



# Determinación y cuantificación de los niveles de compuestos organoclorados en leche pasteurizada\*

Yolanda Castilla Pinedo\*\* / Iván Darío Mercado Martínez\*\*\* / Germán González Silva\*\*\*\*

*Determination and quantification of the levels of organochlorine compounds on pasteurized milk*

*Determinação e quantificação dos níveis de compostos organoclorados em leite pasteurizada*

## RESUMEN

**Introducción.** La contaminación por residuos de plaguicidas organoclorados en los alimentos se considera una seria amenaza para la salud humana por la alta toxicidad, bioacumulación y persistencia. La leche de vaca se utiliza como un indicador de la persistencia de los plaguicidas organoclorados en el medio ambiente, debido a la importancia de la misma y, en general, de los productos lácteos en la nutrición humana, especialmente en los niños. Lo anterior ha motivado a realizar un estudio en la leche pasteurizada de Colombia y comparar sus resultados con investigaciones anteriores, en otros países. **Objetivo.** Determinar los residuos de plagu-

---

\*Artículo derivado del proyecto de investigación: "Estimación de la exposición a compuestos organoclorados a partir de la ingesta de leche pasteurizada comercializada en la ciudad de Cartagena en adultos pertenecientes a estratos 1, 2 y 3", realizada en la ciudad de Cartagena durante el segundo semestre del año 2007. \*\*Ingeniera de Alimentos, especialista en Ciencias y Tecnología de Alimentos, especialista en Aseguramiento de la Calidad Microbiológica de los Alimentos, magíster en Salud Pública. Oficina de Salud Pública del Distrito de Barranquilla-Colombia. \*\*\*Ingeniero Químico, magíster en Ingeniería Ambiental. Docente del Departamento de Química de la Universidad del Atlántico. Miembro del Grupo de Investigaciones de las Ciencias de las Ingenierías GICI de la Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena. Miembro del Grupo de Investigación TECNOAMBIENTAL de la Universidad Libre de Colombia Sede Bogotá. \*\*\*\*Ingeniero Químico, magíster en Ingeniería Química. Doctor en Ingeniería Química. Miembro del Grupo de Investigación PQGe de la Universidad Estatal de Campinas-Brasil.

Correspondencia: Iván Darío Mercado Martínez, e-mail: ivandario.mercado@gmail.com

Artículo recibido: 20/11/2011; Artículo aprobado: 15/05/2012

cidas organoclorados en leche de vaca, líquida pasteurizada, vendida en tiendas cercanas a pasteurizadoras de la ciudad de Cartagena. **Materiales y métodos.** Se analizaron 24 bolsas de leche, con suministro diario de dos marcas comerciales tomadas al azar. Fue utilizada la técnica analítica de cromatografía de gases con detector de captura de microelectrones, para determinar el contenido de insecticidas organoclorados. **Resultados.** En esta investigación fueron determinados los residuos de  $\alpha$ -clordano (0,90 mg/kg),  $\beta$ -clordano (0,12 mg/kg), endosulfan I (0,04 mg/kg), endosulfan II (0,001 mg/kg), endosulfan sulfato (0,002 mg/kg), p,p'-DDT (no detectado), p,p'-DDE (0,01 mg/kg), p,p'-DDD (0,01 mg/kg), endrín (0,027 mg/kg), endrín cetona (0,042 mg/kg) y endrín aldehído (0,009 mg/kg). **Conclusión.** El estudio concluyó que algunas concentraciones de los plaguicidas analizados fueron elevadas al contrastarse sus valores con los límites máximos residuales (LMR) recomendados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS).

**Palabras clave:** residuos de plaguicidas, insecticidas, compuestos organoclorados, leche pasteurizada, salud pública.

## ABSTRACT

**Introduction.** Contamination due to organochlorine pesticides on food is considered as a serious threat for human health, given their high toxicity, bioaccumulation and persistence. Cow milk is used as an indicator of the persistence of these pesticides in the environment, because of the milk's importance and, in general, of the role of dairy products, especially for children. This has been a reason to study pasteurized milk from Colombia and compare the results with previous research works in other countries. **Objective.** To determine the remains of organochlorine pesticides contained in liquid pasteurized milk sold by stores located near to pasteurization plants in Cartagena. **Materials and methods.** 24 bags of milk, from randomly chosen commercial brands and daily provided, were analyzed. The analytic technique of gas chromatography with detector of micro electrons capture was used to determine the content of organochlorine insecticides. **Results.** For this research work the remains of  $\alpha$ -chlordane (0,90 mg/kg),  $\beta$ -chlordane (0,12 mg/kg), endosulfan I (0,04 mg/kg), endosulfan II (0,001 mg/kg), endosulfansulphate (0,002 mg/kg), p,p'-DDT (not detected) p,p'-DDE (0,01 mg/kg), p,p'-DDD (0,01 mg/kg), endrin (0,027 mg/kg), endrinketone (0,042 mg/kg) and endrin aldehyde (0,009 mg/kg) were determined. **Conclusion.** The research work concluded that some concentrations of the pesticides analyzed were high when their values were compared to those recommended by FAO/WHO in their maximum residual levels (MRL).

**Key words:** remains of pesticides, insecticides, organochlorine compounds, pasteurized milk, public health.

## RESUMO

**Introdução.** A contaminação por resíduos de pesticidas organoclorados nos alimentos se considera uma séria ameaça para a saúde humana pela alta toxicidade, bio-acumulação e persistência. O leite de vaca se utiliza como um indicador da persistência dos pesticidas organoclorados no meio-ambiente, devido à importância da mesma e, em general, dos produtos lácteos na nutrição humana, especialmente nos meninos. O anterior motivou a realizar um estudo no leite pasteurizada de Colômbia e comparar seus resultados com investigações anteriores, em outros países. **Objetivo.** Determinar os resíduos de pesticidas organoclorados em leite de vaca, líquida pasteurizada, vendida em lojas próximas a pasteurizadores da cidade de Cartagena. **Materiais e métodos.** Analisaram-se 24 bolsas de leite, com fornecimento diário de duas marcas comerciais tomadas a esmo. Foi utilizada a técnica analítica de cromatografia de gases com detector de captura de micro elétrones, para determinar o conteúdo de inseticidas organoclorados. **Resultados.** Nesta investigação foram determinados os resíduos de  $\alpha$ -clordano (0,90 mg/kg),  $\beta$ -clordano (0,12 mg/kg), endosulfan I (0,04 mg/kg), endosulfan II (0,001 mg/kg), endosulfan sulfato (0,002 mg/kg), p,p'-DDT (não detectado), p,p'-DDE (0,01 mg/kg), p,p'-DDD (0,01 mg/kg), endrín (0,027 mg/kg), endrín cetona (0,042 mg/kg) e endrín aldehído (0,009 mg/kg). **Conclusão.** O estudo concluiu que algumas concentrações dos pesticidas analisados foram elevadas ao contrastar-se seus valores com os limites máximos residuais (LMR) recomendados pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação/Organização Mundial da Saúde (FAO/OMS).

**Palavras importantes:** resíduos de pesticidas, inseticidas, compostos organoclorados, leite pasteurizada, saúde pública.

## INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas, tales como insecticidas, fungicidas y herbicidas, desempeñan un papel importante en el control de numerosos insectos, hongos, malezas y otros organismos que compiten con el hombre por productos agropecuarios y forestales y para conservar la calidad de los alimentos producidos<sup>1-3</sup>.

Sin embargo, el uso de plaguicidas ha generado beneficios en la producción agrícola a escala mundial. El empleo inadecuado de los mismos, expresado en términos de tipos de plaguicida, toxicidad, número de aplicaciones y sobredosificación, ha producido diferentes formas de contaminación ambiental que afectan al suelo, el agua, el aire y a los productos agrícolas por la acumulación de residuos, que podrían afectar al consumidor final. Esta producción agrícola acarrea un costo social el cual será pagado por muchas generaciones<sup>4-10</sup>.

Los plaguicidas son biocidas, reconocidos como sustancias tóxicas y peligrosas. Su toxicidad ha sido confirmada por diferentes estudios: afectan los procesos reproductivos, alteran la respuesta inmunológica, alteran el metabolismo lipídico, el transporte de vitaminas y de glucosa. Algunos son considerados mutagénicos, teratogénicos o carcinogénicos, no solo en la especie humana, sino también en las comunidades bióticas con diferente nivel de sensibilidad<sup>11, 12</sup>.

Existen varios grupos de plaguicidas según la estructura química; dentro de esta clasificación se encuentran los organoclorados<sup>13, 14</sup> que comprenden un grupo de compuestos orgánicos de síntesis de gran peso molecular, derivados de hidrocarburos complejos, en los que un hidrógeno es sustituido por cloro. Tienen diferente estructura cíclica química, con uno o varios átomos de cloro; por ello también se les llama hidroclorados, halogenados o halobencenos<sup>15</sup>.

Estos químicos sintéticos aparecieron en el medio ambiente después de la Segunda Guerra Mundial<sup>16</sup>. De hecho, los plaguicidas organoclorados han sido los más comercializados y rentables debido a su alta eficacia<sup>17, 18</sup>, pero no se tardó mucho en darse cuenta de los efectos secundarios. Sus efectos tóxicos se han observado en humanos, plantas y animales. Se ha demostrado que estos compuestos, además de ser muy persistentes y muy estables en la mayoría de las condiciones ambientales debido a su baja volatilidad, solubilidad y reactividad, tienen una alta capacidad de bioacumulación en la cadena alimentaria, porque son solubles en grasa y resistentes a la degradación microbiana, y representan una gran amenaza para la salud humana y el ecosistema mundial<sup>19-24</sup>.

La acumulación de los plaguicidas organoclorados en el hombre se ha relacionado con el mayor riesgo al contraer varios tipos de cáncer: mama, cuello uterino, próstata y pulmón. También, se ha detectado la presencia de residuos de estos plaguicidas en leche materna y muestras de sangre de agricultores<sup>25-27</sup>. Además, como el hombre es el último eslabón de cualquier cadena alimentaria, es probable que consuma diferentes niveles de estos compuestos<sup>28-30</sup>.

Estas preocupaciones, tanto en los países industrializados como en desarrollo, constituyen la base de las regulaciones de plaguicidas que controlan su producción, uso y disposición en el medio ambiente, y su presencia en los alimentos<sup>31, 32</sup>.

En Colombia se prohibió el uso de algunos plaguicidas organoclorados desde mediados de los años 80. El endrín no puede ser usado en la agricultura desde el año 1985, mientras que el DDT fue prohibido desde el año 1986. El clordano dejó de utilizarse desde el año 1988<sup>33</sup>. Respecto al endosulfan, se prohibió tanto su importación, fabricación, comercialización y uso desde el año 1997, decisión que fue ratificada en el año 2001 por el Consejo de Estado<sup>34</sup>.

Sin embargo, sus residuos provenientes de aplicaciones agrícolas continúan<sup>35, 36</sup>. Los animales productores de leche, como las vacas, acumulan estos residuos que fueron consumidos mediante alimentos contaminados como pasto y agua o mediante el aire inhalado. La leche de vaca se ha utilizado como un indicador de la persistencia de los plaguicidas organoclorados en el medio ambiente, teniendo en

cuenta la importancia de la misma y la de los productos lácteos para la nutrición humana, especialmente para los niños<sup>37,38</sup>.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue investigar los niveles de los residuos de plaguicidas organoclorados:  $\beta$ -Clordano,  $\alpha$ -Clordano, endosulfan I, endosulfan II, endosulfan sulfato, diclorodifeniltricloroetano (p,p'-DDT), diclorodifenildicloroetileno (p,p'-DDE), diclorodifenildicloroetano (p,p'-DDD), endrín, endrín aldehído y endrín cetona en diferentes marcas de leche de vaca pasteurizada que se comercializan en tiendas cercanas a pasteurizadoras de la ciudad de Cartagena, Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Recolección de las muestras.** En este estudio se realizó un muestreo durante el mes de septiembre de 2007, para dos marcas comerciales de bolsas de leche de vaca pasteurizada en la ciudad de Cartagena, Colombia. De las 24 muestras tomadas al azar de cada marca comercial, diariamente se recolectó una muestra. Las bolsas de leche de 500 mL fueron adquiridas en tiendas cercanas a cada pasteurizadora, pertenecientes a lotes de producción distintos. Todas las muestras se tomaron en condiciones asépticas y fueron congeladas inmediatamente antes de 48 horas, para conservarlas hasta su análisis.

**Procedimiento de extracción y purificación de las muestras.** Primero se activó un cartucho de extracción en fase sólida (SPE) C-18, para lo cual se utilizaron 3 mL de metanol grado HPLC y 2 mL de metanol en agua de ósmosis inversa al 2%. Luego, se tomaron 100 mL de leche pasteurizada a la que se le ajustó su pH entre 5 y 7, y posteriormente se le adicionaron 5 mL de metanol. La mezcla resultante se pasó por el cartucho de extracción. La purificación de la muestra se obtuvo eluyendo dos veces con 4 mL de una mezcla hexano: acetona (9:0,1). El eluato final fue concentrado a presión reducida hasta obtener un volumen de 1 mL, para su posterior análisis en un cromatógrafo de gases.

Este procedimiento de extracción y purificación de las muestras es el método propuesto por Stijve, recomendado por International Dairy Federation<sup>39</sup>.

**Análisis de residuos de los plaguicidas organoclorados.** Se utilizó un cromatógrafo de gases marca Agilent modelo 48900, propiedad de la Universidad de Cartagena, equipado con un detector de captura de microelectrones ( $\mu$ ECD <sup>63</sup>Ni) y una columna capilar SPB-5 (fase estacionaria fenil-metilsilicón al 5%) de 30 m x 0,25 mm de diámetro interno x 0,25  $\mu$ m de espesor de capa; el volumen de muestra inyectado en todos los casos fue de 1  $\mu$ l bajo el modo de inyección *Splitless*, con un tiempo de apertura 0,75 min. Las condiciones de operación fueron las siguientes: temperatura del inyector 260 °C, temperatura del detector 320 °C, gas de arrastre: helio a 1 mL/min, gas auxiliar: nitrógeno a 30 mL/min. Además, la temperatura del horno de la columna se programó de la siguiente manera: inició en 90 °C durante 2 min y después se incrementó 30 °C/min hasta 180 °C, luego se aumentó 1 °C/min hasta 200 °C. Posteriormente siguió elevándose la temperatura cada 10 °C/min hasta 300 °C, la cual se mantuvo durante 3 min.

Para la cuantificación de los plaguicidas organoclorados se utilizó el método de estándar externo, calibrado con una mezcla estándar de plaguicidas organoclorados<sup>40</sup>, a concentración inicial de 20 ng/mL de cada componente. La confirmación de los plaguicidas organoclorados analizados se realizó mediante las técnicas acopladas de cromatografía de gases y espectrometría de masas, para lo cual se empleó un equipo GC-MS Finigan 5475 Mat CGQ equipado con un sistema de ionización electrónica que operaba a 70 eV.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los niveles de los residuos de plaguicidas organoclorados encontrados en las muestras de leche pasteurizada objeto de análisis, que se presentan en la tabla I, son la suma de los isómeros y el metabolito, y están expresados en ppm (mg de plaguicida/kg) en función de la grasa en leche. En la misma, se dan a conocer los límites máximos residuales (LMR) recomendados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS), y la Comunidad Europea (CE).

**Tabla I. Residuos de plaguicidas organoclorados detectados en la leche**

Plaguicida	Estudio (ppm)	FAO/OMS (ppm)	CE (ppm)
clordano	1,02	0,002	0,002
endosulfan	0,043	0,01	0,05
DDT	0,02	0,02	0,04
endrín	0,069		0,0008

Durante este estudio se determinó una concentración de 0,12 mg/kg y 0,90 mg/kg para los isómeros del clordano  $\beta$ ,  $\alpha$ , respectivamente, cuyos porcentajes de muestras positivas fueron mayores al 70% en ambas marcas comerciales de leche. Tanto la FAO/OMS como la CE sugieren para este producto alimenticio un LMR de 0,002 mg/kg, que expresa la suma de estos dos isómeros más el metabolito oxiclordano<sup>41,42</sup>. Sin embargo, este valor fue ampliamente superado a pesar de que Colombia acoge las recomendaciones de la FAO/OMS<sup>43</sup>. Según algunos autores, el isómero  $\beta$  es más tóxico en comparación con el isómero  $\alpha$ <sup>44</sup>. Sin embargo, según los resultados obtenidos en este estudio, se demuestra lo contrario. Teniendo en cuenta que el clordano es un plaguicida que se caracteriza porque persiste en el medio ambiente ocho años<sup>45</sup> y que en Colombia se prohibió su uso en el año 1988, no debió ser detectado en ninguna de las muestras de leche de las dos marcas comerciales analizadas.

Los niveles que se encontraron de los dos isómeros del endosulfan y su metabolito durante la investigación fueron: 0,04 mg/kg de endosulfan I; 0,001 mg/kg de endosulfan II y 0,002 mg/kg de endosulfan sulfato. Las muestras positivas presentan porcentajes cercanos al 40% para el endosulfan I y 4% para el endosulfan II. Mientras que en una de las dos marcas comerciales de leche (A) no se detecta endosulfan sulfato, en la otra marca (B) se determina su presencia en un 4%. Mientras la FAO/OMS establece para este plaguicida un valor de 0,01 mg/kg como LMR en la leche, la CE considera un valor de 0,05 mg/kg. En ambas normativas, la cantidad de endosulfan se expresa en términos de la suma de sus isómeros y su metabolito<sup>46,47</sup> que han sido vinculados con daños en la estructura celular alterando el material genético, siendo el isómero endosulfan II menos tóxico que el endosulfan I para algunos autores<sup>48</sup>, tal como se demuestra en esta investigación. Según algunos investigadores, la toxicidad de su metabolito, endosulfan sulfato, es mucho mayor que la de sus isómeros<sup>49</sup>. Sin embargo, dicho caso no se presenta en este estudio. Por lo tanto, preocupa el valor hallado en esta ocasión del isómero endosulfan I. Según el análisis realizado, se sobrepasó el LMR propuesto por la FAO/OMS para el endosulfan, pero no el sugerido por la CE. Esto implica que no se cumple con la normativa colombiana respecto al tema que acoge las recomendaciones de la FAO/OMS.

Se ha demostrado que en el hombre este plaguicida eleva las concentraciones de sodio y potasio, pero disminuye los niveles de calcio y magnesio en el plasma sanguíneo<sup>50</sup>, alterando el sistema nervioso. Además, se ha vinculado con daños en la estructura celular que derivan en alteraciones en el material genético y originan malformaciones congénitas.

También, se determinaron en esta investigación los niveles de p,p'-DDT que es un isómero del diclorodifeniltricloroetano, DDT, y de sus metabolitos diclorodifenildicloroetileno, p,p'-DDE, y diclorodifenildicloroetano, p,p'-DDD. Aunque este isómero del DDT no fue detectado, sí se encontraron valores para el p,p'-DDE y el p,p'-DDD, siendo en esta ocasión el mismo: 0,01 mg/kg.

Mientras que en una de las dos marcas comerciales de leche (A) objeto de estudio se identifica una incidencia del 30% para el p,p'-DDE y 13% para el p,p'-DDD, la proporción de muestras positivas con residuos de p,p'-DDE y p,p'-DDD en la otra marca (B) es mayor al 16%, lo que demuestra la lenta biodegradación del DDT. La FAO/OMS contempla un LMR de 0,02 mg/kg en la leche que relaciona dos isómeros del DDT, el p,p'-DDT y el o,p'-DDT con dos metabolitos: el p,p'-DDE y el p,p'-DDD.

Este análisis es igualmente realizado por la CE que considera un valor de 0,04 mg/kg para este plaguicida<sup>51,52</sup>. Según algunos autores, el p,p'-DDT es más tóxico que sus metabolitos y se degrada inicialmente en p,p'-DDE y después en p,p'-DDD<sup>53</sup>, siendo el primero más tóxico que el segundo<sup>54,55</sup> y más persistente<sup>56,57</sup>. En este caso particular no se sobrepasa el LMR para el plaguicida DDT propuesto por la FAO/OMS y la CE.

Debido a las cantidades de los metabolitos encontrados, se dedujo que las vacas productoras de la leche analizada consumieron alimento vegetal contaminado con el plaguicida DDT, ya que las plantas biotransforman el p,p'-DDT principalmente a p,p'-DDD y no a p,p'-DDE como ocurre generalmente en las aves y mamíferos<sup>58</sup>.

El isómero o,p'-DDT es parte de la mezcla aplicada del plaguicida DDT<sup>59</sup> y no fue analizado en el presente estudio. Según algunos autores, los isómeros p,p' son química y metabólicamente más estables en el medio ambiente que los isómeros o,p' porque estos tienden a degradarse rápidamente<sup>60</sup>.

El p,p'-DDT y sus metabolitos, p,p'-DDE y p,p'-DDD, son compuestos ubicuos y persistentes que han sido detectados en aire, agua, suelo, sedimentos marinos así como en peces, fauna salvaje y alimentos de origen animal<sup>61</sup>. Todos estos compuestos alteran la preferencia térmica final o *preferendum* de la temperatura de reproducción en los peces; como resultado, la población no puede alcanzar el área donde normalmente ocurre el desove<sup>62</sup>.

En las aves, el p,p'-DDE ocasiona adelgazamiento de los cascarones de huevos en varias especies como el halcón y el águila, así como una disminución de la tasa reproductiva, cuyo resultado es una disminución de la población<sup>63,64</sup>; afectan el ciclo reproductivo de los peces y aves. El p,p'-DDT y el p,p'-DDE son contaminantes con actividad estrogénica capaces de inducir efectos adversos para la salud humana<sup>65</sup>. Ambos han sido vinculados con efectos neurotóxicos así como con trastornos reproductivos e inmunológicos<sup>66</sup>. Según la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer, IARC, son sustancias posiblemente carcinogénicas<sup>67,68</sup>.

El plaguicida DDT persiste en el medio ambiente durante diez años<sup>69</sup> representando un peligro para la fauna silvestre y el hombre; en cambio, los insectos han desarrollado resistencia a él, y su uso está disminuyendo con rapidez en todo el mundo occidental, aunque sigue usándose en grandes cantidades en los países en vías de desarrollo<sup>70,71</sup>.

Además, durante esta investigación, se determinaron las siguientes concentraciones: 0,027 mg/kg de endrín, 0,042 mg/kg de endrín cetona y 0,009 mg/kg de endrín aldehído presentes en el contenido de materia grasa de las muestras de leche analizadas. Asimismo, se observa una alta presencia de endrín cetona en ambas marcas comerciales, cercana al 50% en la marca A y 70% en la marca B. Sin embargo, la presencia de endrín es moderada, cercana al 25% en la marca A y 30% en la marca B. Respecto al endrín aldehído, mientras que en la primera marca comercial A aproximadamente el 20% de las muestras son positivas, en la segunda marca B este porcentaje solo se aproxima al 8%. La Comunidad Europea sugiere un valor de 0,0008 mg/kg como límite máximo residual en este producto alimenticio

para el plaguicida endrín, que considera la suma de endrín y endrín cetona<sup>72</sup>. Sin embargo, este valor fue ampliamente superado en el estudio. La FAO/OMS no establece un LMR de este insecticida organoclorado en la leche que es un alimento tan importante de la canasta familiar<sup>73</sup> y a pesar de su valor nutritivo, puede servir de vehículo para algunos contaminantes tóxicos, entre ellos los residuos de endrín<sup>74</sup>, cuyo compuesto organoclorado no está considerado por la IARC como cancerígeno.

Este plaguicida perdura en el suelo hasta diez años y puede transformarse en endrín aldehído y endrín cetona como resultado de la exposición a altas temperaturas y a la luz, siendo estos dos nuevos compuestos biacumulables en peces y altamente tóxicos para los mismos<sup>75,76</sup>.

La tabla 2 presenta los niveles de plaguicidas clordano, endosulfan y DDT obtenidos en otros estudios, cuyos datos fueron reportados en ppm, en función de la grasa en leche. Estos resultados fueron comparados con los encontrados en esta ocasión, y se detectó que los residuos de plaguicidas de origen agrícola llegan a la leche de vaca. El riesgo para la salud humana en este producto alimenticio y en muchos otros es evidente.

**Tabla 2. Comparación de los niveles de residuos de plaguicidas clordano, endosulfan y DDT encontrados con los valores hallados en otros estudios**

Autor	Lugar del estudio	clordano (mg/kg)	endosulfan (mg/kg)	DDT (mg/kg)
Estudio	Colombia	1,0200	0,0430	0,02 <sup>b</sup>
Kampire <i>et al.</i> 2011	Uganda		< 0,00003 <sup>83 a</sup>	0,041 <sup>86 c</sup>
Bayat <i>et al.</i> 2011	Irán			0,01975 <sup>97 b</sup>
Schettino <i>et al.</i> 2009	Méjico			0,065 <sup>87 b</sup>
Ruiz <i>et al.</i> 2008	Argentina	0,0048 <sup>80</sup>		
Prado <i>e. al.</i> 2007	Méjico		0,0528 <sup>85</sup>	
Heck <i>et al.</i> 2007	Brasil			0,00851 <sup>93</sup>
Real <i>et al.</i> 2005	Méjico			0,009 <sup>94</sup>
Battu <i>et al.</i> 2004	India		No encontrado <sup>84</sup>	< 0,001 <sup>95</sup>
Lorenzatti <i>et al.</i> 2003	Argentina	0,0010 <sup>77</sup>	0,0090 <sup>81 a</sup>	0,011 <sup>92 b,c</sup>
Waliszewski <i>et al.</i> 2003	Méjico			0,077 <sup>88 b</sup>
Prado <i>et al.</i> 1998	Méjico			0,12 <sup>89 b</sup>
Martínez <i>et al.</i> 1997	España	0,1010 <sup>79</sup>		0,051 <sup>90</sup>
Zapata <i>et al.</i> 1996	Colombia			0,001 a 0,012 <sup>96 b</sup>
Maitre <i>et al.</i> 1994	Argentina	0,0232 <sup>78</sup>	0,0169 <sup>82 a</sup>	0,9900 <sup>91 b,c</sup>

<sup>a</sup> No se midió el metabolito endosulfan sulfato, <sup>b</sup> No se midió el isómero o,p'-DDT, <sup>c</sup> No se midió el metabolito p,p'-DDD.

Se observa que la cantidad de clordano que se halló en la leche pasteurizada analizada es muy elevada, 1,02 mg/kg, comparada con las concentraciones divulgadas por otros autores. Por ejemplo, en Argentina la leche que se comercializaba en la Provincia de Santa Fe durante el primer semestre del año 2000 solo contenía clordano en 0,001 mg/kg<sup>77</sup>. Sin embargo, en un estudio anterior, en el año

1994, se encuentra un nivel residual de clordano equivalente a 0,0232 mg/kg<sup>78</sup>. Esto representa una disminución de 23,2 veces la concentración de clordano identificada inicialmente. En España se detecta la presencia de este plaguicida en cantidades equivalentes a 0,101 mg/kg en muestras de leche que provienen de establecimientos comerciales ubicados en diferentes partes del país<sup>79</sup>. Este valor es 10 veces menor al que se encontró en esta investigación. Además, cabe anotar que tampoco se detectó una cantidad cercana a la determinada en este estudio en la leche cruda de vaca que se comercializaba en la Provincia de Jujuy, Argentina, cuyo valor fue de 0,0048 mg/kg<sup>80</sup>.

Se han encontrado menores cantidades de endosulfan en otros estudios, realizados en países tales como, Argentina<sup>81,82</sup>, Uganda<sup>83</sup> e India<sup>84</sup>. Sin embargo, en Méjico específicamente en Querétaro, durante el primer semestre de 2003, se determina en la leche cruda de cabra una cantidad mayor de este plaguicida organoclorado, de 0,0528 mg/kg<sup>85</sup>, respecto al que se cuantificó en la presente investigación, es decir, 0,043 mg/kg.

Se observa que existen concentraciones más altas de DDT halladas en otros estudios referentes a la temática. Por ejemplo, en Uganda, en la leche pasteurizada que es comercializada en los supermercados de Kampala, se encontró el doble de la cantidad presente en este estudio, es decir, 0,041 mg/kg<sup>86</sup>. En Ciudad de Méjico, se realizó un muestreo durante septiembre de 2006 a febrero de 2007, cuyos resultados dan a conocer que la leche pasteurizada contenía un alto nivel de DDT que prácticamente triplica el valor que se detectó en esta investigación, es decir, 0,065 mg/kg<sup>87</sup> y muy similar al reportado por otros autores en el año 2001, cuyo valor fue 0,077 mg/kg<sup>88</sup>. Sin embargo, entre junio de 1994 y junio de 1995 se realizó un muestreo de leche pasteurizada en Ciudad de Méjico, obteniéndose como resultado un valor de 0,12 mg/kg para el DDT<sup>89</sup>. Además, en España se detecta 0,051 mg/kg de este plaguicida<sup>90</sup> cuyo valor es aproximadamente el doble al que se encontró en este estudio; y en Argentina, Provincia de Santa Fe, se determina un nivel residual de DDT equivalente a 0,9900 mg/kg<sup>91</sup> que supera en grandes proporciones la concentración de 0,02 mg/kg que se halló en esta investigación. Estos resultados demuestran la alta contaminación generada por este plaguicida en muchas partes del mundo. Las concentraciones de DDT menores a las halladas en este estudio han sido medidas en países tales como Argentina<sup>92</sup>, Brasil<sup>93</sup>, Méjico<sup>94</sup>, India<sup>95</sup> y Colombia<sup>96</sup>. En Irán prácticamente se obtuvo el mismo resultado<sup>97</sup>, demostrándose que este país tiene problemas con el control del uso de este plaguicida, tal como el nuestro, porque en los dos estudios se obtuvo el valor del límite máximo residual recomendado por la FAO/OMS para este producto alimenticio.

Durante una reunión del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, celebrada en mayo de 2001 en Estocolmo (Suecia), los representantes de 90 países, incluyendo Colombia, firmaron el Convenio sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, que tiene por objeto prohibir la producción y uso de 12 sustancias orgánicas tóxicas que son conocidos como «docena sucia». Entre ellos se encuentran los plaguicidas clordano, endrín y DDT<sup>98-100</sup>. En abril de 2011 en Ginebra (Suiza), en una reunión del Convenio de Estocolmo se agregó el endosulfan a esta lista. Esta iniciativa entra en vigor a partir del año 2012.

Aunque el convenio permite el uso del DDT en el control de enfermedades endémicas como la malaria y la fiebre amarilla<sup>101, 102</sup>, el uso de este plaguicida en el sector agrícola está totalmente prohibido.

## CONCLUSIONES

El nivel residual de clordano encontrado en la leche de vaca, líquida pasteurizada, superó ampliamente los límites máximos residuales (LMR) recomendados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS), y la Comunidad Europea (CE). Además, se estableció que la leche analizada sobrepasó el LMR propuesto por la FAO/OMS para el endosulfan, pero no el sugerido por la CE. También, se determinó que la leche no sobrepasó el LMR para el plaguicida DDT propuesto por la FAO/OMS y la CE pero se encuentra en el

límite. Respecto a la presencia de residuos del plaguicida organoclorado endrín en la leche, el LMR sugerido por CE fue ampliamente superado en este estudio.

Teniendo en cuenta que en Colombia se prohibió el uso agrícola de los siguientes plaguicidas: endrín, desde el año 1985; DDT, desde el año 1986; clordano, desde el año 1988; y endosulfan, desde el año 1997, los resultados observados durante este estudio muestran falencias en los controles gubernamentales respecto al tema.

Mediante esta investigación y al analizar otros estudios realizados en el mundo se encontró que los residuos de plaguicidas de origen agrícola llegan a la leche de vaca. El riesgo para la salud humana en este producto alimenticio y en sus derivados, es evidente.

Se recomienda seguir elaborando estudios para determinar la presencia de los residuos de plaguicidas en otros productos alimenticios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PÉREZ, M.A.; *et al.* Residuos de plaguicidas organofosforados en cabezuela de brócoli (*Brassica oleracea*) determinados por cromatografía de gases. En: Rev. Int. Contam. Amb. 2009, Vol. 25, N° 2, p. 103-110.
2. AGUILAR, J.; *et al.* Niveles de pesticidas organoclorados en *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) del Lago de Tecocomulco, Hidalgo, México. En: GALLARDO, J. F. (ed). La contaminación en Iberoamérica. Xenobióticos y metales. Cáceres-España: Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental, 2008. p. 23-44.
3. GOTO, T.; *et al.* Simple and rapid determination of N-methylcarbamate pesticides in citrus fruits by electrospray ionization tandem mass spectrometry. En: Analyt. Chim. Acta. 2003, Vol. 487, N° 2, p. 201-209.
4. GULER, G.; *et al.* Organochlorine pesticide residues in wheat from Konya region, Turkey. En: Food Chem. Tox. 2010, Vol. 48, N° 5, p. 1218-1221.
5. KALYONCU, L.; AGCA, I. and AKTUMSEK, A. Some organochlorine pesticide residues in fish species in Konya, Turkey. En: Chemosph. 2009, vol. 74, N° 7, p. 885-889.
6. SHARMA, C.; *et al.* Bioaccumulation of organochlorine pollutants in the fish community in Lake Årungen, Norway. En: Environm. Poll. 2009, Vol. 157, N° 8-9, p. 2452-2458.
7. PIERRE, F. y BETANCOURT, P. Residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en el cultivo de cebolla en la depresión de Quibor, Venezuela. En: Bioagro. 2007, Vol. 19, N° 2, p. 69-78.
8. HERNÁNDEZ, M.; *et al.* Caracterización de las intoxicaciones agudas por plaguicidas: perfil ocupacional y conductas de uso de agroquímicos en una zona agrícola del Estado de México, México. En: Rev. Int. Contam. Amb. 2007, Vol. 23, N° 4, p. 159-167.
9. ZAWIYAH, S., *et al.* Determination of organochlorine and pyrethroid pesticides in fruit and vegetables using SAX/PSA clean-up column. En: Food Chem. 2007, Vol. 102, N° 1, p. 98-103.
10. TAGLIAFERRO, Z.; *et al.* Organoclorados en leche materna en población de caseríos expuestos y parcialmente expuestos a plaguicidas del Valle de Quibor. Bol. Médico Postgrado [en línea], 2005, Vol. 21, N° 4 [citado 2012-09-05]. Disponible en [http://bibmed.ucla.edu.ve/cgi-win/be\\_alex.exe?Acceso=T070200000134/3&Nombrebd=BOLETIN-MEDICO&Sesion=87](http://bibmed.ucla.edu.ve/cgi-win/be_alex.exe?Acceso=T070200000134/3&Nombrebd=BOLETIN-MEDICO&Sesion=87)
11. PRADO, G.; *et al.* Niveles de pesticidas organoclorados en leche humana de la Ciudad de México. En: Agro Sur. 2004, Vol. 32, N° 2, p. 60-69.

12. GULER, *et al.*, Op. Cit., p. 1218
13. KURANCHIE-MENSAH, H.; *et al.* Determination of organochlorine pesticide residue in sediment and water from the Densu river basin, Ghana. En: *Chemosph.* 2012, Vol. 86, N° 3, p. 286-292.
14. TAGLIAFERRO, *et al.*; Op. Cit.
15. AGUILAR, *et al.*, Op. Cit., p. 25
16. DER PARSEHIAN, S. Plaguicidas organoclorados en leche materna. En: *Rev. Hospital Materno Inf. Ramón Sardá.* 2008, Vol. 27, N° 2, p. 70-78.
17. KAUSHIK, P. and KAUSHIK, G. An assessment of structure and toxicity correlation in organochlorine pesticides. En: *J. Hazard. Mat.* 2007, Vol. 143, N° 1-2, p. 102-111.
18. KALYONCU, *et al.*, Op. Cit., p. 885
19. DARKO, G. and ACQUAAH, S. Levels of organochlorine pesticides residues in dairy products in Kumasi, Ghana. En: *Chemosph.* 2008, Vol. 71, N° 2, p. 294-298.
20. WANG, J.; *et al.* Residues of organochlorine pesticides in honeys from different geographic regions. En: *Food Res. Int.* 2010, Vol. 43, N° 9, p. 2329-2334.
21. COAT, S.; *et al.* Organochlorine pollution in tropical rivers (Guadeloupe): Role of ecological factors in food web bioaccumulation. En: *Environm. Poll.* 2011, Vol. 159, N° 6, p. 1692-1701.
22. KURANCHIE-MENSAH, *et al.*; Op. Cit., p. 286
23. ZUMBADO, M., *et al.* Exposición inadvertida a plaguicidas organoclorados (DDT y DDE) en la población de las Islas Canarias. En: *Ecosist.* 2004, Vol. 13, N° 3, p. 51-58.
24. TAGLIAFERRO, *et al.*; Op. Cit.
25. MISHRA, K. and SHARMA, R. Assessment of organochlorine pesticides in human milk and risk exposure to infants from North-East India. En: *Sci. Total Environm.* 2011, Vol. 409, N° 23, p. 4939-4949.
26. PRADO, *et al.*; Op. Cit., p. 61
27. DARKO, *et al.*; Op. Cit., p. 295
28. MOON, H.; *et al.* Human health risk of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides resulting from seafood consumption in South Korea, 2005–2007. En: *Food Chem. Tox.* 2009, Vol. 47, N° 8, p. 1819-1825.
29. SALEM, N.; AHMAD, R. and ESTAITIEH, H. Organochlorine pesticide residues in dairy products in Jordan. En: *Chemosph.* 2009, Vol. 77, N° 5, p. 673-678.
30. HECK, M.; *et al.* Estimation of children exposure to organochlorine compounds through milk in Rio Grande do Sul, Brazil. En: *Food Chem.* 2007, Vol. 102, N° 1, p. 288-294.
31. AGUILAR, *et al.*; Op. Cit., p. 24
32. KURANCHIE-MENSAH, *et al.*; Op. Cit., p. 287
33. TORO, G. Hombre, hambre y contaminación del medio ambiente. En: *Rev. Fac. Med. Univ. UN Col.* 1993, Vol. 41, N° 1, p. 28-45.
34. BEJARANO, F.; *et al.* El endosulfán y sus alternativas en América Latina. Méjico: Bejarano, F., 2008. 147 p.

35. GULER, *et al.*; Op. Cit., p. 1218
36. WANG, *et al.*; Op. Cit., p. 2329
37. HECK, *et al.*; Op. Cit., p. 289
38. SALEM, *et al.*; Op. Cit., p. 674
39. IDF. INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. Internacional IDF STANDARD 75C. Milk and milk based products: recommended methods for determination of organochlorine compounds pesticides. Brussels-Belgium: General Secretariat, 1991.
40. CHEM SERVICE. CSM-8880M Chester, PA 19381-0599, Estados Unidos de América.
41. FAO/OMS. Bases de datos en línea del *codex* sobre los residuos de plaguicidas en los alimentos [en línea], 2010, [citado 2012-09-05]. Disponible en <http://www.codexalimentarius.net/pestres/data/index.html?lang=es>
42. COMUNIDAD EUROPEA. Reglamento (CE) N° 149/2008 de la comisión [en línea], 2008, [citado 2012-09-05]. Disponible en <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:058:0001:0398:ES:PDF>
43. MÁRQUEZ, D. Residuos químicos en alimentos de origen animal: problemas y desafíos para la inocuidad alimentaria en Colombia. En: Rev. Corpoica Cienc. Tecn. Agropec. 2008, Vol. 9, N° 1, p. 124-135.
44. KAUSHIK, *et al.*, Op. Cit., p. 110
45. CALVA, L. y TORRES, M. Plaguicidas organoclorados. En: Contactos. Rev. Ed. Cienc. Ingen. 1998, Vol. 30, p. 35-46.
46. FAO/OMS, Op. Cit.
47. COMUNIDAD EUROPEA. Reglamento (UE) N° 310/2011 de la comisión [en línea], 2011, [citado 2012-09-05]. Disponible en <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:086:0001:0050:ES:PDF>
48. PRADO, G.; *et al.* Residuos de plaguicidas organoclorados en leche de cabra de Querétaro, Querétaro, México. En: Vet. México. 2007, Vol. 38, N° 3, pp. 291-301.
49. KAUSHIK, *et al.*; Op. Cit., p. 109
50. CALVA, *et al.*; Op. Cit., p. 42
51. FAO/OMS, Op. Cit.
52. COMUNIDAD EUROPEA, Reglamento (CE) N° 149/2008 de la comisión, Op. Cit.
53. AGUILAR, *et al.*; Op. Cit., p. 26
54. KAUSHIK, *et al.*; Op. Cit., p. 107
55. PRADO, *et al.* Residuos de plaguicidas organoclorados en leche de cabra de Querétaro, Querétaro, México, Op. Cit., p. 297
56. RUIZ, A.; WIERNA, N. y BOVI MITRE, G. Plaguicidas organoclorados en leche cruda comercializada en Jujuy (Argentina). En: Rev. Tox. 2008, Vol. 25, N° 1-3, p. 61-66.
57. PRADO, *et al.*, Niveles de pesticidas organoclorados en leche humana de la Ciudad de México, Op. Cit., p. 65

58. ALBERT, L. y RENDÓN-VON, J. Contaminación por compuestos organoclorados en algunos alimentos procedentes de una región de México. En: Rev. Saúde Públ. 1988, Vol. 22, N° 6, p. 500-506.
59. KAMPIRE, E.; *et al.* Organochlorine pesticide in fresh and pasteurized cow's milk from Kampala markets. En: Chemosph. 2011, Vol. 84, N° 7, p. 923-927.
60. MARTÍNEZ, M.; *et al.* Organochlorine pesticide in pasteurized milk and associated health risks. En: Food Chem. Tox. 1997, Vol. 35, N° 6, p. 621-624.
61. ZUMBADO, *et al.*; Op. Cit., p. 52
62. CALVA, *et al.*; Op. Cit., p. 40
63. FLORES, A.; *et al.* Organoclorados: um problema de saúde pública. En: Amb. & Soc. 2004, Vol. 7, N° 2, p. 111-124.
64. CALVA, *et al.*; Op. Cit., p. 40
65. ZUMBADO, *et al.*; Op. Cit., p. 52
66. PRADO, *et al.* Niveles de pesticidas organoclorados en leche humana de la Ciudad de México, Op. Cit., p. 65
67. ZHOU, P.; *et al.* Dietary exposure to persistent organochlorine pesticides in 2007 Chinese total diet study. En: Environm. Int. 2011, Vol. 42, p. 152-159.
68. HERNÁNDEZ, M.; VIDAL, J. y MARRUGO, J. Plaguicidas organoclorados en leche de bovinos suplementados con residuos de algodón en San Pedro, Colombia. En: Rev. Salud Públ. 2010, Vol. 12, N° 6, p. 982-989.
69. CALVA, *et al.*, Op. Cit., p. 36
70. AGUILAR, *et al.*, Op. Cit., p. 25
71. KAUSHIK, *et al.*, Op. Cit., p. 103
72. COMUNIDAD EUROPEA, Reglamento (CE) N.º 149/2008 de la comisión, Op. Cit.
73. FAO/OMS, Op. Cit.
74. REAL, M.; *et al.* Residuos de plaguicidas organoclorados en leche cruda y pasteurizada de la zona metropolitana de Guadalajara, México. En: Rev. Salud Animal. 2005, Vol. 27, N° 1, p. 48-54.
75. AGUILAR, *et al.*; Op. Cit., p. 28-37
76. DÍAZ, G.; BOTELLO, A. y PONCE, G. Plaguicidas organoclorados en pastos y peces de los sistemas Candelaria-Panlau y Palizada del Este, laguna de Términos, Campeche, México. En: BOTELLO, A.V., *et al.* (eds). Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. 2 ed. México: Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 2005. p. 207-224.
77. LORENZATTI, E.; MAITRE, M. y LENARDON, A. Evaluación de la contaminación con plaguicidas en productos lácteos. En: Rev. FAVE Cienc. Vet. 2003. Vol. 2, N° 1, p. 49-56.
78. MAITRE, M.; *et al.* Pesticide residue levels in Argentinian pasteurised milk. En: Sci. Total Environm. 1994, Vol. 155, N° 2, p. 105-108.
79. MARTÍNEZ, *et al.*; Op. Cit., p. 623
80. RUIZ, *et al.*; Op. Cit., p. 64

81. LORENZATTI, *et al.*; Op. Cit., p. 53
82. MAITRE, *et al.*; Op. Cit., p. 105-108
83. KAMPIRE, E.; *et al.* Organochlorine pesticide in fresh and pasteurized cow's milk from Kampala markets. En: Chemosph. 2011, Vol. 84, N° 7, p. 923-927.
84. BATTU, R.; SINGH, B. and KANG, B. Contamination of liquid milk and butter with pesticide residues in the Ludhiana district of Punjab state, India. En: Ecotox. Environm. Safety. 2004, Vol. 59, N° 3, p. 324-331.
85. PRADO, *et al.* Residuos de plaguicidas organoclorados en leche de cabra de Querétaro, Querétaro, México, Op. Cit., p. 296
86. KAMPIRE, *et al.*; Op. Cit., p. 926
87. SCHETTINO, B.; *et al.* Niveles de residuos de plaguicidas organoclorados en leche pasteurizada orgánica y convencional comercializada en Ciudad de México. En: X Simposio Internacional y V Congreso Nacional de Agricultura Sostenible [en línea], 2009 [citado 2012-09-05]. Disponible en [http://www.somas.org.mx/imagenes\\_somas2/pdfs\\_libros/agriculturasostenible6/63/81.pdf](http://www.somas.org.mx/imagenes_somas2/pdfs_libros/agriculturasostenible6/63/81.pdf)
88. *Ibid.*, p. 4
89. PRADO, G.; *et al.* Residuos de plaguicidas organoclorados en leche pasteurizada comercializada en Ciudad de México. En: Arch. Med. Vet. 1998, Vol. 30, N° 1, p. 55-66.
90. MARTÍNEZ, *et al.*; Op. Cit., p. 622
91. MAITRE, *et al.*; Op. Cit., pp. 105-108
92. LORENZATTI, *et al.*; Op. Cit., p. 53
93. HECK, *et al.*; Op. Cit., pp. 288-294
94. REAL, *et al.*; Op. Cit., p. 51
95. BATTU, *et al.*; Op. Cit., pp. 324-331
96. ZAPATA, A.; *et al.* Residuos de plaguicidas organoclorados en leche vacuna, Nicaragua. En: Bol. Oficial Sanit. Panam. 1996, Vol. 120, N° 6, p. 483-490.
97. BAYAT, S.; *et al.* Survey of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in commercial pasteurized milk in Iran. En: Environm. Monit. Ass. 2011, Vol. 175, N° 1-4, p. 469-474.
98. FLORES, *et al.*; Op. Cit., p. 119
99. ZHOU, *et al.*; Op. Cit., p. 152
100. ISEA, G.; HUERTA, L. y RODRÍGUEZ, I. Desarrollo histórico de la legislación sobre plaguicidas organoclorados en Venezuela. En: Rev. Cienc. Salud. 2009, Vol. 7, N° 1, p. 47-64.
101. *Ibid.*, p. 47-64
102. PRADO, *et al.* Niveles de pesticidas organoclorados en leche humana de la Ciudad de México, Op. Cit., p. 60-69