Labour Organization. Safety and Health in the use of agrochemicals: A guide. Geneva 1991.
142. Smith JE, Helmick J. Guidelines for treatment and disposal of small quantities of pesticide. Washington: Pan American Health Organization; 1991.
143. Zamorano E. Escuela Agrícola Panamericana. In: plaguicidas Cdmdpy, editor. Honduras 1996.
144. Jeong I-S, Kwak B-M, Ahn J-H, Jeong S-H. Determination of pesticide residues in milk using a QuEChERS-based method developed by response surface methodology. Food chemistry. 2012;133(2):473-81.
145. Botitsi HV, Garbis SD, Economou A, Tsiipi DF. Current mass spectrometry strategies for the analysis of pesticides and their metabolites in food and water matrices. Mass spectrometry reviews. 2011;30(5):907-39.
146. de Kok Food A, VWA SA, Fernández-Alba AR, Gamón M, Valenciana G, Lippold SDR, et al. METHOD VALIDATION AND QUALITY CONTROL PROCEDURES FOR PESTICIDE RESIDUES ANALYSIS IN FOOD AND FEED. 2007.
147. Alimentarius C. Report of the Thirty-ninth Session of the Codex Committee on Pesticide Residues. Beijing, China. 2007:7-12.
148. Lehotay SJ. Multiclass, multiresidue analysis of pesticides, strategies for. Encyclopedia of Analytical Chemistry. 2000.
149. Alder L, Greulich K, Kempe G, Vieth B. Residue analysis of 500 high priority pesticides: Better by GC-MS or LC-MS/MS? Mass spectrometry reviews. 2006;25(6):838-65.
150. Lehotay SJ, Maštovská K, Yun SJ. Evaluation of two fast and easy methods for pesticide residue analysis in fatty food matrixes. Journal of AOAC International. 2005;88(2):630-8.
151. Anastassiades M, Lehotay SJ, Štajnbaher D, Schenck FJ. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce. Journal of AOAC international. 2003;86(2):412-31.

152. Agency CFI. The determination of organochlorinated pesticides and polychlorinated biphenyls PCBS in dairy, raw milk, egg and egg products by GC/ECD. Volume 9: Environmental Contaminants Analytical Methods Manual: Canadian Food Inspection Agency; 2001.
153. EPA. 2002.
154. Ontario MotEo. PROTOCOL OF ACCEPTED DRINKING-WATER TESTING METHODS Laboratory of Services Branch; 2006.
155. Agency USEP. U.S. EPA Drinking water methods for chemical parameters. Methods for the determination of organic compounds in drinking water 1995.
156. USDA. USDA Pesticide Data Program Analytical Methods. 2007.
157. Lehotay SJ. Supercritical fluid extraction of pesticides in foods. *Journal of chromatography a*. 1997;785(1):289-312.
158. Howsam M, Grimalt JO, Guinó E, Navarro M, Martí-Ragué J, Peinado MA, et al. Organochlorine exposure and colorectal cancer risk. *Environmental health perspectives*. 2004:1460-6.
159. Tomlin C. *The Pesticide Manual*, XIIth edition, a world compendium. British Crop Protection Council, UK. 2000.
160. ICA. Restricciones, prohibiciones y suspensión de registros de plaguicidas de uso agrícola en Colombia. Subgerencia de Protección y Regulación Agrícola, 2004.
161. De Villalobos T. Eficiencia de cosecha del forraje y producciones potenciales de carne. 4º Encuentro Productores de Terneros de la Cuenca del Salado. 2002.
162. Jacome S. Diagnóstico del uso y manejo de plaguicidas en tres cultivos hortícolas en la sabana de Bogotá y propuesta de un índice de predicción de residuos de plaguicidas: Universidad Nacional de Colombia; 2010.

## Anexos

### **Anexo 1**

Los plaguicidas OCL en general no son solubles en agua, tienen una afinidad preferencial por ambientes orgánicos o apolares. Por tal motivo, para efectos de concentración y acumulación en plantas y animales, son lipofílicos. Esta condición hace que la biodisponibilidad del compuesto puro sea en términos generales muy baja, de la misma forma, su dispersión, lo cual puede resultar en su acumulación debida a su poca movilidad. Sin embargo, su aplicación suele estar dada por aspersion y adyuvantes (surfactantes) que modifican los comportamientos de los compuestos puros, promoviendo su transporte en medios acuosos y su disponibilidad a la incorporación por sistemas vasculares o por la ingesta de animales herbívoros. En las Tablas 24, 25, 26 y 27 se resumen las propiedades de los plaguicidas OCL, los métodos analíticos para su determinación en carne y leche, los parámetros cinéticos de los plaguicidas OCL y la normativa sobre plaguicidas OCL prohibidos o restringidos en Colombia por el MSPS.

Tabla 24. Propiedades de los plaguicidas OCL

OCL	Fuente	Vida media en plantas (PETE)	Clase persistencia (GSL/PC) (PETE)	Log Kow (PETE)	Kd (PETE)	Koc (PETE)	BCF for protein tissue (PETE)	BCF for lipid material (PETE)	BCF (organismo completo) (PETE)	GUS (PETE)	LD50 mamíferos agua oral (log) (PPDB)	Metabolitos en ambiente		Definición de residuos	Solubilidad a 20°C (PPDB)
												Endosulfán sulfato, endosulfenolol	EFSA 2005		
Endosulfán		14	Muy persistente	4,76	21,47	2147	2577,5	57544	3320,5	4,64 alto	39 alto	Endosulfán sulfato, endosulfenolol	EFSA 2005	EFSA 2011	0,32 baja
DDT		1240	Muy persistente	6,9	278,3	27832	54702	7943284	241546	-4,47 bajo	113 moderado	DDD, TDE, DDE, DDE, TDE	PPDB, EFSA 2006	EFSA 2006	0,006 baja
Aldrin		120	Muy persistente	6,5	172,4	17240	30803	3162278	108393	-0,35 bajo	39 alto	Dieldrin	PPDB	EFSA 2005	0,027 baja
Dieldrin		280	Muy persistente	5,4	46,19	4619	6426,9	251188,7	11987,4	-0,25 bajo	46 alto	Dieldrin	ND	EFSA 2005	0,14 baja
Endrin		860	Muy persistente	5,34	42,99	4299	5699,3	218776,2	10612,1	0,0 bajo	7,5 alto	Delta-celotendrin	EFSA 2005	EFSA 2005	0,24 baja
Heptacloro		730	Muy persistente	5,44	48,45	4845	8004,6	275422,9	12965,8	-0,93 bajo	147 moderado	Heptacloro epóxido, fotoleptacloro, 1-hidroclordano	PPDB, EFSA 2007	EFSA 2007	0,056 baja
Lindano		196	Muy persistente	3,72	6,18	618	584	5248,1	413,3	3,95 alta	163 moderado	Isómero gamma HCH y otros	ND	EFSA 2005	8,52 baja
Carbencloro		73	Muy persistente	5,5	52,06	5206	7413,1	316227,8	14621,8	3,92 alta	50 alto	Estrobano	PPDB	EFSA 2005	3,0 baja

ND: no disponible.  
Fuente: grupo de redacción ERIA.

Tabla 25. Métodos analíticos de multi-residuos para la determinación de plaguicidas OCL en carne y leche.

Determinación	Método	Límite de detección/ intervalo	Referencia
Determination of pesticide residues in milk using a QuEChERS-based method developed by response surface methodology.	Cromatografía de gases / captura de electrones y espectrofotometría de masas.	0,1–1 ng/ml	(144)
Current mass spectrometry strategies for the analysis of pesticides and their metabolites in food and water matrices	Cromatografía de gases / Espectrofotometría de masas	1 ng/ml	(145)
Method validation and quality control procedures for pesticide residues analysis in food and feed	Cromatografía de gases / Espectrofotometría de Masas	1 ng/ml	(146)
Revision of the list of methods for pesticide residue analysis including methods of determination for dithiocarbamates commonly used methods for pesticide residue analysis in food	Cromatografía de gases / captura de electrones	ND	(147)
Método AOAC 2007.01, Pesticide residues in foods by acetonitrile extraction and partitioning with magnesium sulfate	Cromatografía de gases / espectrometría de masas y cromatografía líquida con detector de masas/ masas	10 ng/g	(15)
Multiclass, multiresidue analysis of pesticides, strategies for multiresidue analysis	Cromatografía de gases/ captura de electrones / espectrometría de masas	ND	(148)
Residue analysis of 500 high priority pesticides: Better by GC–MS or LC–MS/MS	Cromatografía de gases / espectrometría de masas y cromatografía líquida con detector de masas/ masas	0.1–1 ng/ml	(149)
Evaluation of two fast and easy methods for pesticide residue analysis in fatty food matrices	Cromatografía de gases / espectrometría de masas	10-99 ng/ml	(150)
Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce	Cromatografía de gases / captura de electrones / espectrometría de masas	1 ng/ml	(151)
Determination of organochlorinate pesticides and polychlorinated biphenyls in dairy and egg products by GC/ECD	Cromatografía de gases / captura de electrones	1 ng/ml	(152)
FDA - Pesticide analytical manual - Vol I	Cromatografía de gases / captura de electrones / espectrometría de masas	ND	(153)
E3400 - the determination of organochlorinepesticides, chlorobenzenes, aroclors, and toxaphenes in water, effluent, and waste water by hexane	Cromatografía de gases / espectrometría de masas Técnica de Microextracción	10 ng/ml	(154)
Method 505 Rev 2.1.Organohalide pesticides and PCBs by microextraction and GC method 508, Rev 3.1, chlorinated pesticides by GC with an electron capture detector	Cromatografía de gases / espectrometría de masas		
Method 508.1 Rev 2.0, Chlorinated pesticides, herbicides and organohalides by liquid-solid extraction and GC with an electron capture detector	Técnica de Microextracción – Método 508.Cromatografía de gases / captura de electrones / espectrometría de masas	1 ng/ml	(155)
Method 525.2 Rev 2.0, Organic compounds by liquid-solid extraction.	Técnica de extracción líquido / sólida –		
California MRM; Modified Luke MRM; New York Modified SPE; QuEChERS MRM; Analytical methods for meat products; Analytical methods for dairy products	Cromatografía de gases / captura de electrones / espectrometría de masas	100 ng/mL	(156)
Supercritical fluid extraction of pesticides in foods	Cromatografía de gases / captura de electrones	ND	(157)

ND: No disponible

Fuente: Grupo de redacción ERIA.

Tabla 26. Parámetros cinéticos de los plaguicidas OCL.

Grupo	Plaguicidas	t <sub>½</sub>	Vd	Factor de bioacumulación	Dosis aceptable diaria	DL50
Derivados del clorobenceno	DDT	ND	Alta acumulación en tejido adiposo (76).	59 pg/m <sup>3</sup> en aire (104).	1,81 ppb niveles permitidos (104).	Oral de 76mg/kg y dermal de 500mg/kg (158). DDT: 300- 500 mg/kg (158).
Derivados de ciclohexano	HCH isómeros (Lindano)	ND	HCH: Alta acumulación en tejido adiposo. Lindano: menor acumulación en tejido adiposo (76).	ND	180 mg/kg en niños (84).	1,560 mg/m <sup>3</sup> (104) 88-270 mg/kg en ratas (84).
	Aldrín	266-369 días	ND	ND	0,1 µg/kg/día	20-50 mg/kg (158).
	Dieldrín	266-369 días	Alta acumulación en tejido adiposo (76).	ND	0,1 µg/kg/día	20-50 mg/kg (158).
	Endrín	2-6 días	Menor acumulación en tejido adiposo (76).	ND	ND	ND
Ciclodienes	Clordano	ND	ND	ND	0,001 mg/kg /día	100-300 mg/kg.
	Heptacloro y heptacloro epóxido		Alta acumulación en tejido adiposo (76).	ND	ND	ND
	Endosulfán	Isómero alfa 60 días. Isómero beta 900 días.	Menor acumulación en tejido adiposo (76).	Aire en zonas rurales 18 a 82 pg/m <sup>3</sup> (81).	Riesgo mínimo diario 0,007mg/kg/d (81).	ND
Canfenos clorados	Toxafeno o canfeclor	12 años	Menor acumulación en tejido adiposo (76).	ND	Riesgo mínimo diario 0.002 mg/kg/d (95).	100-300 mg/kg (158).
Fenoxiacéticos	2,4-D	ND	ND	ND	ND	639 mg/kg a 1646 mg/kg en ratas. 138 mg/kg en ratones (159).

Fuente: grupo de redacción ERIA.

Tabla 27. Normativa sobre plaguicidas OCL prohibidos o restringidos en Colombia por el MSPS.

RESOLUCION No.	PLAGUICIDA(S)	PROHIBICIÓN Ó RESTRICCIÓN	USO	OBSERVACIONES
447 de 1974	Aldrín, BHC, Clordano, DDD, DDT, Dieldrín, Endrín, Heptacloro, Heptacloro epóxido, Isobenzan, Melipax y Toxapheno.	Uso y venta.	Tabaco	NA
209 de 1978	DDT, BHC, Lindano, derivados ciclodiónicos, Canfenos clorados, Cetonas policíclicas, policlorados y los fenoxiderivados.	Uso y venta	Cafeto	NA
749 de 1979	Productos herbicidas a base de 2, 4, 5-T y 2, 4, 5-TP.	Cancela registros de venta.	ND	NA
243 de 1982	Dibromocloropropano (DBCP)	Producción, importación y venta.	Control de plagas del suelo	NA
1158 de 1985	Dibromuro de etileno (EBD)	Importación, producción y venta.	Uso agrícola	NA
1849 de 1985	Endrín	Importación, producción y venta.	Uso agrícola.	NA
704 de 1986	DDT Derivados y compuestos	Uso a menos que se empleen en la ejecución de programas o campañas adelantadas o autorizadas por el Ministerio de Salud.	ND	NA
891 de 1986	DDT	Cancela dos licencias de venta.	ND	NA
19408 de 1987	Clordimeform y sus sales.	Uso y manejo.	ND	NA
366 de 1987	OLC que contengan los ingredientes activos Aldrín, Heptacloro, Dieldrín, Clordano y Canfecloro en su composición.	Cancela las licencias de venta.	ND	NA
366 de 1987 y 531, 540, 723, 724 y 874 de 1988 5	OCL que contengan los ingredientes activos Aldrín, Heptacloro, Dieldrín, Clordano y Canfecloro en su composición.	Cancela las licencias de venta.	ND	NA
305 de 1988	OCL: Aldrín, Heptacloro, Dieldrín, Clordano y Canfecloro y sus compuestos.	Importación, producción y formulación.	ND	Se exceptúa temporalmente Dieldrín y Clordano para uso en madera y queda vigente temporalmente para Canfecloro la licencia que permite su presentación en la mezcla Toxafeno más Metilparation en su formulación ultra bajo volumen.
47 de 1988	Clordimeform en su composición.	Cancela las licencias de venta.	ND	NA
2156, 2157, 2158, 2159 2857 y 3501 de 1991	Lindano	Cancela las licencias de venta de los insecticidas a base de Lindano, bajo la formulación de polvos mojables y concentrados emulsionables.	ND	NA
10255 de 1993	Dieldrín, Clordano, Dodecacloro o Mirex, Pentaclorofenol, Dicofol, DDT, BHC, Heptacloro, Lindano y sus compuestos relacionados.	Prohíbe la importación, producción, formulación, comercialización, uso y manejo.	ND	Se exceptúan temporalmente de esta prohibición, el Lindano formulado para uso como ectoparasiticida en salud humana, hasta tanto el Ministerio de Salud determine que hay sustitutos eficaces en esta aplicación y el Endosulfán hasta tanto se

RESOLUCION No.	PLAGUICIDA(S)	PROHIBICION Ó RESTRICCIÓN	USO	OBSERVACIONES
				disponga de evidencia técnica de un sustituto de eficacia comparable contra el <i>Hypotenemushampe</i> (Broca del Café)
922 de 1994	Ciclodrin 3% G cuyo titular es la firma Quimor S.A., por contener Lindano.	Niega renovación de la licencia de venta No.1728.	ND	NA
923 de 1994	Mirmex SB cuyo titular es la firma Minagro Limitada, por contener Dodecacloro.	Cancela la licencia de venta No. 1648	ND	NA
924 de 1994	Agronexit 2.5 Sulfo cuyo titular es la firma Shell Colombia S.A. contiene en su composición el ingrediente activo Lindano.	Cancela la licencia de venta No. 1657	NA	NA
925 de 1994	Lindafor 2.5 DP cuyo titular es la firma RhonePoulenc Colombia S.A. por contener Lindano.	Cancela la licencia de venta No. 1717	NA	NA
926 de 1994	Productos GORGORICIDA AGRICENSE, LEXAGRO, 10% AGRICENSE Y LEXAGRO 3% AGRICENSE cuyo titular es la firma AGRICENSE LIMITADA, por contener en su composición el ingrediente activo Lindano.	Cancela la licencia de venta No. 1205, 1980 y 1465.	NA	NA
927 de 1994	Mirenex GB cuyo titular es la firma Fitogranos Comercializadora Agroindustrial Ltda., por contener Dodecacloro.	Cancela la licencia de venta No. 1948	NA	NA
931 de 1994	Producto Lindano "Almágricola" 2.5% Suelo cuyo titular es la firma Almacén Agrícola Limitada "Almágricola" por contener Lindano.	Cancela la licencia de venta No. 1773	NA	NA
138 de 1996	Bromuro de metilo solo o en combinación.	Importación, fabricación, comercialización y uso.	ND	NA
283 de 1996	Bromuro de metilo a la Empresa Electrofumigación Toro Ltda.	Cancela la licencia de venta No. 1535	NA	NA
2152 de 1996	Bromuro de metilo	Importación comercialización y uso restringido.	Control de plagas exóticas.	Autoriza la importación comercialización y uso de bromuro de metilo solo para el tratamiento cuarentenario para el control de plagas exóticas en tejidos vegetales frescos a nivel de puertos y pasos fronterizos hasta que se encuentre un sustituto viable que permita su reemplazo.
3971 de 1996	Bromuro de metilo	Registro	ND	Por el cual se ordena el Registro del Producto bromuro de metilo, a la firma Electrofumigación Toro y Cia. Ltda. Cumpliendo lo estipulado en la Resolución 02152 del Ministerio de Salud.

RESOLUCION No.	PLAGUICIDA(S)	PROHIBICIÓN Ó RESTRICCIÓN	USO	OBSERVACIONES
1669 de 1997	Endosulfán	Prohibir la importación, fabricación, comercialización y uso de productos. Prohibir el uso de termonebulizadores o de cualquier otro equipo a motor en la aplicación de productos a base de Endosulfán, formulados con mezclas de Endosulfán y otros ingredientes activos.	Plaguicida	Por el cual se autoriza el uso de productos con base en Endosulfán únicamente para el control de la broca del caféto ( <i>Hypotenemusshampe</i> ).
4166 de 1997	Lindano, solo o en combinación con otras sustancias químicas.	Prohibir la importación, fabricación, formulación, comercialización y uso.	NA	NA
483 de 1999	Endosulfán	Modificación registros.	Control de broca en café.	Por el cual se modifican los registros de venta de los productos elaborados con el ingrediente activo Endosulfán, de la empresa AGROSER S.A., permitiéndose el uso únicamente para el control de la broca del café ( <i>Hypotenemusshampe</i> ), en cumplimiento de la Resolución No. 1660/97 del Ministerio de Salud.
484 de 1999	Endosulfán	Modificación registros.	Control de broca en café.	Por el cual se modifican los registros de venta de los productos elaborados con el ingrediente activo Endosulfán, de la empresa MAGAN DE COLOMBIA LTDA, permitiéndose el uso únicamente para el control de la broca del café ( <i>Hypotenemusshampe</i> ), en cumplimiento de la Resolución No. 1660/97 del Ministerio de Salud.
485 de 1999	Endosulfán	Modificación registros.	Control de broca en café.	Por el cual se modifican los registros de venta de los productos elaborados con el ingrediente activo Endosulfán, de la empresa AGREVO S.A., permitiéndose el uso únicamente para el Control de la Broca del café ( <i>Hypotenemusshampe</i> ), en cumplimiento de la Resolución No. 1660/97 del Ministerio de Salud.
486 de 1999	Endosulfán	Modificación registros.	Control de broca en café.	Por el cual se modifican los registros de venta de los productos elaborados con el ingrediente Activo Endosulfán, de la empresa RHONE POULENC AGRO COLOMBIA LTDA, permitiéndose el uso únicamente para el Control de la Broca del café ( <i>Hypotenemusshampe</i> ), en cumplimiento de la Resolución No. 1660/97 del Ministerio de Salud.
2971 de 2000	Canfecloro o toxafeno solo o en combinación con otras sustancias químicas.	Prohíbe importación, fabricación, formulación, comercialización y uso.	NA	NA

RESOLUCION No.	PLAGUICIDA(S)	PROHIBICIÓN Ó RESTRICCIÓN	USO	OBSERVACIONES
1311 de 2001	Endosulfán.	Cancelar los registros de venta empresa Aventis Cropscience Colombia S.A. N° 761, 751, 1928, 2424, 613 y 1703	NA	NA
1312 de 2001	Thionex 35 EC formulado con base en Endosulfán.	Cancelar el registro de venta de la Empresa Proficol S.A.	NA	NA
1313 de 2001	Thionil 35 EC elaborado con base en Endosulfán.	Cancelar el registro de venta de la Empresa Agroquímicos Semillas y Equipos de Riego S.A.	NA	NA
Acuerdo 000643 de 2004	Bromuro de metilo	Autorizar la importación, comercialización y uso.	Tratamiento cuarentenario.	Modifica el artículo 1o. de la Resolución 2152 de 1996 así: ARTÍCULO 1. Autorizar la importación, comercialización y uso del bromuro de metilo únicamente en tratamiento cuarentenario para el control de plagas en tejidos vegetales frescos y embalajes de madera a nivel de puertos y pasos fronterizos.
0578 de 2004	n-dietiltoluamida (DEET)	Autorizar el uso de productos que contengan únicamente el ingrediente activo n-dietiltoluamida (DEET). Se prohíbe la importación, fabricación, formulación, comercialización y uso de una sustancia de tipo plaguicida en mezcla con DEET.	Repelente	Los ensayos clínicos y los reportes de casos clínicos han mostrado que la exposición a productos repelentes que contengan DEET solo o combinado con plaguicidas tienen riesgo potencial de producir efectos adversos en la salud en mujeres embarazadas y niños menores de 12 años.

Fuentes: Programa CAM - INVEVAR (13); ICA (2004) (160).

ND: No Disponible

NA: No Aplica.

## Anexo 2

Consideraciones ambientales para estimar la carga ambiental esperada (CAE) de OCL en pasturas

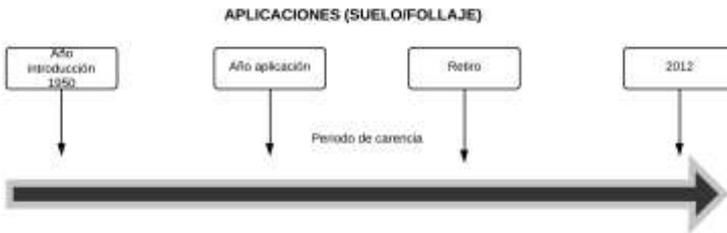
El cálculo de la carga ambiental esperada (CAE) en pasturas fue desarrollado por Silva y Fuentes (2007) (122), tal y como se presenta a continuación:

Supuestos para el modelo de cálculo de la exposición adaptado de Guaitero (2010) (123):

- a. Se parte del uso histórico de los compuestos en las condiciones más extremas de aplicación hasta las fechas en que fueron prohibidos en el país.
- b. Con la información del punto anterior se establece la concentración de estos pesticidas en el suelo después de que su uso ha sido suprimido.
- c. Luego, considerando la concentración en el suelo, y estableciendo que estos suelos correspondían a áreas de cultivo y que eventualmente se destinaron a la ganadería, se calcula la cantidad de estas sustancias absorbida por los pastos.
- d. Con la cantidad de residuos de los pesticidas presentes en los pastos, se determina la cantidad que es consumida por el ganado a través de éstos. Para ello se parte de la suposición de que se producen 3 kg de pasto por m<sup>2</sup> de área sembrada, que del pasto el 60% corresponde a agua y el 40% a Materia Seca (MS), y que los bovinos producen 0,11 kg de carne y 0,15 kg de leche por cada kg de MS consumida (161).
- e. Con la cantidad de residuos de los pesticidas por porción de carne o leche, el peso promedio de la población (64,9 kg) y el consumo de estos productos extractado de la ENSIN 2005 (91) (carne: 0,0419 kg/persona/día, leche en polvo: 0,0087 kg/persona/día, leche líquida: 0,0472 kg/persona/día), se establece la cantidad de los mismos que es consumida por una persona por día y por kg de masa corporal.

El modelo propuesto para estimar ese contenido, considera tres partes:

1. Propone estimar la carga de producto acumulado desde el inicio del uso de estos compuestos hasta el año de su prohibición en sistemas agrícolas (CAE<sub>suelo 1</sub>).
2. Considera el cálculo de la CAE en el suelo (CAE<sub>suelo 2</sub>) en la época actual (2012), después de haber dejado de usar estos compuestos.
3. Estimar la CAE en el pasto actualmente (CAE<sub>p</sub>), a 2012.



Fuente: Grupo de redacción ERIA.

Gráfica 12. Estimación teórica de la aplicación de organoclorados en pastos.

**Parte 1:** estimar la carga de producto acumulado desde el inicio del uso de estos compuestos hasta el año de su prohibición en sistemas agrícolas (CAE suelo 1)

CAE<sub>1(suelo)</sub> = Carga de aplicaciones repetidas

CAE<sub>1(suelo)</sub> = (CAE<sub>suelo</sub> de una aplicación) (Factor de aplicaciones repetidas)

Dosis

$$CAE_{1(suelo)} = \left\{ \frac{1}{(100 \times prof * da)} \right\} \left\{ \frac{1 - e^{-nki}}{1 - e^{-ki}} \right\}$$

Donde:

CAE<sub>1(suelo)</sub> = Concentración ambiental esperada por aplicaciones continuas desde el año de introducción hasta año de prohibición)

n = Número de aplicaciones totales en ese período de tiempo

k = Tasa de degradación =  $\ln_2 / v_{1/2 \text{ suelo}}$

i = Tiempo en días del total del período comprendido entre año de introducción y año de prohibición

**Parte 2.** Se estima la cantidad que se ha degradado del producto desde su año de prohibición hasta la época actual.

Cálculo de CAE<sub>2</sub> suelo

CAE<sub>2</sub> suelo = CAE<sub>1</sub> suelo - cantidad degradada en el suelo durante el "período de carencia" (CAD suelo)

CAD suelo = cantidad degradada en el suelo durante el "período de carencia"

CAD suelo = CAE<sub>1</sub> suelo \* factor degradación

CAD suelo = (CAE<sub>1</sub> suelo) \* (1 - exp<sup>-ki</sup>)

k = tasa de degradación = ln 2 / V 1/2 suelo

i = tiempo en días del total del periodo entre el año de prohibición y año actual (2012)

**Parte 3:** Se determina la concentración ambiental esperada (CAE) en el pasto a 2012, correspondiente a la ingesta diaria promedio por 1 cabeza de ganado.

CAE pasto = [(CAE 2 suelo) \* (FCR \* FCCT \* FDP)] / MFP

Factor de absorción radical = FCR

Factor de transporte por el xilema = FCCT

Factor de degradación en la planta = FDP = (1 - exp<sup>-k</sup>); k = ln2 / V 1/2 metabolismo en plantas

MFP = materia fresco del pasto en kg/m<sup>2</sup>; se considera en promedio de 3 kg/m<sup>2</sup>

Para la estimación de riesgo por carga ambiental en pastos se utilizó el Índice de Riesgo de Residuos (IRR), el cual es un indicador que estima el nivel de riesgo de residuos de plaguicidas sobre el producto a punto de consumo como una alerta temprana para indicar el riesgo potencial para el consumidor. Este índice es adaptado del Índice de Predicción de la Presencia Potencial de Residuos (IR) y de Residuos Tóxicos (IRT), el cual fue desarrollado por Santiago-Jácome (2001) (162). El IRR considera la cantidad de cada plaguicida que se aplica por ciclo de cultivo por agricultor, que se denomina carga del plaguicida (C), y está relacionado con las variables de manejo tales como dosis, frecuencia de aplicación ajustada, tiempo entre la última aplicación y la cosecha, potencial de concentración del plaguicida en la planta, en tejido proteico y en lípidos, entre otras.

Tabla 28. Cálculos desarrollados al aplicar el modelo para obtener la CAE a 2012.

Plaguicida OCL	Endosulfán	DDT	Aldrin	Diieldrín	Endrín	Heptacloro	HCH/ Lindano	Toxafeno/ Canfecloro	Clordano
Producto Comercial	Thiodan E-35%	TOX-DDT 40-20 EC	Aldrin 2.5%	Diieldrín 2% P	Endrex 19.5% EC	Heptacloro 25% E	Cotton Spray 3-9-0	TOX-DDT 40-20 EC	Clordano 10% P
Contenido gIA/PC(l o kg)	350	240	25	20	192	240	83,9	480	100
Dosis PC/ha	5.5l (1.2gal)	9.5 l (2.5gal)	30kg	25kg	2l	2l	6,8l (1.5gal)	9.5 l (2.5gal)	22kg
Dosis gIA/ha	1925	2268	750	500	384	480	570,5	4536	2241
Dosis gIA/m <sup>2</sup>	0,1925	0,2268	0,075	0,05	0,0384	0,048	0,05705	0,4536	0,2241
Densidad del suelo kg/m <sup>3</sup>	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
Profundidad m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Número de aplicaciones por año (ciclo)	5	10	1	1	11	4	3	10	1
Año prohibición	2001	1986	1988	1988	1985	1988	1997	2000	1988
Tiempo desde uso hasta prohibición, años	51	36	38	38	35	38	47	50	38
Tiempo desde uso hasta prohibición, d	18615	13140	13870	13870	12775	13870	17155	18250	13870
Tiempo desde prohibición hasta actual, d	4015	9490	8760	8760	9855	8760	5475	4380	8760
DT50 suelo (PETE ó PPDB)	70	6200	600	1400	4300	3650	980	365	1000
LogKow (PETE)	4,76	6,9	6,5	5,4	5,34	5,44	3,72	5,5	6
RCF, raíces (PETE)	140,521	6209,511	3055,741	435,33	391,481	467,265	22,92	519,62	1259,745
FCCT, xilema (PETE)	0,021	0	0	0,004	0,004	0,003	0,168	0,003	0,001
t1/2 plantas (PETE) (ingresando DT50 suelo más larga)	14	1240	120	280	860	730	196	73	200
Oferta: kg/m <sup>2</sup> pasto día	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Oferta: g/m2	400-600	400-600	400-600	400-600	400-600	400-600	400-600	400-600	400-600
CAE suelo (1 aplicación) g/kg	7,404E-06	8,723E-06	2,885E-06	1,923E-06	1,477E-06	1,846E-06	2,194E-06	1,745E-05	8,619E-06
N	2,550E+02	3,600E+02	3,800E+01	3,800E+01	3,850E+02	1,520E+02	1,410E+02	5,000E+02	3,800E+01
K	9,902E-03	1,118E-04	1,155E-03	4,951E-04	1,612E-04	1,899E-04	7,073E-04	1,899E-03	6,931E-04
I	1,862E+04	1,314E+04	1,387E+04	1,387E+04	1,278E+04	1,387E+04	1,716E+04	1,825E+04	1,387E+04
-nki	-4,700E+04	-	-	-	-	-4,004E+02	-	-1,733E+04	-
-ki	-1,843E+02	5,288E+02	6,089E+02	2,610E+02	7,928E+02	-	1,711E+03	-	3,653E+02
-ki	-1,843E+02	1,469E+00	1,602E+01	6,867E+00	2,059E+00	-2,634E+00	1,213E+01	-3,466E+01	9,614E+00
1-exp-nki	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00
1-exp-nk	1,000E+00	7,699E-01	1,000E+00	9,990E-01	8,725E-01	9,282E-01	1,000E+00	1,000E+00	9,999E-01
factor	1,000E+00	1,299E+00	1,000E+00	1,001E+00	1,146E+00	1,077E+00	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00
CAEn Año prohibido g/kg	7,404E-06	1,133E-05	2,885E-06	1,925E-06	1,693E-06	1,989E-06	2,194E-06	1,745E-05	8,620E-06
I	4,015E+03	9,490E+03	8,760E+03	8,760E+03	9,855E+03	8,760E+03	5,475E+03	4,380E+03	8,760E+03
K	9,902E-03	1,118E-04	1,155E-03	4,951E-04	1,612E-04	1,899E-04	7,073E-04	1,899E-03	6,931E-04
-ik	-3,976E+01	-	-	-	-	-1,664E+00	-	-8,318E+00	-
-ik	-3,976E+01	1,061E+00	1,012E+01	4,337E+00	1,589E+00	-	3,872E+00	-	6,072E+00
factor, 1-exp-ik	1,000E+00	6,539E-01	1,000E+00	9,869E-01	7,958E-01	8,105E-01	9,792E-01	9,998E-01	9,977E-01
Cantidad degradada	7,404E-06	7,409E-06	2,884E-06	1,900E-06	1,347E-06	1,612E-06	2,149E-06	1,744E-05	8,600E-06
CAE2012	0,000E+00	3,922E-06	1,162E-10	2,517E-08	3,457E-07	3,768E-07	4,566E-08	4,259E-09	1,988E-08
-k	-4,951E-02	-5,590E-04	-5,776E-03	-2,476E-03	-8,060E-04	-9,495E-04	-3,536E-03	-9,495E-03	-3,466E-03
1-exp-k	4,830E-02	5,588E-04	5,760E-03	2,472E-03	8,057E-04	9,491E-04	3,530E-03	9,450E-03	3,460E-03

Plaguicida OCL	Endosulfán	DDT	Aldrín	Dieldrín	Endrín	Heptacloro	HCH/ Lindano	Toxafeno/ Canfecloro	Clordano
CAEpasto	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,612E-12	1,454E-11	1,671E-11	2,069E-11	2,092E-12	2,889E-12
CAEpasto	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,612E-12	1,454E-11	1,671E-11	2,069E-11	2,092E-12	2,889E-12

Tabla 29. Concentraciones estimadas de OCL en pasturas a 2012

Pesticida	CAE2012* (ng/m <sup>2</sup> )
Endosulfán	0
DDT	3922,87
Aldrín	0,12
Dieldrín	25,17
Endrín	345,70
Heptacloro	376,8
HCH/ Lindano	45,66
Toxafeno/ Canfecloro	4,26
Clordano	19,88

\* Concentración Ambiental Esperada (CAE)

Fuente: Grupo de redacción ERIA.

Como se aprecia en la Tabla 29, el riesgo establecido a partir de este modelo, es prácticamente nulo porque los residuos en suelos se consideran extremadamente bajos.

Con estos datos se procedió a calcular la residualidad teórica en la carne y la leche, los resultados se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. Concentración final estimada de los pesticidas OCL en carne y leche

Residualidad Teórica	Endosulfán	DDT	Aldrín	Dieldrín	Endrín	Heptacloro	HCH/ Lindano	Toxafeno/ Canfecloro	Clordano
Concentración teórica del OCL en carne (g plaguicida /kg de carne)	0	2,97E-05	8,78788E-10	1,89394E-07	2,62121E-06	2,85606E-06	3,45455E-07	3,22727E-08	1,50758E-07
Concentración teórica del OCL en leche (g plaguicida /kg leche)	0	2,17778E-05	6,44444E-10	1,38889E-07	1,92222E-06	2,09444E-06	2,53333E-07	2,36667E-08	1,10556E-07

Fuente: Grupo de redacción ERIA.

Respecto a los estudios reportados en la literatura, se incluyen en este anexo una muestra de cálculo en referencia a la metodología seguida por De Arco y Jaramillo (2011) (69) para establecer la cantidad de OCL en leche:

Tomando como referencia un valor de 0,062 (mg de Lindano/kg de MG de la leche) como carga de este OCL en la leche, un adulto con un peso corporal promedio de 60 kg que consuma 250 mL de leche por día estaría consumiendo 0,00048 mg de lindano por día (equivalentes a 480 ng/día), de acuerdo con las siguientes relaciones:

Para pasar el consumo de leche de mL a kg por día se utiliza su densidad 1,032 g/mL:

$$250 \text{ mL} * 1,032 \text{ g/mL} = 258 \text{ g de leche} = 0,258 \text{ kg de leche.}$$

Considerando que la leche tiene un 3% de materia grasa (MG), se calcula la MG en ésta como:

$$0,258 \text{ kg de leche} * (0,03 \text{ kg de Mg/kg de leche}) = 0,008 \text{ kg de MG}$$

Luego la cantidad consumida de Lindano por día sería equivalente a:

$$0,062 \text{ (mg de Lindano/kg de MG de la leche)} * 0,008 \text{ kg de MG} = 0,00048 \text{ mg/día.}$$



[www.ins.gov.co](http://www.ins.gov.co)



Dirección de Vigilancia y Análisis del Riesgo en Salud Pública  
Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos

Bogotá D. C. Colombia  
PBX: (57+1) 220 77 00 ext. 1333

Línea Gratuita Nacional 01 8000 113 400  
[contactenos@ins.gov.co](mailto:contactenos@ins.gov.co)