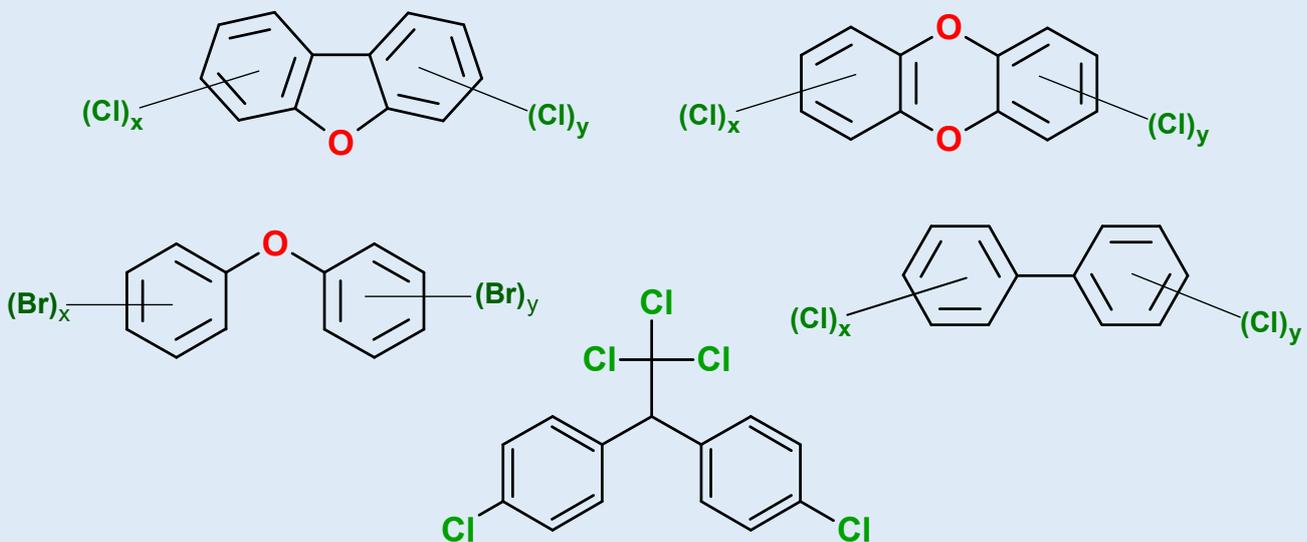




UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA  
1803



# INFORME NACIONAL DE COLOMBIA PARA EL PLAN DE VIGILANCIA MUNDIAL FASE II DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES



**Elaboró:** Boris Santiago Avila – Universidad de Antioquia – Grupo Diagnostico y Control de la Contaminación (GDCON).

**Revisó:** Andrés Ramírez – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - Proyecto PNUD-COL 98842/94749.

**Aprobó:** Gustavo Antonio Peñuela – Universidad de Antioquia – Grupo Diagnostico y control de la contaminación (GDCON).

**Aprobó:** Rodolfo Alarcón – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana.

2022

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Disposiciones organizacionales.....</b>	<b>7</b>
<b>3. Actividades Nacionales.....</b>	<b>7</b>
a. Muestreo de aire (pasivo).....	7
Coordinación y monitoreo.....	7
Resultados de los laboratorios de referencia .....	9
Análisis y resultados nacionales de las muestras de PUFs.....	16
Comparación de resultados nacionales y laboratorios de referencia (muestras espejos - PUFs) .....	20
Análisis de tendencias - establecimiento de una línea base de COPs en el aire de Medellín, Colombia. .....	24
b. Muestreo de agua.....	31
c. Monitoreo en leche humana .....	31
Coordinación y monitoreo.....	31
Resultados de los laboratorios de referencia de la muestra nacional combinada de leche materna..	32
Análisis y resultados nacionales de las muestras de leche materna.....	37
Comparación de resultados nacionales y laboratorios de referencia (muestras espejos – leche materna) .....	42
Análisis de niveles de COPs en leche materna, Colombia (muestra nacional combinada).....	42
d. Muestras nacionales .....	44
Coordinación y monitoreo.....	44
Resultados de los laboratorios de referencia (muestras nacionales).....	45
Análisis nacional de las muestras de interés nacional .....	48
Resultados nacionales de muestras de interés nacional.....	50
Comparación de resultados nacionales y laboratorios de referencia (muestras espejos – pescados y sedimentos).....	54
e. Estudio internacional de interlaboratorio .....	54
<b>4. Actividades de Desarrollo de capacidades.....</b>	<b>55</b>
a. Entrenamientos .....	55
<b>5. Participación en otras actividades y redes de monitoreo .....</b>	<b>55</b>
<b>6. Plan de sostenibilidad.....</b>	<b>58</b>
<b>7. Resultados y logros .....</b>	<b>60</b>
<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>61</b>

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Campañas de monitoreo de COPs en aire, Colombia.	8
<b>Tabla 2</b> Volumen de aire efectivo de muestreo ( $V_{\text{air}}$ , $\text{m}^3$ ) para PUF-PAS.	10
<b>Tabla 3</b> Concentración ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de OCPs y PCBs ind en PUF-PAS.	13
<b>Tabla 4</b> Concentración ( $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de dl-PCBs y PCDD/Fs en PUF-PAS.	14
<b>Tabla 5</b> Concentración ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de PBDEs, PBB 153 e isómeros-HBCDDs en PUF-PAS.	15
<b>Tabla 6</b> Concentración de PFASs en la atmosfera de Medellín, Colombia en $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ .	16
<b>Tabla 7</b> Resultados nacionales de COPs (OCPs y PCBs ind) en PUFs ( $\text{ng}\cdot\text{PUF}^{-1}$ ), Colombia.	19
<b>Tabla 8</b> Comparación de los resultados nacionales y laboratorios de referencia ( $\text{ng}\cdot\text{PUF}^{-1}$ ).	22
<b>Tabla 9</b> Resultados del laboratorio de referencia de OCPs en la muestra nacional combinada de leche materna.	33
<b>Tabla 10</b> Resultados del laboratorio de referencia de PCBs indicadores ( $\text{ng}\cdot\text{g grasa}^{-1}$ ) y dl-PCBs ( $\text{pg}\cdot\text{g grasa}^{-1}$ ).	34
<b>Tabla 11</b> Resultados del laboratorio de referencia de PCDD/Fs ( $\text{pg}\cdot\text{g grasa}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada.	35
<b>Tabla 12</b> Resultados del laboratorio de referencia de PBDEs ( $\text{ng}\cdot\text{g grasa}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada.	35
<b>Tabla 13</b> Resultados del laboratorio de referencia de parafinas cloradas ( $\text{ng}\cdot\text{g lípidos}^{-1}$ ).	36
<b>Tabla 14</b> Resultados del laboratorio de referencia de PFASs ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada.	36
<b>Tabla 15</b> Resultados del laboratorio de referencia de hexabromobifenil, pentaclorobenceno, pentaclorofenol, pentacloroanisol, hexaclorobutadieno, p,p-dicofol, clordecona y HBCDDs-isómeros ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada de leche materna.	36
<b>Tabla 16</b> Resultados del laboratorio nacional de COPs en muestras de leche materna en $\text{ng}\cdot\text{g lípidos}^{-1}$ .	39
<b>Tabla 17</b> Información de las muestras nacionales de pescado enviadas al CSIC y MTM.	44
<b>Tabla 18</b> Información de las muestras nacionales de sedimentos enviadas al CSIC y MTM.	45
<b>Tabla 19</b> Resultados del laboratorio de referencia de PFASs en muestras de pescado ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ fresco) y sedimentos ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ seco).	46
<b>Tabla 20</b> Resultados del laboratorio de referencia de PCBs indicadores en muestras de pescado ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ fresco) y sedimentos ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ seco).	46
<b>Tabla 21</b> Resultados del laboratorio de referencia de dl-PCBs en muestras de pescado ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ fresco) y sedimentos ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ seco).	47
<b>Tabla 22</b> Resultados del laboratorio de referencia de PCDD/PCDF en muestras de pescado ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ fresco) y sedimentos ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ seco).	47
<b>Tabla 23</b> Resultados del laboratorio nacional de OCPs y PCBs indicadores en muestras de pescado ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ).	51

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Concentración en aire de OCPs y PCBs indicadores ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) .....	24
<b>Figura 2</b> Concentraciones en aire ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de OCPs y PCBs indicadores por trimestre .....	25
<b>Figura 3</b> Concentraciones en aire de dl-PCBs en $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$ . .....	26
<b>Figura 4</b> Total TEQ-WHO <sub>2005</sub> dl-PCBs y PCDDs/PCDFs .....	27
<b>Figura 5</b> Concentraciones en aire de PCDD/Fs en $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$ . .....	28
<b>Figura 6</b> Concentraciones en aire de PBDEs e isómeros-HBCDDs en $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ .....	29
<b>Figura 7</b> Concentración en aire de PBDEs y HBCDDs en aire ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) por trimestre. ....	29
<b>Figura 8</b> Caja de bigotes de resultados del 4,4-DDE en leche materna por departamentos de Colombia...	41
<b>Figura 9</b> Valores promedio del 4,4-DDE en leche materna por departamentos de Colombia .....	41
<b>Figura 10</b> Caja de bigotes del 4,4-DDE de los ríos Magdalena y Cauca, y del golfo de Urabá.....	53

## Resumen ejecutivo

El Convenio de Estocolmo sobre COPs fue adoptado el 22 de mayo del 2001 y entró en vigor el 17 de mayo del 2004. A diciembre del 2019, la convención tenía 184 países participantes; Colombia, mediante la ley 1196 del 5 de julio del 2008 ratificó el convenio.

Con el fin de cumplir con los compromisos adquiridos en la Convención de Estocolmo, Colombia suscribió un memorando de entendimiento con el Centro Coordinador del Convenio de Basilea y Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe – Laboratorio Tecnológico del Uruguay para apoyar en la implementación del Plan de vigilancia Mundial Fase II (GMP2) de la región de América Latina y el Caribe.

En el marco del GMP2 Colombia participó en campañas de monitores de COPs en aire realizadas entre el 2017 y 2018 usando muestreadores de aire pasivo y se estableció una línea base de referencia de algunos COPs en la atmosfera de Medellín, Colombia.

También, el país realizó una muestra nacional combinada de leche materna con 50 muestras provenientes de cinco departamentos. En términos generales, los niveles de COPs en leche materna estuvieron en el mismo orden de magnitud que los reportados para la región en el tercer informe regional del plan de vigilancia mundial para América Latina y el Caribe.

Además, el país realizó el monitoreo de 17 muestras nacionales de interés (8 pescados y 9 sedimentos). En términos generales los resultados estuvieron en el mismo orden de magnitud que la región y no se encontraron valores atípicos altos que indicaran alguna fuente importante de contaminación nacional.

Adicionalmente, algunos COPs fueron analizados nacionalmente y los resultados fueron comparados con los resultados de los laboratorios de referencia. La participación en el GMP2 permitió aumentar la capacidad analítica en el país para el análisis de COPs, sin embargo, es necesario continuar aumentando dicha capacidad, especialmente para el análisis de dioxinas, furanos, compuestos perfluoralquilados, retardantes de llama bromados, entre otros que hacen parte de la convención de Estocolmo y que no están incluidos dentro del alcance de los laboratorios nacionales.

Finalmente, el GMP2 permitió establecer una línea base de contaminación de algunos COPs en aire, leche materna, pescado y sedimentos sobre la cual se podrán evaluar las tendencias de estos contaminantes en el futuro a nivel nacional.

## 1. Introducción

El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) fue adoptado el 22 de mayo del 2001 y entró en vigor el 17 de mayo del 2004. A diciembre del 2019, la convención tenía 184 países participantes; Colombia, mediante la ley 1196 del 5 de julio del 2008 ratificó el convenio en el país.

El objetivo del Convenio de Estocolmo sobre COPs es proteger la salud humana y el ambiente de los contaminantes orgánicos persistentes al reducir o eliminar las emisiones de dichos contaminantes.

Las partes han acordado mecanismos para medir el cumplimiento del objetivo de la convención y de acuerdo con el artículo 16 del Convenio, su eficacia se evaluará a partir de cuatro años después de la fecha de entrada en vigor de la Convención y posteriormente, periódicamente a intervalos que decida la conferencia de las partes. Cada evaluación de efectividad constará de tres elementos.

- Informes y otra información de monitoreo ambiental en conformidad con el párrafo 2 del Artículo 16;
- Informes nacionales presentados en conformidad con el Artículo 15 (es decir, informes de las partes sobre las medidas que han implementado y la efectividad de esas medidas); e
- Información de incumplimiento presentada en conformidad con el artículo 17.

Este informe nacional se refiere solo al primero de estos elementos, ya que está enmarcado en los resultados obtenidos en el plan de vigilancia mundial que tiene como objetivo evaluar si los niveles de COPs se reducen o eliminan según lo solicitado por los artículos 3 y 5 del Convenio, dado que la información sobre los niveles ambientales de los productos químicos enumerados en los anexos debería permitir la detección de tendencias a lo largo del tiempo.

Para facilitar la implementación regional del plan de vigilancia mundial, se han establecido grupos de organizaciones regionales, compuestos por seis miembros para cada una de las cinco Regiones de las Naciones Unidas (África, Asia y el Pacífico, Europa Central y Oriental, América Latina y el Caribe, Europa Occidental y Otros estados).

Los objetivos principales de los grupos de organizaciones regionales son definir e implementar la estrategia regional para la recopilación de información, incluido el desarrollo de capacidades y el establecimiento de alianzas estratégicas para llenar los vacíos de datos identificados, y preparar los informes de monitoreo regional como contribución a la evaluación de efectividad del proceso bajo el Convenio de Estocolmo.

Colombia hace parte de la región de América Latina y el Caribe (GRULAC) coordinada por el Centro Coordinador del Convenio de Basilea y Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe (BCCC-SCRC) – Laboratorio Tecnológico de Uruguay (LATU).

Con base en lo anterior, Colombia suscribió un memorando de entendimiento con el BCCC-SCRC-LATU para apoyar en la implementación del Plan de Vigilancia Mundial Fase II (GMP2) en la región de América Latina y el Caribe. Colombia realizó el monitoreo de COPs en muestras de aire, leche materna, pescados y sedimentos; y envió las muestras a los laboratorios de referencia del proyecto. Adicionalmente, Colombia realizó el análisis de algunos COPs teniendo en cuenta el entrenamiento y capacitación recibida por los laboratorios expertos del proyecto.

## 2. Disposiciones organizacionales

El Centro Coordinador del Convenio de Basilea y Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe (BCCC-SCRC) – Laboratorio Tecnológico de Uruguay (LATU) en Uruguay fue el organismo administrador y coordinador en la región GRULAC. Las organizaciones que participaron con estrecha colaboración, entre otros, fueron: el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones (UNITAR) y cinco laboratorios especializados (Universidad VU IVM, Universidad de Örebro - MTM, CSIC, CVUA y RECETOX).

A nivel nacional, el GMP2 fue coordinado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (coordinador nacional) en estrecha colaboración con el Ministerio de Salud y Protección Social.

Las actividades de monitoreo de COPs en leche materna fueron realizadas por el Instituto Nacional de Salud (Grupo Salud Ambiental y Laboral), las actividades de monitoreo de COPs en aire y pescado fueron realizadas por la Universidad de Antioquia (Grupo Diagnostico y Control de la Contaminación - GDCON) y las actividades de monitoreo de COPs en sedimentos fueron realizadas por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR). Los análisis de algunos COPs (plaguicidas organoclorados y PCBs indicadores) de las muestras nacionales (leche materna, aire y pescado) fueron realizados por la Universidad de Antioquia (GDCON) y las muestras de sedimentos fueron analizadas por el INVEMAR.

## 3. Actividades Nacionales

### a. Muestreo de aire (pasivo)

#### *Coordinación y monitoreo.*

El monitoreo de COPs en aire fue realizado usando muestreadores de aire pasivos (PAS) utilizando espumas de poliuretano (PUFs) para la retención de los contaminantes. Los PAS consistían en dos cuencos de acero inoxidable con un diámetro de 30 y 24 cm (imagen 1) posicionados sobre un eje común que también fijaba los PUFs en la posición correcta (imagen 2).



Imagen 1 Cuencos PAS



Imagen 2 PAS y PUF

Los PAS y PUFs fueron suministrados por el laboratorio de Dioxinas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y recibidos por el GDCON para realizar el monitoreo de COPs en aire. Los PUFs se recibieron cubiertos con papel aluminio y listos para su uso en las diferentes campañas de monitoreo.

Se realizaron cuatro (4) campañas trimestrales durante el 2017 y 2018 (**Tabla 1**) para un total de ocho (8) campañas de monitoreo.

Cada campaña de monitoreo consistió en siete (7) muestreadores de aire pasivos ubicados en la terraza de la Sede de Investigación Universitaria de la Universidad de Antioquia (SIU) - dirección: Calle 62 #52-59, Medellín, Antioquia, coordenadas: 6°15'36.6"N, 75°34'04.7"W (latitud: 6.260165, longitud: -75.567976) (imagen 3). Los PUFs removidos al final de cada campaña de monitoreo fueron enviados a los laboratorios de referencia en España (4 PUFs) y Suecia (1 PUF). Las espumas restantes fueron conservadas por el GDCON (2 PUFs) para el posterior análisis nacional y servir como muestras espejo. La zona de ubicación de los PUFs fue en un sitio urbano y se eligió debido al fácil acceso y mantenimiento de los muestreadores pasivos dado que es una locación que hace parte de la Universidad de Antioquia.

**Tabla 1** Campañas de monitoreo de COPs en aire, Colombia.

Trimestre	Fecha de inicio/final	Tiempo de exposición (días)	Temperatura promedio (°C)
<b>2017-Q1</b>	2017-01-01/2017-03-31	89	21,4
<b>2017-Q2</b>	2017-04-01/2017-06-30	90	21,7
<b>2017-Q3</b>	2017-07-01/2017-09-30	91	22,2
<b>2017-Q4</b>	2017-10-01/2018-01-04	95	21,2
<b>2018-Q1</b>	2018-01-04/2018-03-30	85	21,3
<b>2018-Q2</b>	2018-04-01/2018-03-30	90	21,3
<b>2018-Q3</b>	2018-07-01/2018-09-30	91	22,1
<b>2018-Q4</b>	2018-10-01/2019-01-05	96	21,3



**Imagen 3** PAS de Colombia - Terraza Sede de Investigación Universitaria - 6°15'36.6"N, 75°34'04.7"W (latitud: 6.260165, longitud: -75.567976).

La temperatura promedio trimestral fue calculada teniendo en cuenta los valores de temperatura registrados por el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburra (SIATA) en la estación meteorológica 201, torre SIATA de la ciudad de Medellín. Se eliminaron los datos de medida erróneos y se calculó el promedio de la temperatura en el intervalo de tiempo correspondiente a cada campaña de monitoreo.

### ***Resultados de los laboratorios de referencia***

Los informes de resultados de los análisis de los PUFs obtenidos en las campañas de monitoreo fueron entregados por el Laboratorio de Dioxinas del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA-CSIC, España), por el Centro de Investigación MTM de la Escuela de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Örebro (Suecia) y por la Universidad Vrije de Ámsterdam (Países bajos).

Los compuestos analizados por el Laboratorio de Dioxinas fueron: plaguicidas organoclorados, bifenilos policlorados indicadores (PCBs Ind), policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDDs), policlorodibenzofuranos (PCDFs), bifenilos policlorados similares a las dioxinas (dl-PCBs), difenil éteres polibromados (PBDEs), así como el polibromobifenil (PBB 153). Por otra parte, los compuestos analizados por el Centro de Investigación MTM fueron los compuestos per y poli fluoroalquilados (ácido lineal perfluorooctano sulfónico (1-PFOS), ácido ramificado perfluorooctano sulfónico (br-PFOS), ácido perfluorooctanoico (PFOA), ácido perfluorohexano sulfónico (PFHxS), sulfonamida de perfluorooctano (FOSA), sulfonamida de N-metilperfluorooctano (NMeFOSA), sulfonamida de N-etilperfluorooctano (NEtFOSA), sulfonamida etanol N-metilperfluorooctano (NMeFOSE), sulfonamida etanol N-etilperfluorooctano (NEtFOSE)). Finalmente, los compuestos analizados por la Universidad Vrije de Ámsterdam fueron los isómeros del hexabromociclododecano (HBCDDs).

Los resultados entregados por los laboratorios de referencia fueron en unidades de masa del contaminante (pg o ng) sobre PUF, correspondiente al PUF trimestral de cada campaña de monitoreo. En algunos casos los extractos de los PUFs fueron combinados por año debido a las bajas concentraciones de los contaminantes (PCDD/PCDFs, dl-PCBs, PFASs), además, el PUF 2018-Q1 para el análisis de PFASs no fue posible analizarlo debido a que el estado no era adecuado para el análisis, por lo cual no se tienen resultados de PFASs para este periodo de monitoreo.

Las concentraciones en aire ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$  o  $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) derivadas de los resultados en (pg o ng)/PUF fueron calculadas utilizando un volumen de muestreo de aire efectivo que fue estimado para cada contaminante utilizando el modelo de Harner con la plantilla “*Template for calculating PUF and SIP disk sample air volumes February 28, 2022 v1*”. Los volúmenes de aire efectivos calculados ( $\text{m}^{-3}$ ) y las concentraciones en aire de los contaminantes se presentan en la **Tabla 2**, **Tabla 3**, **Tabla 4**, **Tabla 5** y **Tabla 6**. Los resultados de los laboratorios de referencia internacionales son discutidos en la sección de análisis de tendencias y establecimiento de la línea base de COPs en el aire de Medellín, Colombia.

**Tabla 2** Volumen de aire efectivo de muestreo ( $V_{\text{air}}$ ,  $\text{m}^3$ ) para PUF-PAS en los trimestres 1, 2, 3 y 4 de 2017 y 2018, Medellín, Colombia.

Compuestos	2017-Q1	2017-Q2	2017-Q3	2017-Q4	2018-Q1	2018-Q2	2018-Q3	2018-Q4
Pentaclorobenceno (PeCB)	40,2	39,5	38,3	40,7	40,5	40,5	38,5	40,5
Hexaclorobenceno (HCB)	177	177	175	183	174	179	175	183
Heptacloro	219	218	217	228	214	221	217	229
Cis-Heptacloro Epóxido	308	310	311	326	296	311	312	329
Trans-Heptacloro Epóxido	308	310	311	326	296	311	312	329
$\alpha$ -Endosulfan	317	319	321	336	305	320	321	339
$\beta$ -Endosulfan	340	343	346	362	325	344	346	365
Endosulfan Sulfato	347	350	354	370	332	351	354	373
$\alpha$ -HCH	213	213	211	222	208	215	212	222
$\gamma$ -HCH (Lindano)	246	246	245	258	239	248	246	259
$\beta$ -HCH	329	331	334	349	315	332	334	353
$\delta$ -HCH	327	330	332	348	314	331	332	351
Oxiclordano	301	303	303	318	290	304	304	321
Trans-Clordano	329	331	333	349	315	332	334	352
Cis-Clordano	330	333	335	351	317	334	336	355
Trans-Nonacloro	341	344	347	363	326	345	347	367
Cis-Nonacloro + Clordecona	351	355	359	375	336	355	359	379
Aldrin	273	274	274	287	264	275	274	289
Endrin	281	282	282	297	272	284	283	299
Dieldrin	328	331	333	348	314	331	333	351
2,4-DDE	329	331	333	349	315	332	334	352
2,4-DDD	328	331	333	348	314	331	333	351
2,4-DDT	343	347	350	366	329	347	350	370
4,4-DDD	351	355	358	374	335	355	358	378
4,4-DDE	347	351	354	370	332	351	354	374
4,4-DDT	348	352	356	372	333	352	356	375

Mirex	356	360	364	380	340	360	364	384
PCB 28	269	270	269	283	260	271	270	284
PCB 52	297	299	300	314	286	300	300	317
PCB 101	335	338	341	357	321	339	341	360
PCB 153	348	352	356	371	333	352	356	375
PCB 138	350	354	358	374	335	354	358	378
PCB 180	353	357	361	377	338	357	361	381
PCB 77	342	346	349	365	328	346	349	368
PCB 81	341	341	344	347	363	326	345	347
PCB 126	351	355	358	374	335	355	358	378
PCB 169	354	358	362	378	338	358	362	382
PCB 105	349	352	356	372	333	353	356	376
PCB 114	347	351	354	370	332	351	354	374
PCB 118	346	350	353	369	331	350	353	373
PCB 123	346	349	353	369	331	350	353	372
PCB 156	353	357	360	376	337	357	361	380
PCB 157	353	357	361	377	337	357	361	381
PCB 167	352	356	360	375	336	356	360	379
PCB 189	354	358	362	378	339	358	362	382
2,3,7,8-TCDD	350	354	357	373	334	354	357	377
1,2,3,7,8-PeCDD	353	357	361	377	337	357	361	381
1,2,3,4,7,8-HxCDD	354	358	362	378	339	358	362	382
1,2,3,6,7,8-HxCDD	354	358	362	378	339	358	362	382
1,2,3,7,8,9-HxCDD	354	358	362	378	339	358	362	382
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	355	359	363	379	339	359	363	383
OCDD	355	359	363	379	339	359	363	383
2,3,7,8-TCDF	349	352	356	372	333	353	356	376
1,2,3,7,8-PeCDF	349	352	356	372	333	353	356	376
2,3,4,7,8-PeCDF	353	356	360	376	337	357	360	380

1,2,3,4,7,8-HxCDF	354	358	362	378	338	358	362	382
1,2,3,6,7,8-HxCDF	354	358	362	378	338	358	362	382
1,2,3,7,8,9-HxCDF	354	358	362	378	338	358	362	382
2,3,4,6,7,8-HxCDF	354	358	362	378	338	358	362	382
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	355	359	363	379	339	359	363	382
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	355	359	363	379	339	359	363	383
OCDF	355	359	363	379	339	359	363	383
BDE-17	340	343	347	362	326	344	347	366
BDE-28	344	347	351	367	329	348	351	370
BDE-47	353	357	361	377	337	357	361	381
BDE-100	355	359	363	379	339	359	363	383
BDE-99	355	359	363	379	339	359	363	383
BDE-154	355	359	363	379	339	359	363	383
BDE-153	355	359	363	379	339	359	363	383
BDE-183	355	359	363	379	339	359	363	383
PBB 153	355	359	363	379	339	359	363	383
$\alpha$ -HBCDD	356	360	364	380	340	360	364	384
$\beta$ -HBCDD	356	360	364	380	340	360	364	384
$\gamma$ -HBCDD	356	360	364	380	340	360	364	384
1-PFOS	188	187	185	195	185	190	186	195
br-PFOS	188	187	185	195	185	190	186	195
Sum-PFOS	188	187	185	195	185	190	186	195
PFOA	356	360	364	380	340	360	364	384
PFHxS	116	114	111	118	115	116	112	118
FOSA	356	360	364	380	340	360	364	384
NMeFOSA	56,8	55,9	54,4	57,5	57,1	57,1	54,7	57,2
NEtFOSA	43,3	42,6	41,5	43,8	43,6	43,6	41,7	43,6
NMeFOSE	32,2	31,6	30,7	32,6	32,4	32,4	30,9	32,4
NEtFOSE	92,9	91,5	89,1	94,5	93,0	93,5	89,6	94,0

**Tabla 3** Concentración (pg·m<sup>-3</sup>) de OCPs y PCBs ind en PUF-PAS durante 2017 y 2018, donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

Compuestos	2017-Q1	2017-Q2	2017-Q3	2017-Q4	2018-Q1	2018-Q2	2018-Q3	2018-Q4
Pentaclorobenceno (PeCB)	32,3	32,9	732	466	346	111	90,9	121
Hexaclorobenceno (HCB)	30,5	32,3	34,4	23,5	19,5	17,9	19,4	19,1
Heptacloro	7,31	7,78	8,76	6,14	5,15	5,89	6,44	6,12
Cis-Heptacloro Epóxido	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28
Trans-Heptacloro Epóxido	<3,20	<3,20	<3,20	<3,20	<3,20	<3,20	<3,20	<3,20
α-Endosulfan	4,42	4,38	5,29	<3,10	<3,10	3,12	<3,10	<3,10
β-Endosulfan	<2,89	<2,89	<2,89	<2,89	<2,89	<2,89	<2,89	<2,89
Endosulfan Sulfato	<0,565	<0,565	<0,565	<0,565	<0,565	<0,565	<0,565	<0,565
α-HCH	1,31	1,32	2,13	1,58	1,35	<0,933	0,992	<0,933
γ-HCH (Lindano)	56,9	60,9	44,8	38,8	30,6	35,1	37,8	35,2
β-HCH	<0,598	<0,598	<0,598	<0,598	<0,598	<0,598	<0,598	<0,598
δ-HCH	<0,600	<0,600	<0,600	<0,600	<0,600	<0,600	<0,600	<0,600
Oxiclordano	<1,31	<1,31	<1,31	<1,31	<1,31	<1,31	<1,31	<1,31
Trans-Clordano	12,8	13,0	16,5	12,3	10,8	12,9	12,9	12,2
Cis-Clordano	6,05	6,30	7,75	5,41	6,95	6,89	7,15	6,49
Trans-Nonacloro	7,04	7,26	7,77	6,88	6,74	6,96	6,91	7,09
Cis-Nonacloro + Clordecona	<1,12	<1,12	<1,12	<1,12	<1,12	<1,12	<1,12	<1,12
Aldrin	2,05	2,05	1,83	1,29	1,02	1,31	1,31	1,25
Endrin	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40	<1,40
Dieldrin	16,8	16,6	22,2	17,2	14,6	18,7	19,5	16,5
2,4-DDE	6,09	6,04	7,50	5,72	5,40	6,02	6,29	5,96
2,4-DDD	1,07	1,12	1,08	1,06	0,986	1,12	1,20	1,00
2,4-DDT	13,7	14,1	14,0	12,3	11,6	13,0	14,6	13,5
4,4-DDD	1,40	1,44	1,51	1,68	1,46	1,86	1,06	1,19
4,4-DDE	43,2	45,6	53,7	40,5	45,2	48,4	48,0	45,5
4,4-DDT	21,2	21,9	22,5	18,0	18,9	19,9	22,2	21,3

Mirex	<0,220	<0,220	<0,220	<0,220	<0,220	<0,220	<0,220	<0,220
PCB 28	13,8	14,1	24,9	20,9	11,9	7,37	9,64	8,44
PCB 52	11,1	11,4	22,3	11,8	10,5	6,99	8,99	9,16
PCB 101	5,37	6,50	7,92	4,77	5,92	3,84	5,86	5,55
PCB 153	3,73	3,41	4,22	2,96	4,50	3,12	4,22	4,26
PCB 138	3,14	3,67	4,19	2,68	3,58	2,60	3,63	4,24
PCB 180	1,56	1,51	1,50	1,19	1,60	1,20	1,69	3,41

**Tabla 4** Concentración ( $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de dl-PCBs y PCDD/Fs en PUF-PAS durante 2017 y 2018, donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

Compuestos	2017	2018
PCB 77	585	457
PCB 81	38,7	31,0
PCB 126	55,9	68,5
PCB 169	<1,51	8,83
PCB 105	1525	1429
PCB 114	100	88,5
PCB 118	3483	3376
PCB 123	70,4	54,7
PCB 156	336	417
PCB 157	65,6	78,1
PCB 167	185	221
PCB 189	29,5	41,2
2,3,7,8-TCDD	0,907	1,34
1,2,3,7,8-PeCDD	1,38	2,86
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1,24	1,60
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2,41	3,26
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1,51	2,64
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	12,2	13,3

OCDD	44,8	50,6
2,3,7,8-TCDF	16,1	13,3
1,2,3,7,8-PeCDF	9,94	9,52
2,3,4,7,8-PeCDF	11,1	10,6
1,2,3,4,7,8-HxCDF	6,61	6,74
1,2,3,6,7,8-HxCDF	3,31	7,99
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<0,829	1,46
2,3,4,6,7,8-HxCDF	3,9	7,2
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	13,3	14,4
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	2,06	<1,67
2,3,7,8-TCDD	5,49	5,12
<b>Ratio PCDD/PCDF</b>	<b>0,888</b>	<b>0,969</b>

**Tabla 5** Concentración (pg·m<sup>-3</sup>) de PBDEs, PBB 153 e isómeros-HBCDDs en PUF-PAS durante 2017 y 2018, donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

Compuestos	2017-Q1	2017-Q2	2017-Q3	2017-Q4	2018-Q1	2018-Q2	2018-Q3	2018-Q4
BDE-17	0,147	0,116	0,173	0,166	0,246	0,145	0,144	0,109
BDE-28	0,320	0,345	0,342	0,355	0,58	0,40	0,46	0,351
BDE-47	1,22	1,57	1,08	0,93	1,21	3,64	1,50	1,26
BDE-100	0,141	0,167	0,110	0,079	0,177	0,362	0,138	0,157
BDE-99	0,535	0,557	0,469	0,370	0,620	1,28	0,551	0,705
BDE-154	<0,441	<0,441	<0,441	<0,441	1,38	0,501	<0,441	<0,441
BDE-153	<1,38	<1,38	<1,38	<1,38	4,54	1,50	<1,38	<1,38
BDE-183	<2,76	<2,76	<2,76	<2,76	29,8	7,18	<2,76	<2,76
PBB 153	<0,0827	<0,0827	<0,0827	<0,0827	<0,0827	<0,0827	<0,0827	<0,0827
α-HBCDD	3,94	2,61	3,57	3,69	32,4	1,45	2,23	6,52
β-HBCDD	1,10	0,751	0,935	0,738	16,8	<0,0826	<0,0826	2,87
γ-HBCDD	3,66	3,34	3,30	2,34	55,9	1,42	2,09	7,30

**Tabla 6** Concentración de PFASs en la atmosfera de Medellín, Colombia en  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

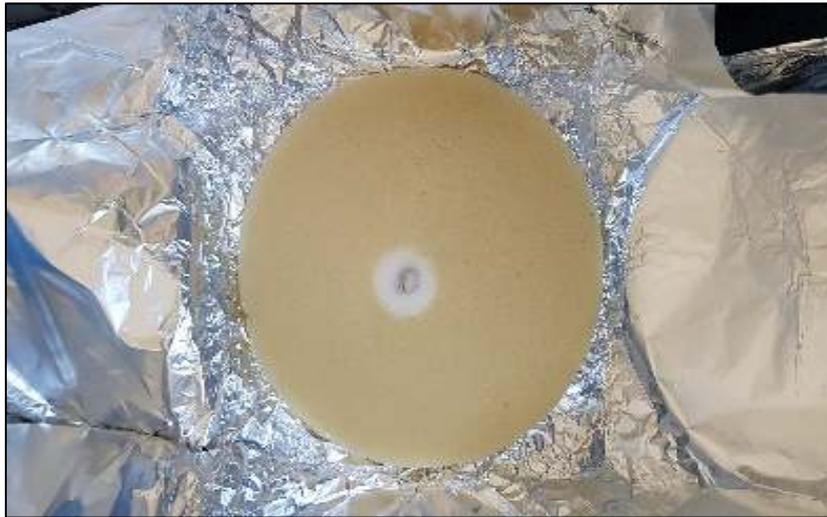
Compuestos	2017 ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	2018 ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ )
I-PFOS	3,01	3,79
br-PFOS	2,29	2,28
Sum-PFOS	5,30	6,07
PFOA	0,667	0,911
PFHxS	0,0262	0,0347
FOSA	0,236	0,103
NMeFOSA	<0,891	<1,19
NEtFOSA	<1,19	<1,55
NMeFOSE	<1,58	<2,10
NEtFOSE	<0,544	<0,725

#### **Análisis y resultados nacionales de las muestras de PUFs**

Los PUFs resguardados nacionalmente (imagen 4 y 5) fueron analizados por el GDCON teniendo en cuenta la capacitación y entrenamiento recibido por parte de los expertos técnicos del proyecto (numeral 4a) y los documentos de apoyo brindados por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) y PNUMA (protocol 2: *Protocol for the Analysis of Polychlorinated Biphenyls (PCB) and Organochlorine Pesticides (OCP) in Human Milk, Air and Human Serum - Procedure for the Analysis of Persistent Organic Pollutants in Environmental and Human Matrices to Implement the Global Monitoring Plan under the Stockholm Convention*).



**Imagen 4** PUFs nacionales



**Imagen 5** PUF completo nacional



**Imagen 6** Trozos de PUF

El análisis de los PUFs se realizó de la siguiente manera:

- Se cortaron las espumas en pequeños trozos con unas tijeras limpias (imagen 6).
- Los trozos de PUFs fueron colocados en el cuerpo de extracción Soxhlet, se adicionó 100  $\mu\text{L}$  del estándar subrogado PCB 209 a  $100 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  y se realizó la extracción Soxhlet con una mezcla de 200 mL de diclorometano y 200 mL de n-hexano durante 24 h (imágenes 7 y 8).



**Imagen 7** Cuerpo de soxhlet con PUF



**Imagen 8** Extracción soxhlet



**Imagen 9** Rotaevaporación del extracto

- El extracto fue rotaevaporado hasta aproximadamente 1 mL (Imagen 9).
- El extracto fue limpiado en columnas de florisil con n-hexano (Imagen 10).



**Imagen 10** Columnas de limpieza de extractos de PUFs

- Finalmente, el extracto recogido en la limpieza de las muestras fue concentrado y reconstituido a 1 mL con 900  $\mu\text{L}$  de n-hexano y 100  $\mu\text{L}$  del estándar interno de tetracloro-m-xileno a 100  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ .
- Las muestras fueron inyectadas en un equipo de cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas de cuadrupolo simple - GC/MS (Agilent Technologies, 7890A/5975C).

Los COPs analizados fueron: plaguicidas organoclorados (Aldrin, Endrin, Dieldrin, Trans-Clordano, Cis-Clordano, 4,4-DDE, 4,4-DDD, 4,4-DDD, Heptacloro, Cis-Heptacloro-Epóxido,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH y  $\delta$ -HCH) y PCBs indicadores (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180). El límite de cuantificación (LC) para todos los COPs analizados nacionalmente fue 1,00 ng·PUF<sup>-1</sup>.

En la **Tabla 7** se presentan los resultados obtenidos nacionalmente en las diferentes campañas de monitoreo entre los años 2017 y 2018 en ng·PUF<sup>-1</sup>, en los casos en que el contaminante no fue cuantificado se presenta <1,00 ng que corresponde al LC por PUF.

Los resultados nacionales son presentados en masa de contaminante sobre PUF, es decir, que los resultados nacionales no fueron transformados a concentraciones en aire (pg·m<sup>-3</sup> o fg·m<sup>-3</sup>). Los valores de la **Tabla 7** corresponden al promedio de los dos (2) PUFs analizados nacionalmente.

**Tabla 7** Resultados nacionales de COPs (OCPs y PCBs ind) en PUFs (ng·PUF<sup>-1</sup>), Colombia.

Compuestos	17-Q1	17-Q2	17-Q3	17-Q4	18-Q1	18-Q2	18-Q3	18-Q4
Aldrin	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Endrin	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Dieldrin	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Suma drines</b>	<b>&lt; 1,00</b>							
Trans-Clordano	4,46	2,76	5,34	2,48	2,43	2,72	3,50	3,23
Cis-Clordano	3,00	1,83	3,45	1,66	1,66	1,89	2,39	2,11
<b>Suma Clordanos</b>	<b>7,45</b>	<b>4,58</b>	<b>8,79</b>	<b>4,14</b>	<b>4,09</b>	<b>4,60</b>	<b>5,89</b>	<b>5,34</b>
4,4-DDE	13,1	8,38	15,3	7,93	10,3	9,41	11,7	9,91
4,4-DDD	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
4,4-DDT	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Suma DDTs</b>	<b>13,1</b>	<b>8,38</b>	<b>15,3</b>	<b>7,93</b>	<b>10,3</b>	<b>9,41</b>	<b>11,7</b>	<b>9,91</b>
Heptacloro	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Cis-Heptacloro Epóxido	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Suma Heptacloros</b>	<b>&lt; 1,0</b>							
$\alpha$ -HCH	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
$\beta$ -HCH	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
$\gamma$ -HCH	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
$\delta$ -HCH	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Suma HCH</b>	<b>&lt; 1,00</b>							
PCB 28	4,10	3,69	13,8	4,09	3,27	2,81	< 1,00	< 1,00
PCB 52	4,25	2,43	10,0	2,87	2,96	2,70	2,49	2,84
PCB 101	1,04	< 1,00	1,90	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
PCB 138	< 1,00	< 1,00	1,06	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
PCB 153	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
PCB 180	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Suma PCB<sub>6</sub></b>	<b>9,39</b>	<b>6,12</b>	<b>26,7</b>	<b>6,95</b>	<b>6,23</b>	<b>5,51</b>	<b>2,49</b>	<b>2,84</b>
PCB 118	1,12	< 1,00	1,75	< 1,00	< 1,00	< 1,00	1,07	1,14

\*El número arábigo (17 y 18) corresponde al año de monitoreo de la campaña (2017 y 2018),

**Suma Drines:** Suma de Aldrin, Endrín y Dieldrin, **Suma Clordanos:** Suma de Cis-Clordano y Trans-Clordano, **Suma DDT-isómeros:** Suma de 4,4-DDT, 4,4-DDE y 4,4-DDD, **Suma Heptacloros:** Suma de Heptacloro y Cis-Heptacloro Epóxido, **Suma HCH:** Suma de  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH y  $\delta$ -HCH, **Suma PCB<sub>6</sub>:** Suma de PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153 y PCB 189.

El plaguicida organoclorado que se encontró en mayor concentración en todas las campañas de monitoreo fue el 4,4-DDE con una concentración máxima de 15,3 ng·PUF<sup>-1</sup> en el tercer trimestre del año 2017 y una concentración mínima de 7,93 ng·PUF<sup>-1</sup> en el cuarto trimestre del 2017 (**Tabla 7**).

Es importante mencionar que en Colombia desde hace más de 20 años está prohibido usar, vender e importar plaguicidas organoclorados como el DDT y clordano, por lo cual, los niveles de estos contaminantes en el aire de Medellín podrían estar más relacionados con el transporte global.

Adicionalmente, el PCB indicador que se encontró en mayor concentración fue el PCB 28 en el tercer trimestre del 2017 con una concentración de 13,8 ng·PUF<sup>-1</sup>. Los congéneres de PCBs indicadores cuantificados a través de las campañas de monitoreo fueron los de menor cloración y más volátiles (PCB 28 y 52); los PCBs altamente clorados (PCB 138, 153 y 180) no fueron cuantificados en ninguna de las campañas de monitoreo por el laboratorio nacional a excepción del PCB 138 que fue cuantificado en el tercer trimestre del 2017.

#### ***Comparación de resultados nacionales y laboratorios de referencia (muestras espejos)***

Se compararon los resultados obtenidos nacionalmente con los resultados emitidos por los laboratorios de referencia en ng·PUF<sup>-1</sup> por campaña de monitoreo y se calculó el error del valor reportado por el laboratorio nacional (Grupo Diagnostico y Control de la Contaminación – GDCON, Universidad de Antioquia).

La **Ecuación 1** fue utilizada para el cálculo del error de las muestras espejo:

$$\%E = \frac{x \text{ ng}_{\text{nacional}} - x \text{ ng}_{\text{referencia}}}{x \text{ ng}_{\text{referencia}}} \times 100 \% \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,  $x \text{ ng}_{\text{nacional}}$  corresponde a los ng por PUF reportados por el laboratorio nacional.  
 $x \text{ ng}_{\text{referencia}}$ , corresponde a los ng por PUF reportados por el laboratorio de referencia.

En la **Tabla 8**, se presentan los valores emitidos por el laboratorio de referencia y el error calculado teniendo en cuenta los resultados nacionales presentados en la **Tabla 7**. Solo se presentan los resultados para los contaminantes dentro del alcance del laboratorio nacional.

Al comparar los resultados obtenidos por el laboratorio nacional y los laboratorios de referencia presentados en la **Tabla 8**, se analizan tres escenarios.

El primer escenario corresponde a los resultados de %E denotados con la sigla N/A (no aplica), que son los resultados emitidos por el laboratorio nacional como <1,00 ng·PUF<sup>-1</sup> (límite de cuantificación nacional) y que coinciden con los resultados emitidos por los laboratorios de referencia; ya sea, porque el laboratorio de referencia cuantificó un valor inferior o se reportó inferior al límite de cuantificación. En este escenario, estuvieron el 40,1 % (65/162) de los resultados emitidos por el laboratorio nacional y se considera que dichos resultados fueron adecuados. También, es importante denotar que no se evidenciaron falsos positivos en los resultados emitidos por el laboratorio nacional.

El segundo escenario corresponde a los resultados de %E denotados con la sigla N/R (no reporta), que son los resultados emitidos por el laboratorio nacional como  $<1,00 \text{ ng}\cdot\text{PUF}^{-1}$  (límite de cuantificación nacional) y que no coinciden con los resultados emitidos por los laboratorios de referencia, dado que el laboratorio de referencia cuantificó un valor superior o igual a  $1,00 \text{ ng}\cdot\text{PUF}^{-1}$ . En este escenario, estuvieron el 32,7 % (53/162) de los resultados emitidos por el laboratorio nacional y se considera que dichos resultados no fueron adecuados, ya que corresponden a falsos negativos. En muchos casos, los falsos negativos ocurrieron porque el valor cuantificado por el laboratorio de referencia se encontraba alrededor de  $1,00 \text{ ng}\cdot\text{PUF}^{-1}$ , es decir, en el límite de cuantificación del laboratorio nacional, sin embargo, lo anterior no aplica para el dieldrin, DDT y  $\gamma$ -HCH. Para estos tres contaminantes, el laboratorio nacional debe mejorar la selectividad y cuantificación con el fin de evitar los falsos negativos en el futuro.

El tercer escenario corresponde a los resultados de %E con un valor calculado con la **Ecuación 1**. 27,2 % (44/162) de los resultados estuvieron en este escenario. El rango de %E estuvo entre 0 % (PCB 52, 2017-Q1 y Cis-Clordano, 2018-Q3) y 106 % (PCB 28, 2017-Q3). Regularmente, en la literatura son aceptados %E del 20-30 % cuando se compara frente a un material de referencia, sin embargo, es importante mencionar que los PUFs analizados por los laboratorios de referencia y nacionales no fueron los mismos, es decir, que fueron dos muestras independientes que estuvieron expuestas en el mismo periodo de tiempo y bajo las mismas condiciones, por consiguiente un %E del 50 % es considerado adecuado en este caso, ya que pueden existir diferencias en la concentración de los contaminantes entre los PUFs dado el diseño experimental utilizado.

Con base en lo anterior, se encontró que el 97,7 % de los %E calculados estuvieron entre 0 y 50 % que son adecuados teniendo en cuenta la escala (ng) y los errores asociados al diseño de la comparación discutidos anteriormente.

Teniendo en cuenta lo anterior, se concluye que el desempeño del laboratorio nacional es adecuado debido al porcentaje de falsos positivos reportados (0 %) y los %E calculados al comparar los PUFs analizados por el laboratorio nacional y los laboratorios de referencia. El porcentaje de concordancia fue del 66,6 % (108/162). Sin embargo, es importante mencionar que el laboratorio nacional debe mejorar la sensibilidad y límites de cuantificación de algunos contaminantes, por ejemplo, los PCBs para evitar los falsos negativos, además, es fundamental corregir la selectividad y cuantificación del Dieldrin, DDT y  $\gamma$ -HCH, para mejorar los resultados en que no hubo concordancia (33,3 %, 54/162), ya que existen errores  $> 50\%$  en la cuantificación de estos contaminantes por el laboratorio nacional. Finalmente, es importante mencionar que gracias al GMP2 la capacidad analítica de COPs en el país se fortaleció dado que antes el país no contaba con un laboratorio a nivel nacional que tuviera la capacidad de determinar y cuantificar plaguicidas organoclorados y PCBs indicadores en espumas de aire utilizadas en el monitoreo de aire pasivo de COPs, además, dicha capacidad puede ser aumentada a otro tipo de contaminantes dada la experiencia adquirida del laboratorio nacional en este tipo de análisis.

**Tabla 8** Comparación de los resultados nacionales y laboratorios de referencia (ng·PUF<sup>-1</sup>). **LN:** Resultados del laboratorio nacional, **LR:** Resultados del laboratorio de referencia, **N/A:** No aplica, **N/R:** No reporta valor el laboratorio nacional; reporta <1,00 ng·PUF<sup>-1</sup>, **%E:** Porcentaje de error.

<b>Año 2017</b>												
<b>Compuestos</b>	<b>Q1 LN</b>	<b>Q1 LR</b>	<b>%E</b>	<b>Q2 LN</b>	<b>Q2 LR</b>	<b>%E</b>	<b>Q3 LN</b>	<b>Q3 LR</b>	<b>%E</b>	<b>Q4 LN</b>	<b>Q4 LR</b>	<b>%E</b>
Aldrin	< 1,00	0,560	N/A	< 1,00	0,560	N/A	< 1,00	0,500	N/A	< 1,00	0,370	N/A
Endrin	< 1,00	<0,400	N/A									
Dieldrin	< 1,00	5,50	N/R	< 1,00	5,50	N/R	< 1,00	7,40	N/R	< 1,00	6,00	N/R
Trans-Clordano	4,46	4,20	<b>7,14</b>	2,76	4,30	<b>-34,9</b>	5,34	5,50	<b>-3,64</b>	2,48	4,30	<b>-41,9</b>
Cis-Clordano	3,00	2,00	<b>50,0</b>	1,83	2,10	<b>-14,3</b>	3,45	2,60	<b>30,8</b>	1,66	1,90	<b>-10,5</b>
4,4-DDE	13,1	15,0	<b>-12,7</b>	8,38	16,0	<b>-47,5</b>	15,3	19,0	<b>-19,5</b>	7,93	15,0	<b>-47,3</b>
4,4-DDD	< 1,00	0,490	N/A	< 1,00	0,500	N/A	< 1,00	0,500	N/A	< 1,00	0,600	N/A
4,4-DDT	< 1,00	7,40	N/R	< 1,00	7,70	N/R	< 1,00	8,00	N/R	< 1,00	6,70	N/R
Heptacloro	< 1,00	1,60	N/R	< 1,00	1,70	N/R	< 1,00	1,90	N/R	< 1,00	1,40	N/R
Cis-Heptacloro epóxido	< 1,00	<0,400	N/A									
α-HCH	< 1,00	0,280	N/A	< 1,00	0,300	N/A	< 1,00	0,500	N/A	< 1,00	0,400	N/A
β-HCH	< 1,00	<0,200	N/A									
γ-HCH	< 1,00	14,0	N/R	< 1,00	15,0	N/R	< 1,00	11,0	N/R	< 1,00	10,0	N/R
δ-HCH	< 1,00	<0,200	N/A									
PCB 28	4,10	3,70	<b>10,8</b>	3,69	3,80	<b>-2,63</b>	13,8	6,70	<b>106</b>	4,09	5,90	<b>-30,5</b>
PCB 52	4,25	3,30	<b>30,3</b>	2,43	3,40	<b>-29,4</b>	10,0	6,70	<b>49,3</b>	2,87	3,70	<b>-21,6</b>
PCB 101	1,04	1,80	<b>-44,4</b>	< 1,00	2,20	N/R	1,90	2,70	<b>-29,6</b>	< 1,00	1,70	N/R
PCB 138	< 1,00	1,30	N/R	< 1,00	1,20	N/R	1,06	1,50	<b>-26,7</b>	< 1,00	1,10	N/R
PCB 153	< 1,00	1,10	N/R	< 1,00	1,30	N/R	< 1,00	1,50	N/R	< 1,00	1,00	N/R
PCB 180	< 1,00	0,550	N/A	< 1,00	0,540	N/A	< 1,00	0,540	N/A	< 1,00	0,450	N/A
<b>Año 2018</b>												
<b>Compuestos</b>	<b>Q1 LN</b>	<b>Q1 LR</b>	<b>%E</b>	<b>Q2 LN</b>	<b>Q2 LR</b>	<b>%E</b>	<b>Q3 LN</b>	<b>Q3 LR</b>	<b>%E</b>	<b>Q4 LN</b>	<b>Q4 LR</b>	<b>%E</b>
Aldrin	< 1,00	0,270	N/A	< 1,00	0,360	N/A	< 1,00	0,360	N/A	< 1,00	0,360	N/A
Endrin	< 1,00	<0,400	N/A									
Dieldrin	< 1,00	4,60	N/R	< 1,00	6,20	N/R	< 1,00	6,50	N/R	< 1,00	5,80	N/R
Trans-Clordano	2,43	3,40	<b>-29,4</b>	2,72	4,30	<b>-37,2</b>	3,50	4,30	<b>-18,6</b>	3,23	4,30	<b>-25,6</b>
Cis-Clordano	1,66	2,20	<b>-22,7</b>	1,89	2,30	<b>-17,4</b>	2,39	2,40	<b>0,00</b>	2,11	2,30	<b>-8,70</b>
4,4-DDE	10,3	15,0	<b>-31,3</b>	9,41	17,0	<b>-44,7</b>	11,7	17,0	<b>-31,2</b>	9,91	17,0	<b>-41,8</b>
4,4-DDD	< 1,00	0,490	N/A	< 1,00	0,70	N/A	< 1,00	0,40	N/A	< 1,00	0,500	N/A
4,4-DDT	< 1,00	6,30	N/R	< 1,00	7,00	N/R	< 1,00	7,90	N/R	< 1,00	8,00	N/R
Heptacloro	< 1,00	1,10	N/R	< 1,00	1,30	N/R	< 1,00	1,40	N/R	< 1,00	1,40	N/R

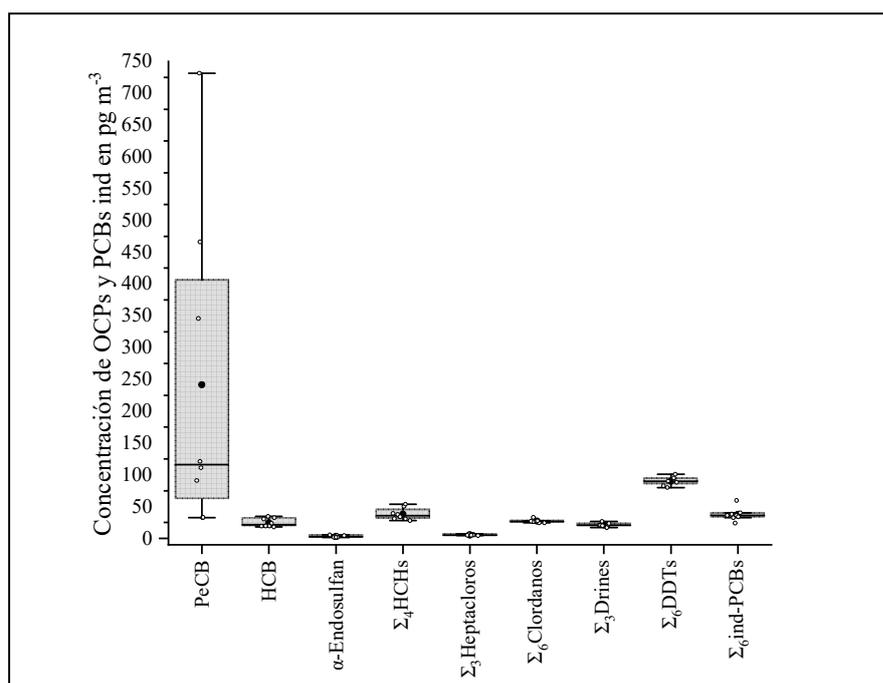
Cis-Heptacloro epóxido	< 1,00	<0,400	N/A	< 1,00	<0,400	N/A	< 1,00	<0,400	N/A	< 1,00	<0,400	N/A
α-HCH	< 1,00	0,280	N/A	< 1,00	<0,200	N/A	< 1,00	0,200	N/A	< 1,00	<0,200	N/A
β-HCH	< 1,00	<0,200	N/A	< 1,00	<0,200	N/A	< 1,00	<0,200	N/A	< 1,00	<0,200	N/A
γ-HCH	< 1,00	7,30	N/R	< 1,00	8,70	N/R	< 1,00	9,30	N/R	< 1,00	9,10	N/R
δ-HCH	< 1,00	<0,200	N/A	< 1,00	<0,200	N/A	< 1,00	<0,200	N/A	< 1,00	<0,200	N/A
PCB 28	3,27	3,10	<b>6,45</b>	2,81	2,00	<b>40,0</b>	< 1,00	2,60	N/A	< 1,00	2,40	N/A
PCB 52	2,96	3,00	<b>0,00</b>	2,70	2,10	<b>28,6</b>	2,49	2,70	<b>-7,41</b>	2,84	2,90	<b>-3,50</b>
PCB 101	< 1,00	1,90	N/R	< 1,00	1,30	N/R	< 1,00	2,00	N/R	< 1,00	2,00	N/R
PCB 138	< 1,00	1,50	N/R	< 1,00	1,10	N/R	< 1,00	1,50	N/R	< 1,00	1,60	N/R
PCB 153	< 1,00	1,20	N/R	< 1,00	0,920	N/A	< 1,00	1,30	N/R	< 1,00	1,60	N/R
PCB 180	< 1,00	0,540	N/A	< 1,00	0,430	N/A	< 1,00	0,610	N/A	< 1,00	1,30	N/R
PCB 118	<b>2017</b> <b>LN:</b> <b>4,87</b>	<b>2017</b> <b>LR:</b> <b>4,93</b>	<b>-1,22</b>	<b>2018</b> <b>LN:</b> <b>4,21</b>	<b>2018</b> <b>LR:</b> <b>4,75</b>	<b>-11.4</b>	El %E del PCB 118 se calculó sumando los 4 resultados obtenidos por año del laboratorio nacional, En los casos en que se reportó <1,00 ng, se consideró que había 1,00 ng de PCB 118 ( <i>upper bound</i> , <1,00 ng = 1,00 ng),					

### *Análisis de tendencias - establecimiento de una línea base de COPs en el aire de Medellín, Colombia.*

No fue posible realizar un análisis de tendencias utilizando la prueba estadística de Mann-Kendall debido a que el periodo de monitoreo (2 años) no es un tiempo suficiente. Además, no hay antecedentes de concentraciones de COPs en la atmósfera de Medellín, Colombia que puedan ser utilizados para dicha prueba. Por consiguiente, en el presente apartado se establece la línea base de concentración de algunos COPs en el aire de Medellín sobre la cual podrán ser evaluadas las tendencias en el futuro. El análisis se realizó con los resultados emitidos por los laboratorios de referencia en  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$  o  $\text{fg}\cdot\text{m}^{-3}$ , presentados en la **Tabla 3**, **Tabla 4**, **Tabla 5** y **Tabla 6**.

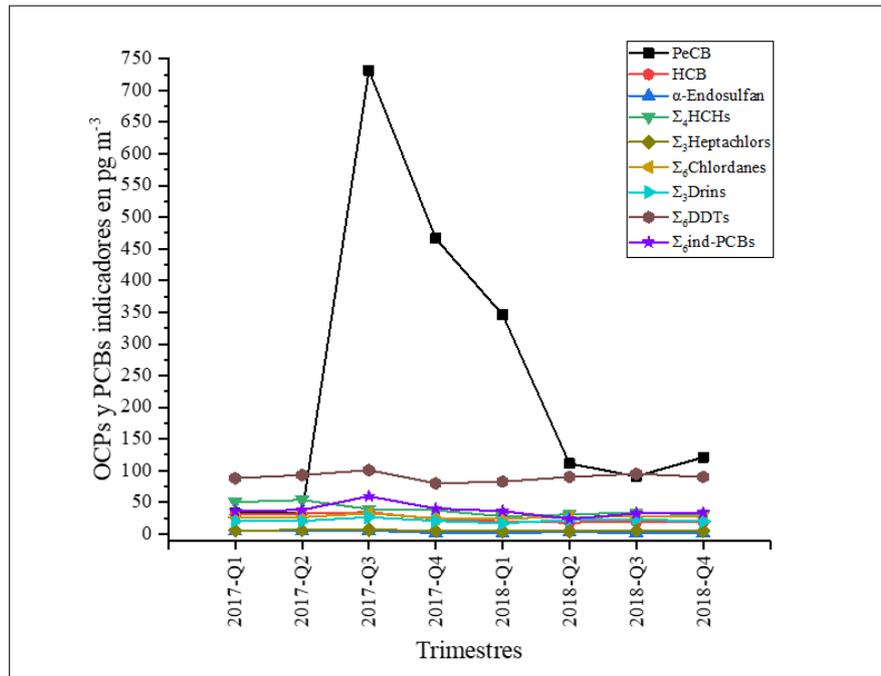
#### **Plaguicidas organoclorados (OCPs) y PCBs indicadores**

Veinte y ocho (28) OCPs y seis (6) PCBs indicadores fueron monitoreados en el aire de Medellín, Colombia durante el 2017 y 2018 (**Tabla 3**). El pentaclorobenceno (PeCB) presentó los valores más altos de estos compuestos clorados. Los valores del PeCB estuvieron entre 32,3 y 732  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ . En la **Figura 1** se observa la alta variabilidad de este compuesto respecto a los demás contaminantes, por consiguiente, para establecer la línea base de concentración del PeCB se requieren más datos en el tiempo con el fin de determinar si la variabilidad correspondió a la naturaleza propia del contaminante o a alguna fuente puntual de contaminación.



**Figura 1** Concentración en aire de OCPs y PCBs indicadores ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) durante el 2017 y 2018. Grafica de caja de bigotes; el círculo negro indica el promedio de la concentración y la línea negra sólida indica la mediana.  $\Sigma_4\text{HCHs}$  indica la suma de todos los isómeros de HCH ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ );  $\Sigma_3\text{Heptacloros}$  indica la suma de Heptacloro, Cis-Heptacloro Epoxido, y Trans-Heptacloro Epoxido;  $\Sigma_6\text{Clordanos}$  indica la suma de Oxiclordano, Trans-Clordano, Cis-Clordano, Trans-Nonacloro, Cis-Nonacloro, y Clordecona;  $\Sigma_3\text{Drines}$  indica la suma de Aldrin, Dieldrin, y Endrin;  $\Sigma_6\text{DDTs}$  indica la suma de todos los isómeros de DDT, DDE, y DDD; y  $\Sigma_6\text{ind-PCBs}$  indica la suma de PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153, y PCB 180. Donde un analito no fue cuantificado,  $\frac{1}{2}$  LC fue agregado.

La concentración del PeCB incremento en el trimestre 2017-Q3 (**Figura 2**). En los trimestres posteriores se observó una disminución y tendencia a estabilizarse alrededor de  $\sim 121 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Es necesario evaluar en el futuro si dicho incremento en el 2017-Q3 correspondió a un impacto directo de una fuente local puntual en el sitio de muestreo comparando el sitio actual de muestreo con otras mediciones realizadas en diferentes zonas de la ciudad.



**Figura 2** Concentraciones en aire ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de OCPs y PCBs indicadores por trimestre durante el 2017 y 2018.

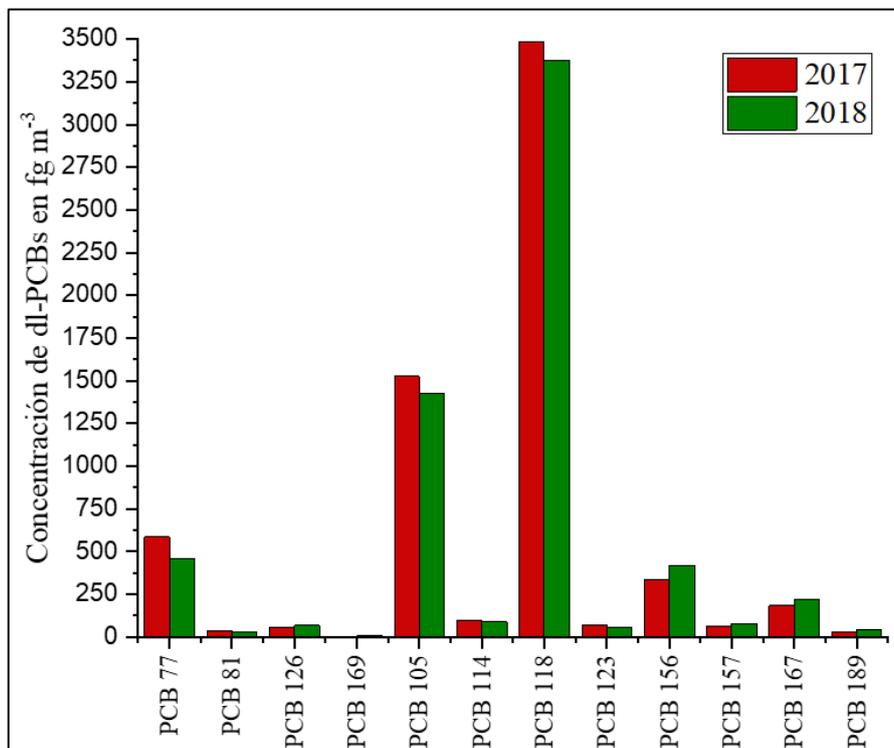
También, las concentraciones en el aire de los isómeros de DDT, DDE y DDD tendieron a ser constantes (presentaron baja variabilidad) durante el tiempo de monitoreo (**Figura 1**, **Figura 2**). El rango de concentración en aire de los isómeros de DDT expresados como la  $\Sigma_6$ DDTs fue  $79,8\text{-}101 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; siendo el 4,4-DDE el isómero con los niveles más altos en esta familia ( $40,5\text{-}53,7 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , **Tabla 3**). Asimismo, otros OCPs, como el Dieldrín ( $14,6\text{-}22,2 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), Trans-Clordano ( $10,8\text{-}16,5 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), Cis-Clordano ( $5,41\text{-}7,75 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), Trans-Nonacloro ( $6,74\text{-}7,77 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), Heptacloro ( $5,15\text{-}8,76 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) y PCBs indicadores penta, hexa y hepta-clorados (PCB 101,  $3,84\text{-}7,92 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , PCB 153,  $2,96\text{-}4,50 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , PCB 138,  $2,60\text{-}4,24 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  y PCB 180,  $1,19\text{-}3,41 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) tuvieron baja variabilidad en la atmósfera de Medellín, Colombia. Estos resultados confirman la gran persistencia de estos compuestos y las concentraciones encontradas podrían estar asociadas con el transporte global y los niveles de *background* de estos contaminantes en el medio ambiente.

En contraste con lo presentado anteriormente, se observaron ligeras disminuciones de HCB ( $17,9\text{-}34,4 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $\alpha$ ,  $\gamma$ -HCH-isómeros ( $<0,933\text{-}2,13 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  y  $30,6\text{-}60,9 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ , respectivamente), Aldrin ( $1,02\text{-}2,05 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) y  $\alpha$ -Endosulfán ( $<3,10\text{-}5,29 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Finalmente, los otros OCPs en algunos periodos de monitoreo no se detectaron en absoluto (Cis, Trans-Heptacloro-Epóxido,  $\beta$ -Endosulfán, Endosulfán Sulfato,  $\beta$ ,  $\delta$ -HCH-isómeros, Oxiclordano, Cis-Nonacloro, Clordecona, Endrin y Mirex).

### Bifenilos policlorados similares a las dioxinas (dl-PCBs), dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDDs) y dibenzofuranos policlorados (PCDFs)

Debido a las bajas concentraciones de estos contaminantes en la atmósfera, los PUFs fueron combinados por año por el laboratorio de referencia. El total del contaminante reportado por el laboratorio de referencia fue dividido por la cantidad de PUFs combinados por año (4 PUFs) y de esta manera se obtuvo un valor medio de la concentración de dl-PCBs y PCDD/Fs por año.

Las concentraciones de dl-PCBs observadas durante los dos años de monitoreo se presentan en la **Figura 3** y **Tabla 4**. Los congéneres de dl-PCBs con las concentraciones más altas fueron el PCB 118 (3483 fg·m<sup>-3</sup>), PCB 105 (1525 fg·m<sup>-3</sup>) y PCB 77 (585 fg·m<sup>-3</sup>), respectivamente. Las concentraciones en el aire del PCB 77, PCB 81, PCB 105, PCB 114, PCB 118, PCB 123 fueron ligeramente más altas en el año 2017 que en 2018. Por el contrario, las concentraciones en el aire del PCB 126, PCB 169, PCB 156, PCB 157, PCB 167 y PCB 189 fueron mayores en el año 2018 (**Figura 3**).

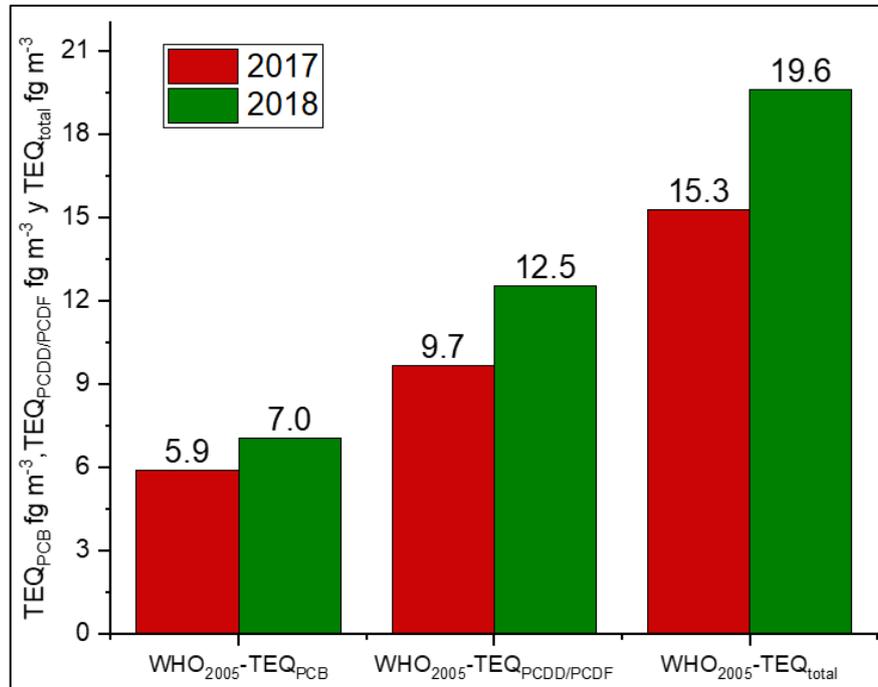


**Figura 3** Concentraciones en aire de dl-PCBs en fg·m<sup>-3</sup> en el año 2017 (rojo) y 2018 (verde) en Medellín, Colombia.

Las concentraciones de  $\Sigma$ dl-PCB en el aire fueron 6480 fg·m<sup>-3</sup> en 2017 y 6270 fg·m<sup>-3</sup> en 2018; los equivalentes toxicológicos (TEQ) de los dl-PCBs fueron 5,88 fgWHO<sub>2005</sub>-TEQ·m<sup>-3</sup> en 2017 y 7,05 fgWHO<sub>2005</sub>-TEQ·m<sup>-3</sup> en 2018 (**Figura 4**).

El sitio de muestreo tuvo influencia vehicular y estuvo cerca del centro de la ciudad, por lo que se esperaban obtener valores comparables a otros sitios urbanos de Colombia. Cortés et al., 2016 reportó concentraciones de dl-PCB en el rango de 4599 a 8744 fg·m<sup>-3</sup> y de 3,5 a 3,7 fgWHO<sub>2005</sub>-TEQ·m<sup>-3</sup> en áreas industriales de la ciudad de Manizales, mientras que valores en torno a 4388 fg·m<sup>-3</sup> y 9,2 fgWHO<sub>2005</sub>-TEQ·m<sup>-3</sup> en áreas de influencia vehicular de Bogotá. Por otra parte, los resultados del monitoreo realizado en el marco del proyecto GMP2 están en la misma escala de

magnitud que otras concentraciones reportadas en la región del GRULAC. Lo anterior, sugiere que las concentraciones de dl-PCB en el aire de Medellín corresponden a liberaciones típicas no intencionales para zonas urbanas y están en el mismo orden de magnitud a lo reportado anteriormente en el país y en otros lugares del mundo en zonas con características similares.



**Figura 4** Total TEQ-WHO<sub>2005</sub> dl-PCBs y PCDDs/PCDFs

Las concentraciones de PCDD/Fs en el aire monitoreadas durante el 2017 y 2018 se presentan en la **Figura 5**. Las concentraciones más altas de PCDD y PCDF fueron 44,8 fg·m<sup>-3</sup> (OCDD) y 16,1 fg·m<sup>-3</sup> (2,3,7,8-TCDF) en 2017, y 50,6 fg·m<sup>-3</sup> (OCDD) y 14,4 fg·m<sup>-3</sup> (1,2,3,4,6,7,8-HpCDF) en 2018, respectivamente; mientras que las concentraciones más bajas fueron 0,907 fg·m<sup>-3</sup> (2,3,7,8-TCDD) y <0,829 fg·m<sup>-3</sup> (1,2,3,7,8,9-HxCDF) en 2017 y 1,34 fg·m<sup>-3</sup> (2,3,7,8-TCDD) y 1,46 fg·m<sup>-3</sup> (1,2,3,7,8,9-HxCDF) en 2018. Otros estudios han sugerido variaciones estacionales para los niveles de PCDD/Fs en aire, sin embargo, los períodos de muestreo de un año del presente reporte incluyen todos los meses del año, por lo que no se analizan variaciones estacionales.

Los valores de TEQ para PCDD/Fs fueron 9,66 fgWHO<sub>2005</sub>-TEQ·m<sup>-3</sup> en 2017 y 12,5 fgWHO<sub>2005</sub>-TEQ·m<sup>-3</sup> en 2018 y los valores totales de TEQ (suma de dl-PCBs y PCDD/Fs) fueron 15,3 fgWHO<sub>2005</sub>-TEQ·m<sup>-3</sup> en 2017 y 19,6 fgWHO<sub>2005</sub>-TEQ·m<sup>-3</sup> en 2018 (**Figura 4**). Estos resultados son similares a los reportados previamente en áreas urbanas de Manizales y Bogotá por Aristizábal et al., 2011 y Cortés et al., 2016.

Además, las concentraciones en el aire de ΣPCDD/Fs fueron 137 y 153 fg·m<sup>-3</sup> en 2017 y 2018, respectivamente. Estos valores están entre 100 y 1000 fg·m<sup>-3</sup> que son concentraciones típicas de ΣPCDD/Fs para áreas urbanas e industriales.

Finalmente, se calculó la relación de PCDD/Fs para los dos años de monitoreo. La relación de PCDD/Fs fue 0,888 y 0,969 en 2017 y 2018, respectivamente. Estos resultados indican una alta contribución de congéneres de PCDF y según Buekens et al., 2000, este patrón posiblemente se

deba a emisiones provenientes de hornos de acero y hierro. Este mismo patrón de congéneres ha sido reportado anteriormente en la ciudad de Manizales, en áreas influenciadas por industrias de la metalurgia, la alimentación y el plástico. Lo anterior, sugiere que las concentraciones de PCDD/Fs en el aire de Medellín provienen de fuentes locales de las industrias que utilizan hornos de acero y hierro en sus procesos en vez del transporte global de estos contaminantes.

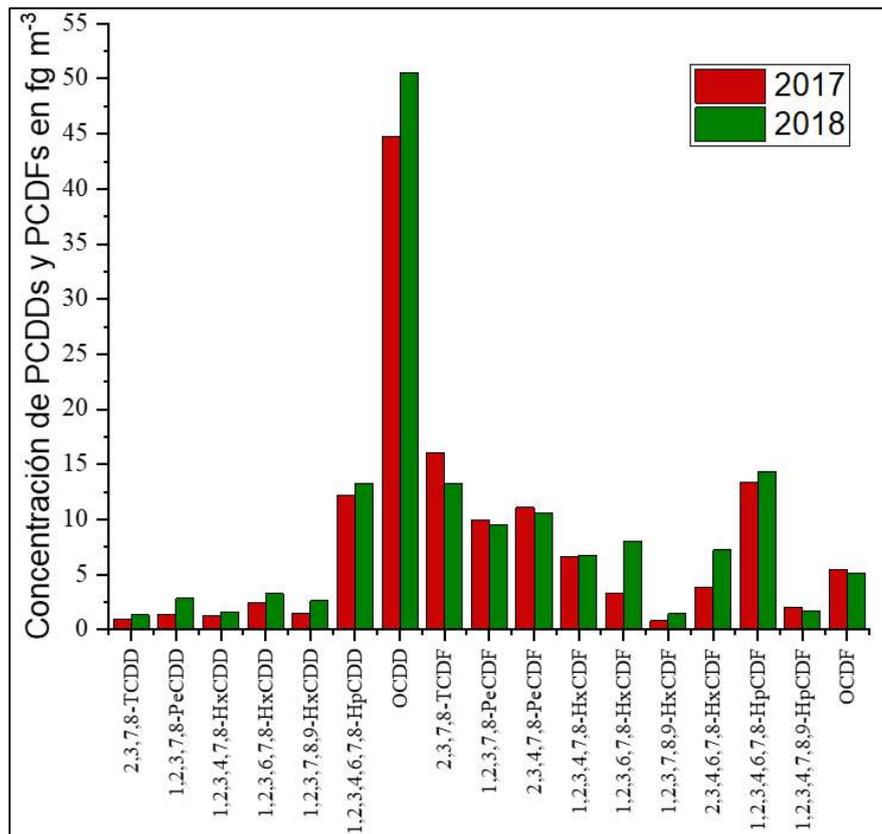


Figura 5 Concentraciones en aire de PCDD/Fs en fg·m<sup>-3</sup> en el año 2017 (rojo) y 2018 (verde) en Medellín, Colombia.

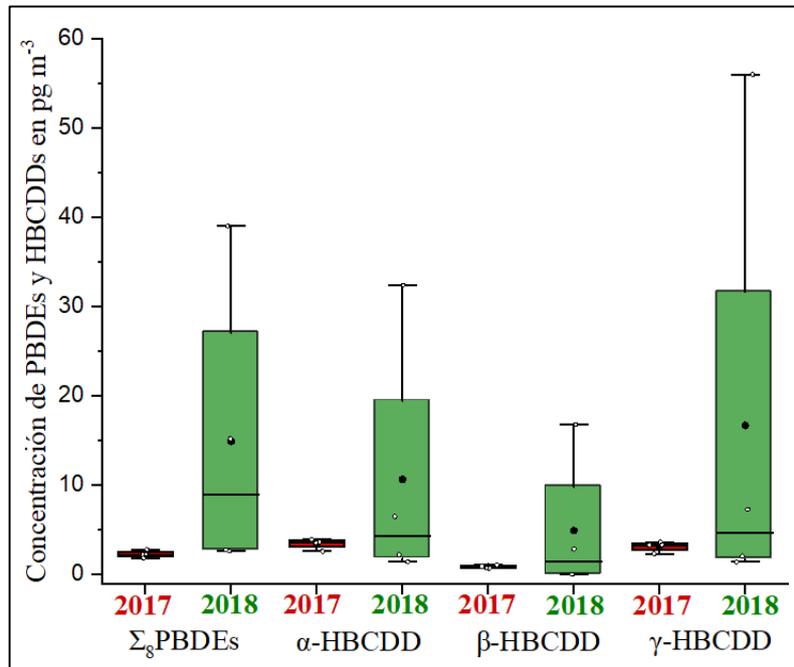
### Difenil éter polibromados (PBDEs), hexabromociclododecano (HBCDDs) y bifenilo polibromado (PBB 153)

Las concentraciones atmosféricas de PBDE e isómeros de HBCDDs fueron más altas en el año 2018 con respecto al 2017 (Figura 6), principalmente debido al incremento observado en el trimestre 2018-Q1 (Figura 7).

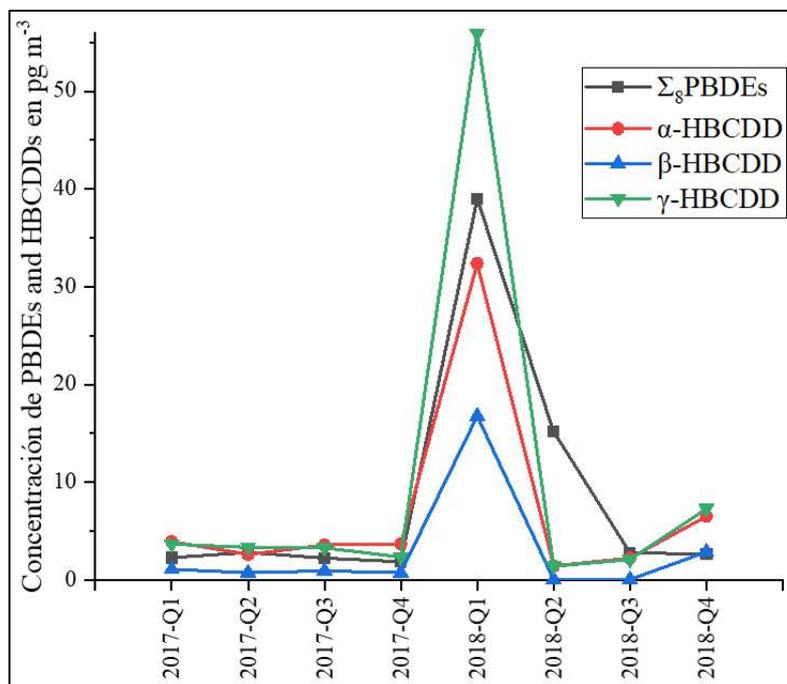
Los principales congéneres de PBDEs liberados en el trimestre 2018-Q1 fueron el BDE 183 (29,8 pg·m<sup>-3</sup>) y BDE 153 (4,54 pg·m<sup>-3</sup>), respectivamente. Asimismo, el isómero  $\gamma$ -HBCDD fue el que se cuantificó en mayor concentración en el trimestre 2018-Q1 (55,9 pg·m<sup>-3</sup>), seguido del  $\alpha$ -HBCDD (32,4 pg·m<sup>-3</sup>) y  $\beta$ -HBCDD (16,8 pg·m<sup>-3</sup>), respectivamente (Tabla 5).

Los PBDEs se agregan comúnmente a plásticos para productos electrónicos (cables y placas de circuito impreso), materiales de construcción, muebles, espumas, textiles y partes de automóviles, debido a sus efectos como retardantes de llama. También, los PBDEs no reaccionan con los componentes poliméricos y pueden lixivarse de un polímero a lo largo de su ciclo de vida. Además,

los HBCDDs se aplican ampliamente en poliestireno, espumas para aislamiento térmico de edificios en textiles de tapicería y revestimiento posterior de telas para muebles, entre otras aplicaciones.



**Figura 6** Concentraciones en aire de PBDEs e isómeros-HBCDDs en  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$  durante el 2017 (rojo) y 2018 (verde). Gráfica de caja de bigotes; el círculo negro indica el promedio de la concentración y la línea negra sólida indica la mediana. La  $\Sigma_8\text{PBDEs}$  indica la suma de BDE-17, BDE-28, BDE-47, BDE-100, BDE-99, BDE-154, BDE-153 y BDE-183. Donde un analito no fue cuantificado,  $\frac{1}{2}$  LC fue agregado.



**Figura 7** Concentración en aire de PBDEs y HBCDDs en aire ( $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) por trimestre durante el 2017 y 2018.

Con base en lo anterior, existen tres etapas de liberación potenciales en el ciclo de vida de los PBDEs y HBCDDs, específicamente, durante su fabricación, uso y gestión final. También, las concentraciones de PBDEs y HBCDDs en el aire se han asociado con el material particulado debido a su capacidad para adsorberse en estos materiales (Kajiwara y Takigami, 2016; Li et al., 2015; Yang et al., 2013). En el primer trimestre del 2018 en la ciudad de Medellín se decretó un índice de calidad del aire rojo por parte de la autoridad ambiental local, lo que indicó altos niveles de material particulado en este periodo de tiempo. Esto podría explicar la alta variabilidad de la concentración de PBDEs y HBCDDs en el aire. Lo anterior debe confirmarse en futuras mediciones de PBDEs y HBCDDs en la atmósfera de Medellín, Colombia.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con otras investigaciones de Colombia y la región GRULAC, los resultados encontrados para PBDEs se encuentran en el mismo orden en magnitud; sin embargo, preocupa el incremento observado de estos contaminantes bromados, especialmente de los HBCDDs en el 2018, en este sentido es necesario continuar monitoreando estos contaminantes y procurar localizar las posibles fuentes de emisión para mitigar y eliminar dichas liberaciones a la atmosfera.

Finalmente, el PBB 153 fue monitoreado en 2017 y 2018 pero no fue detectado, siendo los niveles en el aire  $<0,0830 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  en todos los casos.

### **Compuestos per y polifluoroalquilados (PFASs)**

Debido a las bajas concentraciones de estos contaminantes en la atmosfera, los PUFs fueron combinados por año (2017-4 PUFs y 2018-3 PUFs) por el laboratorio de referencia. El total de PFASs en los PUFs reportado por el laboratorio de referencia fue dividido por la cantidad de PUFs combinado por año y de esta manera se obtuvo un valor medio de la concentración de PFASs, en la **Tabla 6** se presentan los resultados en  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

La concentración de  $\Sigma$ PFOS (ácido perfluorooctanosulfónico lineal y ramificado) fue de  $5,30 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  en 2017 y de  $6,07 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  en 2018; el ácido perfluorooctanoico (PFOA) fue de  $0,667 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  en 2017 y  $0,911 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  en 2018; el ácido perfluorohexanosulfónico (PFHxS) fue  $0,0262 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  en 2017 y  $0,0347 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  y la perfluorooctano sulfonamida (FOSA) fue  $0,236 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  en 2017 y  $0,103 \text{ pg}\cdot\text{m}^{-3}$  en 2018; el resto de PFAS no fueron detectados en ninguna de las campañas monitoreadas (N-metilperfluorooctanosulfonamida (NMeFOSA), N-etilperfluorooctanosulfonamida (NEtFOSA), N-metilperfluorooctanosulfonamidoetanol (NMeFOSE), N-etilperfluorooctanosulfonamida) (N-etilperfluorooctanosulfonamosa). Las concentraciones en el aire de PFOS y PFOA fueron ligeramente superiores en 2018 con respecto al 2017. La red GAPS anteriormente informó una tendencia similar entre 2009 y 2015 para estos contaminantes.

La concentración de PFOS en la atmosfera de Medellín, Colombia está en el mismo orden de magnitud según los reportado por Rauert et al., 2018 para la región GRULAC. Finalmente, las concentraciones de aire de FOSA y FOSE en este estudio fueron más bajas que las reportadas previamente en la región del GRULAC y el país.

### **Comentarios generales**

En términos generales los resultados obtenidos estuvieron en el mismo orden de magnitud que otros estudios realizados en Colombia y América Latina. De igual modo, los resultados permitieron establecer una línea base de concentración para algunos COPs en la atmosfera de Medellín. Es necesario continuar realizando mediciones con el fin de evaluar las tendencias y asociar las fuentes

de emisión locales de estos contaminantes. Adicionalmente, los resultados brindaron una visión general de las concentraciones atmosféricas de contaminantes clorados, bromados y fluorados. Finalmente, se midieron por primera vez algunos COPs en la atmósfera del país.

#### **b. Muestreo de agua**

El país no realizó monitoreo de COPs en muestras de agua.

#### **c. Monitoreo en leche humana**

##### ***Coordinación y monitoreo***

El monitoreo de COPs en leche materna fue realizado por el Instituto Nacional de Salud, Grupo Salud Ambiental y Laboral (INS) y las muestras fueron analizadas nacionalmente por la Universidad de Antioquia, GDCON.

Se recolectaron 50 muestras de leche materna entre octubre de 2017 y enero de 2019 distribuidas en ocho ciudades y cinco departamentos del país de la siguiente manera: Barranquilla (Atlántico, n=10), Pasto (Nariño, n=11), Medellín, Bello (Antioquia, n=9), Cúcuta (Norte de Santander, n=2), Bogotá, Fusagasugá y Facatativá (Cundinamarca, n=18). Los criterios de inclusión fueron tomados de la “Guía para la organización, el muestreo y el análisis sobre contaminantes orgánicos persistentes en leche humana”, desarrollada por el PNUMA en el marco del Convenio de Estocolmo, en donde se destaca primordialmente que las madres del estudio debían ser primerizas y que estuvieran lactando un único bebe.

Las muestras fueron recolectadas con ayuda de los bancos de leche de los hospitales: Hospital Camino Adelita de Char de Barranquilla, Hospital Universitario de Nariño de Pasto, Hospital General de Medellín de Medellín, Hospital Universitario Erasmo Meoz de Cúcuta; y por comunicación directa y/o telefónica del INS con posibles candidatas a participar en el estudio en las ciudades de Bogotá, Fusagasugá, Facatativá, Pasto, Medellín y Bello. 45 muestras fueron de madres que vivían en la zona urbana y 5 muestras pertenecían a madres que vivían en la zona rural. La edad promedio de las donantes fue 22 años; la estatura promedio fue 159 cm y el rango de estatura fue de 145 a 178 cm. El peso promedio de las donantes fue 59 kg y el rango de peso fue 40 a 88 kg.

Las muestras fueron obtenidas con la debida autorización de las participantes sin exclusión de raza, credo o etnia, por medio de un consentimiento informado aprobado por el comité de ética del INS. El volumen de leche materna recolectado fue alrededor de 50 mL y se obtuvo por extracción manual de uno de los senos de la madre sobre un frasco de vidrio nuevo y debidamente esterilizado con anterioridad. Las muestras fueron almacenadas a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su envío al Grupo Salud Ambiental y Laboral del INS en donde se almacenaron a  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su envío a la Universidad de Antioquia en donde se realizó la muestra nacional combinada y los análisis nacionales de OCPs y PCBs indicadores. El material de campo (frascos de recolección de las muestras) fue suministrado por el laboratorio estatal de Química y Veterinaria de Análisis de Alimentos (CVUA) de Friburgo, Alemania.

La Universidad de Antioquia (GDCON) realizó la muestra nacional combinada el 26 de enero de 2019 tomando una alícuota de 25 mL de cada una de las 50 muestras de leche materna (imagen 11) y adicionándola en un frasco de vidrio de 2000 mL (imagen 12). Posteriormente, tomó una alícuota de  $\approx 25$  mL de la muestra nacional combinada para realizar los análisis de OCPS y PCBs indicadores; el excedente, fue enviado al laboratorio de referencia del PNUMA (laboratorio estatal de Química y Veterinaria de Análisis de Alimentos (CVUA) de Friburgo, Alemania) para el análisis de los COPs en la muestra nacional combinada el 28 de enero de 2019.



**Imagen 11** Alícuota de 25 mL de leche materna



**Imagen 12** Muestra nacional combinada de leche

La universidad de Antioquia (GDCON) realizó los análisis de los **plaguicidas organoclorados** (Heptacloro, Aldrin, Cis-Heptacloro epóxido, Cis-Clordano, 4,4-DDE, 4,4-DDD, 4,4-DDT y Endrin) y **PCBs indicadores** (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180), en las 50 muestras individuales de leche materna y la muestra nacional combinada, el LC del laboratorio nacional fue  $1,70 \text{ ng} \cdot \text{g} \text{ lipidos}^{-1}$ .

### ***Resultados de los laboratorios de referencia de la muestra nacional combinada de leche materna***

Los informes de resultados de la muestra nacional combinada de leche materna fueron entregados por el laboratorio estatal de Química y Veterinaria de Análisis de Alimentos (CVUA) de Friburgo, Alemania y por el Centro de Investigación MTM de la Escuela de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Örebro de Suecia.

Los compuestos analizados por el CVUA fueron: parafinas cloradas de cadena corta (SCCPs) y cadena media (MCCPs), OCPs, hexabromobifenilo, PeCB, pentaclorofenol (PCP), pentacloroanisol, hexaclorobutadieno (HCBd), dicofol, clordecona, isómeros del HBCDD, PBDEs, dl-PCBs, PCDD/Fs y PCBs indicadores; los compuestos analizados por el Centro de Investigación MTM de la Escuela de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Örebro fueron: PFOS, PFOA y PFHxS.

El porcentaje de lípidos de la muestra nacional combinada fue 3,2 % y los resultados fueron expresados en ng·g grasa<sup>-1</sup> y pg·g grasa<sup>-1</sup>.

Los resultados de COPs en la muestra nacional combinada de leche materna son presentados en la **Tabla 9**, **Tabla 10**, **Tabla 11**, **Tabla 12**, **Tabla 13**, **Tabla 14** y **Tabla 15**. La discusión de los resultados se realiza en la sección de análisis de niveles de COPs en la muestra nacional combinada de leche materna.

**Tabla 9** Resultados del laboratorio de referencia de OCPs en la muestra nacional combinada de leche materna (ng·g grasa<sup>-1</sup>). Donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

<b>Compuestos</b>	<b>ng·g grasa<sup>-1</sup></b>
Aldrin	<0,500
<b>Suma Clordanos</b>	<b>1,36</b>
Cis-Clordano	<0,500
Trans-Clordano	<0,500
Oxiclordano	1,41
Dieldrín	2,41
<b>Suma DDT-isómeros</b>	<b>79,6</b>
2,4-DDD	<0,500
4,4-DDD	<0,500
2,4-DDE	<0,500
4,4-DDE	69,1
2,4-DDT	<0,500
4,4-DDT	2,54
<b>Grupo Endrín</b>	<b>&lt;0,500</b>
Endrín	<0,500
Endrín Cetona	<0,500
<b>Suma Heptacloros</b>	<b>0,640</b>
Heptacloro	<0,500
Cis-Heptacloro-Epóxido	0,670
Trans-Heptacloro-Epóxido	<0,500
HCB	4,01
α-HCH	<0,500
β-HCH	0,74
γ-HCH	<0,500
<b>Suma Endosulfan</b>	<b>&lt;0,500</b>
α-Endosulfan	<0,500
β-Endosulfan	<0,500
Endosulfan Sulfato	<0,500
<b>Suma Parlar</b>	<b>&lt;0,500</b>
Parlar 26	<0,500
Parlar 50	<0,500

Parlar 62	<0,500
<b>Mirex</b>	<b>&lt;0,500</b>

**Suma Clordanos:** Suma de Cis-Clordano, Trans-Clordano y Oxiclordano, calculada como Clordano.

**Suma DDT-isómeros:** Suma de 2,4-DDT, 4,4-DDT, 4,4-DDE y 4,4-DDD calculada como DDT.

**Suma Endrín:** Suma de Endrín y Endrín Cetona calculada como Endrín.

**Suma Heptacloros:** Suma de Heptacloro y Heptacloro-Epóxido (Cis/Trans) calculada como Heptacloro.

**Suma Endosulfan:** Suma de  $\alpha$ -Endosulfan,  $\beta$ -Endosulfan y Endosulfan Sulfato calculada como Endosulfan.

**Suma Parlar:** Suma de parlar 26, 50 y 62.

**Tabla 10** Resultados del laboratorio de referencia de PCBs indicadores ( $\text{ng}\cdot\text{g grasa}^{-1}$ ) y dl-PCBs ( $\text{pg}\cdot\text{g grasa}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada de leche materna. Donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

<b>PCBs indicadores</b>	<b><math>\text{ng}\cdot\text{g grasa}^{-1}</math></b>
PCB 28	0,420
PCB 52	0,0660
PCB 101	0,0780
PCB 138	1,35
PCB 153	2,31
PCB 180	1,69
<b>Suma de PCBs indicadores</b>	<b>5,91 <math>\pm</math> 0,990</b>
<b>PCBs Mono-orto</b>	<b><math>\text{pg}\cdot\text{g grasa}^{-1}</math></b>
PCB 105	175
PCB 114	32,4
PCB 118	585
PCB 123	7,42
PCB 156	232
PCB 157	42,6
PCB 167	72,9
PCB 189	26,9
<b>PCBs No-orto</b>	<b><math>\text{pg}\cdot\text{g grasa}^{-1}</math></b>
PCB 77	2,60
PCB 81	0,880
PCB 126	5,35
PCB 169	2,99
<b>WHO-mono-orto-PCB</b>	<b>0,0350</b>
<b>WHO-no-orto-PCB</b>	<b>0,630</b>
<b>WHO-PCB-TEQ</b>	<b>0,660 <math>\pm</math> 0,120</b>

**Tabla 11** Resultados del laboratorio de referencia de PCDD/Fs ( $\text{pg} \cdot \text{g grasa}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada de leche materna. Donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

PCDD/Fs	$\text{pg} \cdot \text{g grasa}^{-1}$
2,3,7,8-TCDF	0,290
1,2,3,7,8-PeCDF	0,140
2,3,4,7,8-PeCDF	1,42
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,710
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,700
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,370
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,0630
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,770
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,0320
OCDF	0,0770
2,3,7,8-TCDD	0,250
1,2,3,7,8-PeCDD	0,770
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,360
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1,17
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,460
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	2,19
OCDD	11,5
<b>WHO-PCDD/Fs-TEQ</b>	<b>1,89 ± 0,390</b>

**Tabla 12** Resultados del laboratorio de referencia de PBDEs ( $\text{ng} \cdot \text{g grasa}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada de leche materna. Donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

Compuestos	$\text{ng} \cdot \text{g grasa}^{-1}$
BDE 15	0,0100
BDE 17	0,00200
BDE 28	0,0100
BDE 47	0,200
BDE 49	0,00400
BDE 66	0,0100
BDE 75	<0,000400
BDE 77	<0,000300
BDE 85	0,0100
BDE 99	0,100
BDE 100	0,0500
BDE 119	0,00400
BDE 126	<0,00300
BDE 138	0,00300
BDE 153	0,190
BDE 154	0,0200

BDE 183	0,0400
BDE 190	0,00400
BDE 196	0,0100
BDE 197	0,100
BDE 203	0,0200
BDE 206	0,0700
BDE 207	0,200
BDE 208	0,0600
BDE 209	-
<b>Suma de PBDEs sin BDE 209</b>	<b>1,10</b>

**Tabla 13** Resultados del laboratorio de referencia de parafinas cloradas ( $\text{ng}\cdot\text{g lípidos}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada de leche materna. Donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

<b>Parafinas</b>	<b><math>\text{ng}\cdot\text{g lípidos}^{-1}</math></b>
<b>Suma parafinas cloradas</b>	<b>53,0</b>
Parafinas cloradas de cadena corta (SCCPs)	33,0
Parafinas cloradas de cadena media (MCCPs)	20,0

**Tabla 14** Resultados del laboratorio de referencia de PFASs ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada de leche materna. Donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

<b>Compuestos</b>	<b><math>\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}</math></b>
1-PFOS	<6,20
br-PFOS	<1,20
$\Sigma$ PFOS	<6,20
PFOA	15,9
PFHxS	<5,50

**Tabla 15** Resultados del laboratorio de referencia de hexabromobifenil, pentaclorobenceno, pentaclorofenol, pentacloroanisol, hexaclorobutadieno, p,p-dicofol, clordecona y HBCDDs-isómeros ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en la muestra nacional combinada de leche materna. Donde un analito no fue cuantificado <LC es provisto.

<b>Compuestos</b>	<b><math>\text{ng}\cdot\text{g lípidos}^{-1}</math></b>
Hexabromobifenilo	<0,500
Pentaclorobenceno	<0,500
Pentaclorofenol	<0,500
Pentacloroanisol	<1,00
Hexaclorobutadieno	<1,00
p,p-Dicofol	<1,00
Clordecona	<0,500
$\alpha$ -HBCD	<0,100

$\beta$ -HBCD	<0,100
$\gamma$ -HBCD	<0,100

### *Análisis y resultados nacionales de las muestras de leche materna*

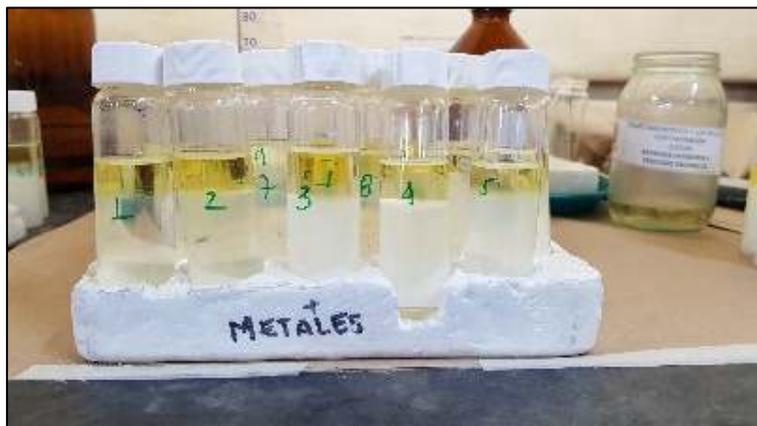
El método de análisis consistió en la extracción de 10 mL de muestra de leche materna con 10 mL de metanol, 0,5 g de cloruro de sodio, 0,5 g de sulfato de magnesio y 10 mL de dietil éter con agitación manual durante 1 minuto y centrifugación a 2500 rpm durante 3 minutos (Imágenes 13 a 15).



**Imagen 13** Alicuota de leche materna



**Imagen 14** Centrifugación de muestra



**Imagen 15** Extracción de leche materna

Luego, la fase orgánica fue traspasada a un vial de 25 mL limpio y seco. El proceso de extracción se realizó una vez más con 10 mL de dietil éter y el extracto orgánico se concentró hasta aproximadamente 1 mL con una corriente suave de nitrógeno (imágenes 16 y 17).

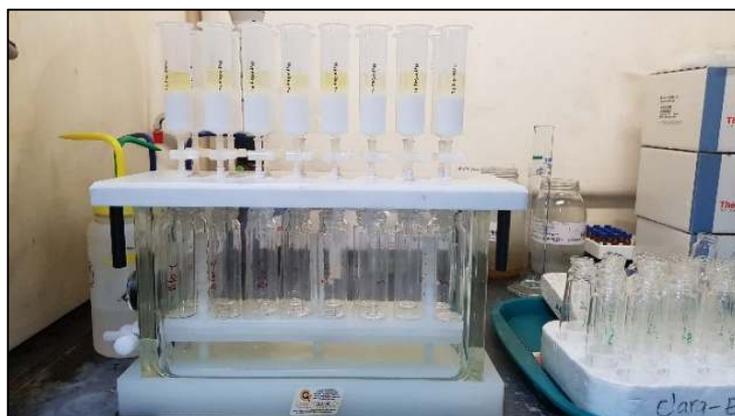


**Imagen 16** Extracto leche materna



**Imagen 17** Rotaevaporación con nitrógeno

Posteriormente, se realizó la limpieza de la grasa con cartuchos de florisil de 5 g; el cartucho de florisil se acondicionó con 20 mL de n-hexano y las muestras se eluyeron con 20 mL de n-hexano (Imagen 18).



**Imagen 18** Limpieza de extractos de leche materna

Finalmente, el extracto recogido en la limpieza de las muestras fue concentrado y reconstituido a 1 mL con 900  $\mu$ L de n-hexano y 100  $\mu$ L del estándar interno de tetracloro-m-xileno a 100  $\mu$ g L<sup>-1</sup>. Las muestras fueron inyectadas en un equipo GC/MS de cuadrupolo simple (agilent technologies, 7890A/5975C).

En la **Tabla 16**, se presentan los resultados obtenidos en ng·g lipidos<sup>-1</sup> del 4,4-DDE, PCB 153, PCB 138 y PCB 180 en leche materna de las muestras nacionales (50 muestras) y muestra combinada nacional, ya que fueron los únicos compuestos detectados y cuantificados por el laboratorio nacional. Los demás contaminantes no fueron detectados en las muestras de leche materna en el laboratorio nacional, es decir, estuvieron por debajo del LC (1,70 ng·g lipidos<sup>-1</sup>).

**Tabla 16** Resultados del laboratorio nacional de COPs en muestras de leche materna en ng·g lipidos<sup>-1</sup>

Código interno	4,4-DDE	PCB 153	PCB 138	PCB 180
19-0099-1	21,7	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-2	41,3	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-3	90,4	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-4	30,6	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-5	13,5	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-6	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-7	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-8	12,4	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-9	10,3	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-10	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-11	27,9	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-12	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-13	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-14	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-15	8,92	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-16	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-17	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-18	9,50	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-19	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-20	4,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-21	<1,70	<1,70	4,36	5,46
19-0099-22	16,8	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-23	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-24	6,63	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-25	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-26	12,6	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-27	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-28	22,8	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-29	7,65	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-30	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-31	6,73	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-32	20,9	2,25	1,93	2,10
19-0099-33	8,01	<1,70	<1,70	<1,70
19-0099-34	9,85	<1,70	<1,70	<1,70

<b>19-0099-35</b>	45,3	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-36</b>	23,7	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-37</b>	81,9	2,24	2,14	<1,70
<b>19-0099-38</b>	9,34	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-39</b>	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-40</b>	9,26	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-41</b>	8,88	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-42</b>	4,09	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-43</b>	8,17	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-44</b>	19,7	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-45</b>	12,8	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-46</b>	5,90	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-47</b>	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-48</b>	14,4	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-49</b>	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-50</b>	<1,70	<1,70	<1,70	<1,70
<b>19-0099-51*</b>	16,1	<1,70	<1,70	<1,70
<b>*: Muestra nacional combinada</b>				

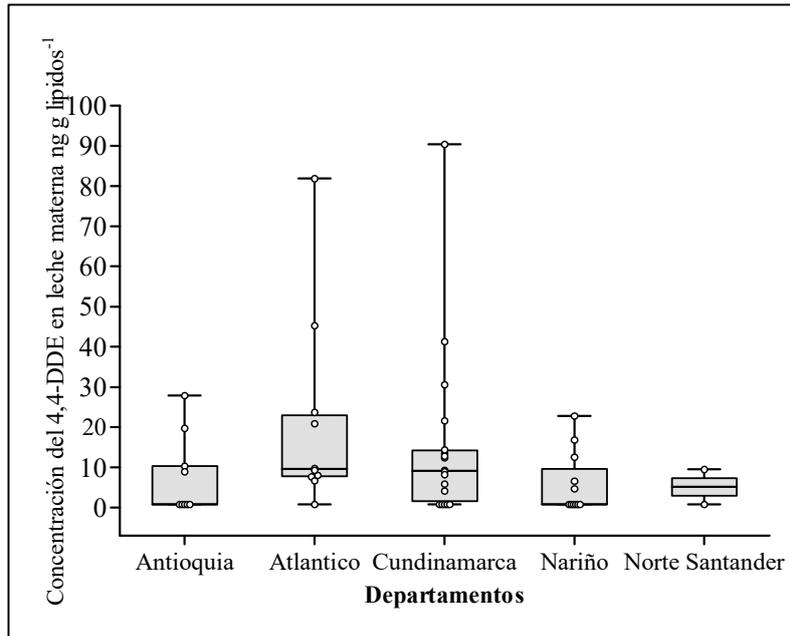
El contaminante que se encontró en mayor concentración fue el 4,4-DDE con una concentración máxima de 90,4 ng·g lipidos<sup>-1</sup>, además, fue cuantificado en muestras de los cinco departamentos de monitoreo, lo cual indicó su presencia y persistencia a lo largo del país.

En la **Figura 8** se presentan los resultados del 4,4-DDE por departamento. No hay diferencias significativas entre los niveles encontrados del 4,4-DDE por departamento, sin embargo, los valores más altos de COPs en leche materna fueron encontrados en los departamentos de Atlántico, Antioquia y Cundinamarca. Es importante aclarar que para el departamento de Norte de Santander el número de muestras recolectado no fue representativo (n=2).

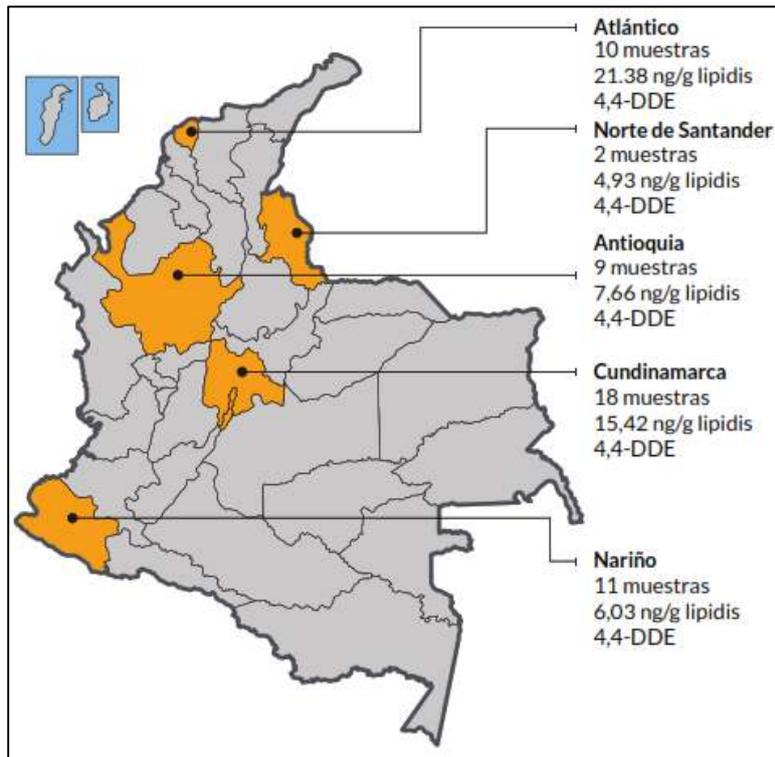
En la **Figura 9**, se presentan los valores promedio del 4,4-DDE por departamento, en la cual se observa que el departamento de Atlántico es el que presenta mayores niveles del 4,4-DDE en leche materna (21,4 ng·g lipidos<sup>-1</sup>), seguido de Cundinamarca (15,4 ng·g lipidos<sup>-1</sup>).

Por otra parte, aunque algunos PCBs indicadores fueron detectados en las muestras de leche materna, las concentraciones fueron más bajas en comparación con la concentración del 4,4-DDE.

Finalmente, los resultados obtenidos indican que el COP más persistente en el país es el 4,4-DDE, sin embargo, es necesario realizar monitoreos en poblaciones del sur del país, ya que como se observa en la **Figura 9**, no fue posible obtener muestras de leche materna de esta zona.



**Figura 8** Caja de bigotes de resultados del 4,4-DDE en leche materna por departamentos de Colombia



**Figura 9** Valores promedio del 4,4-DDE en leche materna por departamentos de Colombia

### ***Comparación de resultados nacionales y laboratorios de referencia (muestras espejos – leche materna)***

Aunque fue posible establecer una capacidad analítica que no existía en el país para analizar algunos COPs (plaguicidas organoclorados y PCBs indicadores) en leche materna, las limitaciones instrumentales nacionales para este tipo de análisis son evidentes. Los límites de cuantificación de los laboratorios de referencia fueron al menos 3,4 veces mas bajos respecto al laboratorio nacional, lo cual, en muchos casos impidió la adecuada cuantificación de algunos compuestos por parte del laboratorio nacional.

Al comparar los resultados del 4,4-DDE emitidos por el laboratorio nacional y referencia se obtuvo un %E de -76,7 % utilizando la ecuación 1. El resultado anterior podría estar relacionado con un efecto matriz del laboratorio nacional asociado a los procesos de limpieza, ya que solo utilizó florisil para la limpieza de las muestras. Por consiguiente, se recomienda que el laboratorio nacional implemente técnicas de limpieza mas exhaustivas en los próximos análisis con el fin de corregir los errores en la cuantificación.

### ***Análisis de niveles de COPs en leche materna, Colombia (muestra nacional combinada)***

En el presente apartado se discuten los niveles de los COPs en la leche materna teniendo en cuenta los resultados obtenidos por los laboratorios de referencia (laboratorios internacionales) en la muestra nacional combinada (**Tabla 9 a Tabla 15**).

Colombia no ha participado en rondas anteriores de monitoreo de COPs en leche materna, por lo cual, los resultados fueron comparados con los niveles de la región presentados en el “Tercer informe de vigilancia regional – América Latina y el Caribe” de COPs en el marco del GMP2.

### **Plaguicidas organoclorados (OCPs) y PCBs indicadores (PCBs indicadores)**

El plaguicida organoclorado que presentó una mayor concentración en la muestra nacional combinada de leche materna fue el 4,4-DDE ( $69,1 \text{ ng}\cdot\text{g lipidos}^{-1}$ ) seguido del HCB ( $4,01 \text{ ng}\cdot\text{g lipidos}^{-1}$ ) (**Tabla 9**). La suma de los seis isómeros de DDT tuvo una concentración de  $79,6 \text{ ng}\cdot\text{g lipidos}^{-1}$  en la muestra nacional combinada. La mediana de la región GRULAC para la suma de los isómeros del DDT fue  $91,0 \text{ ng}\cdot\text{g lipidos}^{-1}$  y el promedio fue  $158 \text{ ng}\cdot\text{g lipidos}^{-1}$ . La mediana y el promedio del HCB en la región fue  $4,25$  y  $4,31 \text{ ng}\cdot\text{g lipidos}^{-1}$ , respectivamente. Al comparar los resultados nacionales con los de la región se observa que se encuentran en el mismo orden de magnitud y en general las concentraciones de OCPs en leche materna son ligeramente inferiores a la mediana y el promedio de la región.

La suma de los PCBs indicadores fue  $5,91 \text{ ng}\cdot\text{g grasa}^{-1}$  (**Tabla 10**) y estuvo en el mismo orden de magnitud que la región (mediana:  $11,0 \text{ ng}\cdot\text{g grasa}^{-1}$  y promedio:  $10,5 \text{ ng}\cdot\text{g grasa}^{-1}$ ). En todos los casos la concentración de los PCBs indicadores en leche materna fue inferior a la concentración mediana de la región.

### **Bifenilos policlorados similares a las dioxinas (dl-PCBs), dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDDs) y dibenzofuranos policlorados (PCDFs)**

Por primera vez en Colombia se cuantificaron los dl-PCBs y PCDD/Fs en leche materna.

Los equivalentes toxicológicos (TEQ) obtenidos en la muestra nacional combinada fueron 1,89  $\text{pg} \cdot \text{WHO}_{2005}\text{-TEQ} \cdot \text{lipidos}^{-1}$  para PCDD/Fs, 0,660  $\text{pg} \cdot \text{WHO}_{2005}\text{-TEQ} \cdot \text{lipidos}^{-1}$  para dl-PCBs y 2,55  $\text{pg} \cdot \text{WHO}_{2005}\text{-TEQ} \cdot \text{lipidos}^{-1}$  para PCDD/Fs-PCBs (**Tabla 10** y **Tabla 11**).

Al comparar los resultados nacionales con los de la región se observa que se encuentran en el mismo orden de magnitud y en todos los casos las concentraciones de dl-PCBs y PCDD/Fs en leche materna son ligeramente inferiores a la mediana y el promedio de la región (ver tercer informe regional).

### **Difenil éter polibromados (PBDEs) y hexabromociclododecano (HBCDD)**

Por primera vez en Colombia fueron analizados y cuantificados los PBDEs y los isómeros del HBCDD en leche materna en Colombia.

La  $\sum$ PBDEs sin el BDE-209 en la muestra combinada nacional fue 1,10  $\text{ng} \cdot \text{g lipidos}^{-1}$  y los isómeros de HBCDDs fueron inferiores al límite de cuantificación de la metodología analítica (**Tabla 12**). La concentración de los congéneres de PBDEs se encuentran en el mismo orden de magnitud que la región reportados en el tercer informe regional sobre COPs en América Latina y el Caribe.

### **Parafinas cloradas de cadena corta (SCCPs) y parafinas cloradas de cadena media (MCCPs)**

Por primera vez se cuantificaron parafinas cloradas de cadena corta y media en leche materna en Colombia.

Los valores obtenidos en la muestra nacional combinada de leche materna para SCCPs y MCCPs fueron 33,0 y 20,0  $\text{ng} \cdot \text{g lipidos}^{-1}$ , respectivamente. La suma de parafinas cloradas fue 53,0  $\text{ng} \cdot \text{g lipidos}^{-1}$  (**Tabla 13**). Los resultados nacionales están en el mismo orden de magnitud de la región dado que la mediana de SCCPs en la región fue de 33,4  $\text{ng} \cdot \text{g lipidos}^{-1}$ .

### **Ácido perfluorooctanoico (PFOA), ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y ácido perfluorohexano sulfónico (PFHxS)**

Los valores reportados en la muestra nacional combinada de leche materna de PFASs fueron <6,20  $\sum$ PFOS, 15,9 PFOA y <5,50 PFHxS  $\text{pg} \cdot \text{g lipidos}^{-1}$  (**Tabla 14**).

El PFOS y PFHxS tuvieron concentraciones inferiores a la mediana de 44 muestras analizadas en el GMP2 de 12,0 y 13,0  $\text{pg} \cdot \text{g lipidos}^{-1}$ , respectivamente. Los valores de mediana fueron reportados por el laboratorio de referencia internacional.

El PFOA estuvo en la mediana de las 44 muestras mencionadas anteriormente, dado que la mediana reportada fue 16,0  $\text{pg} \cdot \text{g lipidos}^{-1}$ . Lo anterior indica que los niveles de PFOS y PFHxS en la muestra nacional combinada fueron ligeramente inferior a los del GMP2 y que los niveles de PFOA estuvieron en el mismo orden de magnitud que los del GMP2.

### **Hexabromobifenilo, pentaclorobenceno, pentaclorofenol, hexaclorobutadieno y dicofol**

Ninguno de los contaminantes hexabromobifenilo, pentaclorobenceno, pentaclorofenol, hexaclorobutadieno y dicofol fue cuantificado en la muestra nacional combinada.

## Comentarios generales

En términos generales, los niveles de COPs en leche materna estuvieron en el mismo orden de magnitud que lo reportado en el tercer informe regional para el GRULAC e incluso en muchos casos los niveles fueron ligeramente inferiores a la mediana y promedio de la región. Finalmente, el COP que se encontró en mayor concentración en la muestra nacional combinada fue el 4,4-DDE, el cual también fue cuantificado en muestras de los cinco departamentos por el laboratorio nacional.

### d. Muestras nacionales

#### *Coordinación y monitoreo,*

El país realizó el monitoreo de 17 muestras de interés nacional para el análisis de COPs por los laboratorios de referencia del GMP2 en España (CSIC) y Suecia (MTM).

Las muestras nacionales de interés seleccionadas fueron 8 muestras de pescados provenientes del río Magdalena, Cauca y del golfo de Urabá (1000 g de muestra) y 9 muestras de sedimentos provenientes del río Magdalena y ciénagas de la región norte del país (500 g de muestra).

Las actividades de monitoreo de pescado fueron realizadas por la Universidad de Antioquia, GDCON y las actividades de monitoreo de sedimentos fueron realizadas por el INVEMAR. Adicionalmente, el país realizó el análisis de OCPs y PCBs indicadores en 60 muestras de pescado provenientes de los ríos Magdalena y Cauca, y del golfo de Urabá. Las contramuestras de sedimentos (muestras espejos) fueron analizadas por el INVEMAR (PCBs indicadores).

En la **Tabla 17** se presenta la información de las muestras de pescado enviadas a los laboratorios de referencia.

**Tabla 17** Información de las muestras nacionales de pescado enviadas al CSIC y MTM.

ID	Nombre Común	Nombre especie	Punto de muestreo	Coordenadas	Enviada a
F-1	Bagre rayado	<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Río Magdalena, Barrancabermeja, Santander	7° 03' 36" N - 73° 52' 33" W	CSIC
F-2	Bagre rayado	<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Río Magdalena, Barrancabermeja, Santander	7° 03' 36" N - 73° 52' 33" W	MTM
F-3	Bagre rayado	<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>	Río Cauca, Cauca, Antioquia	7° 59' 08" N - 75° 11' 31" W	CSIC
F-4	Bagre rayado	<i>Pseudoplatystoma Magdaleniatum</i>	Río Cauca, Cauca, Antioquia	7° 59' 08" N - 75° 11' 31" W	MTM
F-5	Bagre Marino	<i>Bagre marinus</i>	Bahía Golfo de Urabá	Caño Aduana: 8° 42' 21,6" N - 76° 43' 56,6" W	CSIC
F-6	Bagre Marino	<i>Bagre marinus</i>			MTM

<b>F-7</b>	Siete Cueros	<i>Oligoplites palometa</i>		Caño Casanova: 8° 4' 25,0" N - 76° 43' 18,4" W	CSIC
<b>F-8</b>	Siete Cueros	<i>Oligoplites palometa</i>		Caño Higinio: 8° 4' 51,8" N - 76° 43' 26,1" W  Salida Waffe: 8° 5' 19,3" N - 76° 44' 00,0" W	MTM

En la **Tabla 18** se presenta la información de las muestras de sedimentos enviadas a los laboratorios de referencia.

**Tabla 18** Información de las muestras nacionales de sedimentos enviadas a los laboratorios de referencia.

<b>ID</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Enviada a</b>
<b>S-9</b>	Boca Caño Grande	10°50'28,88" N 74°28'59,26" W	MTM
<b>S-10</b>	Río Magdalena - frente a caño el torno	11°00'16,0" N, 74°45'54,7" W	MTM
<b>S-11</b>	Boca de la Barra	10°59'23,49" N, 74°17'27,40" W	MTM
<b>S-12</b>	Boca Caño Clarín	10°57'01,9" N, 74°44'54,8" W	CSIC
<b>S-13</b>	Río Fundación	10°43'3,29" N, 74°25'43,07" W	CSIC
<b>S-14</b>	Centro Ciénaga Grande de Santa Marta - CGSM (está comunicada con el río Magdalena a través de diferentes caños, entre los cuales se encuentra el Caño Clarín y Caño Aguas Negras)	10°51'46,23" N, 74°26'9,27" W	CSIC
<b>S-15</b>	Boca Caño Aguas Negras	10°49'20,75" N 74°35'59,74" W	CSIC
<b>S-16</b>	Ciénaga La Luna	10°55'4,95" N 74°34'44,30" W	CSIC
<b>S-17</b>	Rinconada	10°57'41,78" N 74°29'37,07" W	CSIC

#### **Resultados de los laboratorios de referencia (muestras nacionales)**

Hasta la fecha del presente informe se han recibido los resultados de PFASs de cuatro (4) muestras de pescado y tres (3) muestras de sedimentos del laboratorio del Centro de Investigación MTM y

del laboratorio de dioxinas del CSIC se han recibido los resultados de PCDD/Fs de dos (2) muestras de pescado y tres (3) muestras de sedimentos. También, se han recibido los resultados de PCBs indicadores de cuatro (4) muestras de pescado y seis (6) muestras de sedimentos del CSIC.

### Compuestos per y polifluoroalquilados (PFASs)

Los resultados de PFASs en pescado y sedimentos son presentados en la **Tabla 19**. Los valores más altos de PFOS fueron encontrados en los peces provenientes del golfo de Urabá en donde la  $\Sigma$ PFOS fue de  $65,5 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$  y  $34,4 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$  para F8 y F6, respectivamente. En todos los casos el PFHxS fue  $<5,60 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$  con excepción de la muestra F-8 proveniente del golfo de Urabá en donde se cuantificó un valor de  $6,79 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$ . El PFOA presentó concentraciones entre  $<6,20 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$  y  $9,80 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$  en las muestras de pescado y entre  $8,87 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$  y  $32,4 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$  en las muestras de sedimento. Las concentraciones de PFOS, PFOA y PFHxS entre las muestras de sedimentos fueron similares.

**Tabla 19** Resultados del laboratorio de referencia de PFASs en muestras de pescado ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$  fresco) y sedimentos ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$  seco).

Compuesto	ID muestras de pescado y sedimento						
	F-2	F-4	F-6	F-8	S-9	S-10	S-11
l-PFOS	16,1	22,4	31,7	54,5	18,0	14,7	14,1
br-PFO	3,29	2,72	2,68	11,0	3,22	1,55	3,91
$\Sigma$ PFOS	19,4	25,2	34,4	65,5	21,3	16,2	18,0
PFOA	9,80	8,74	<6,20	8,65	8,87	32,4	17,1
PFHxS	<5,60	<5,60	<5,60	6,79	<5,60	<5,60	<5,60

### PCBs indicadores, dl-PCBs y PCDD/Fs

Los resultados de PCBs indicadores, dl-PCBs y PCDD/Fs se presentan en la **Tabla 20**, **Tabla 21** y **Tabla 22**, respectivamente.

La muestra de pescado F1 procedente del río Magdalena presentó concentraciones de PCBs indicadores ligeramente superiores a las muestras F3, F5 y F7 provenientes del río Cauca y del golfo de Urabá, respectivamente. Las muestras de sedimentos presentaron valores de PCBs indicadores inferiores al LC en todos los casos, con excepción de la muestra S12, S16 y S17 en las cuales se cuantificaron PCBs indicadores de baja cloración tales como el PCB 28, PCB 52 y PCB 101.

**Tabla 20** Resultados del laboratorio de referencia de PCBs indicadores en muestras de pescado ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$  fresco) y sedimentos ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$  seco).

Compuestos	ID muestras de pescado y sedimento									
	F-1	F-3	F-5	F-7	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17
PCB 28	105	26,9	<11,6	26,4	<43,9	120	<41,5	<22,3	<50,7	<86,2
PCB 52	144	37,8	<20,9	38,4	<59,3	200	<54,9	<44,1	89,2	158
PCB 101	120	50,8	45,1	51,6	<65,4	192	<59,6	<46,3	<69,7	117
PCB 153	204	97,3	236	193	<41,5	<69,4	<33,2	<28,4	<22,7	<52,1
PCB 138	177	76,4	135	98,4	<34,0	<68,5	<38,2	<33,9	<28,1	<51,5
PCB 180	164	69,4	172	94,3	<26,1	<17,2	<11,3	<31,5	<10,2	<36,0

<b>Suma PCBs ind (upperbond)</b>	<b>915</b>	<b>359</b>	<b>620</b>	<b>502</b>	<b>270</b>	<b>667</b>	<b>239</b>	<b>207</b>	<b>271</b>	<b>500</b>
----------------------------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

**Tabla 21** Resultados del laboratorio de referencia de dl-PCBs en muestras de pescado ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$  fresco) y sedimentos ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$  seco).

Compuestos/ dl-PCBs	ID muestras de pescado y sedimento				
	F-1	F-3	S-12	S-13	S-14
PCB 77	5,24	0,841	1,17	1,31	1,86
PCB 81	<0,186	<0,0842	<0,257	<0,167	0,240
PCB 126	0,492	0,302	<0,373	<0,624	<0,363
PCB 169	0,159	0,127	<0,256	<0,308	0,237
PCB 105	25,0	8,22	12,2	11,0	14,5
PCB 114	1,57	0,382	<0,957	<0,406	0,551
PCB 118	61,6	23,3	27,6	26,9	41,9
PCB 123	1,66	0,677	0,735	0,692	0,762
PCB 156	10,0	3,86	4,27	2,60	3,13
PCB 157	1,96	0,700	0,755	0,559	0,931
PCB 167	5,73	2,53	0,688	1,01	1,22
PCB 189	1,82	0,704	0,589	<0,180	0,214
<b>WHO<sub>2005</sub>-TEQ<sub>PCB</sub> (upperbond)</b>	<b>0,0578</b>	<b>0,0353</b>	<b>0,0466</b>	<b>0,0731</b>	<b>0,0455</b>

**Tabla 22** Resultados del laboratorio de referencia de PCDD/PCDF en muestras de pescado ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$  fresco) y sedimentos ( $\text{pg}\cdot\text{g}^{-1}$  seco).

Compuestos/ PCDD/PCDF	ID muestras de pescado y sedimento				
	F-1	F-3	S-12	S-13	S-14
2,3,7,8-TCDD	0,0139	0,0075	<0,0223	<0,0220	<0,0343
1,2,3,7,8-PeCDD	0,0278	0,0221	<0,105	<0,0688	0,0938
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,0119	<0,0102	<0,0345	<0,0537	0,121
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,0541	0,0320	<0,0348	0,220	0,108
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,0343	0,0230	<0,0573	0,406	0,196
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,0769	0,0391	0,645	1,58	3,50
OCDD	0,1062	0,1016	12,7	15,4	21,2
2,3,7,8-TCDF	0,0563	0,0570	0,0890	0,0810	0,365
1,2,3,7,8-PeCDF	0,0435	0,0397	0,0470	0,124	0,189
2,3,4,7,8-PeCDF	0,0477	0,0397	<0,0405	0,0475	0,219
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,0135	<0,0106	<0,0371	0,0300	0,218
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,0192	0,0171	<0,0411	0,109	0,219
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,0169	0,0155	<0,0555	<0,0562	<0,0875
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,0139	0,0201	<0,0430	<0,0432	0,208
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,0102	0,0166	0,109	0,538	1,24
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<0,0067	<0,0112	<0,0565	<0,0814	<0,192

OCDF	0,0255	0,0497	0,510	0,712	5,39
<b>WHO<sub>2005</sub>- TEQ<sub>PCDD/PCDF</sub></b>	<b>0,0803</b>	<b>0,0620</b>	<b>0,192</b>	<b>0,235</b>	<b>0,409</b>
<b>WHO<sub>2005</sub>-TEQ<sub>total</sub></b>	<b>0,138</b>	<b>0,0972</b>	<b>0,238</b>	<b>0,309</b>	<b>0,455</b>

Los resultados de PCDD/Fs en las muestras de pescado (F1 y F3) se encuentran en el mismo orden de magnitud y las concentraciones de todos los congéneres fueron muy similares. De igual modo las muestras de sedimentos S-12, S-13 y S-14 se encuentran en el mismo orden de magnitud y tienen valores similares entre ellas.

### *Análisis nacional de las muestras de interés nacional*

La universidad de Antioquia-GDCON realizó el análisis de 60 muestras de pescado provenientes de los ríos Magdalena (n=20) y Cauca (n=20), y del Golfo de Urabá (n=20).

El método analítico consistió en la extracción de 1,0 g de pescado con 10 mL de una mezcla n-hexano:acetona (1:1) y agitación automática a 750 rpm durante 20 min. Posteriormente se adicionó 1 g de sulfato de magnesio y 1 g de cloruro de sodio y se agitó nuevamente a 750 rpm durante 20 min (imágenes 19 y 20).



**Imagen 19** Muestras de pescado para análisis



**Imagen 20** Equipo de agitación automática

Luego, la muestra se centrifugó a 2000 rpm durante 5 min y la fase orgánica fue transferida a un vial limpio y seco, El extracto orgánico fue concentrado en una corriente suave de nitrógeno (imágenes 21 y 22).



**Imagen 21** Centrifugación de muestra



**Imagen 22** Rotaevaporación con nitrógeno

Luego, el extracto fue limpiado en columnas de florisil con n-hexano (imagen 23).



**Imagen 23** Limpieza del extracto con columnas de florisil

Finalmente, el extracto recogido en la limpieza de las muestras fue concentrado y reconstituido a 1 mL con 900  $\mu\text{L}$  de n-hexano y 100  $\mu\text{L}$  del estándar interno de tetracloro-m-xileno a 100  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Las muestras fueron inyectadas en un equipo GC/MS de cuadrupolo simple (agilent technologies, 7890A/5975C).

Los COPs analizados fueron: **plaguicidas organoclorados** (Aldrin, Endrin, Dieldrin, Trans-clordano, Cis-Clordano, 4,4-DDE, 4,4-DDD, 4,4-DDD, Heptacloro, Cis-heptacloro-epoxido,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH y  $\delta$ -HCH) y **PCBs indicadores** (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180) el límite de cuantificación de la metodología analítica fue  $1,00 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  en base húmeda (fresco).

Las muestras de sedimentos fueron realizadas por el INVEMAR. Los límites de cuantificación del PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180 fueron 0,10, 0,40, 0,10, 0,0500, 0,0500, 0,0500 y  $0,0250 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente.

### ***Resultados nacionales de muestras de interés nacional***

En la **Tabla 23**, se presentan los resultados obtenidos de OCPs y PCBs indicadores en pescados provenientes de los ríos Magdalena y Cauca, y del golfo de Urabá. En la **Tabla 23** solo se presentan los contaminantes que tuvieron concentraciones superiores al límite de cuantificación en al menos una de las muestras analizadas.

El 4,4-DDE fue el contaminante que se encontró en mayor concentración en los pescados analizados. La concentración máxima cuantificada fue  $8,03 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  en una muestra del río Magdalena.

En la **Figura 10**, se presenta la caja de bigotes de los resultados del 4,4-DDE en pescados de Colombia por fuente de origen.

En la **Figura 10**, se observa que hay mayor contaminación del 4,4-DDE en los pescados del río Magdalena, ya que, el 90 % ( $n=18$ ) de las muestras analizadas del río Magdalena presentó valores por encima del límite de cuantificación de la metodología analítica ( $1,00 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Asimismo, se encontraron diferencias significativas (95 %) entre las muestras del río Magdalena respecto a las muestras del río Cauca y del golfo de Urabá, es decir, que los niveles del 4,4-DDE en las muestras de pescado provenientes del río Magdalena fueron significativamente más altos que los niveles en pescados del río Cauca y del golfo de Urabá.

El río Cauca fue la fuente menos contaminada, ya que el único contaminante identificado y cuantificado en las muestras fue el 4,4-DDE en un 25 % ( $n=5$ ), a diferencia de las muestras provenientes del golfo de Urabá en donde también se encontraron otros contaminantes tales como PCB 101, PCB 153, PCB 138 y PCB 180 con una concentración máxima de 1,34, 2,05, 1,91 y  $1,67 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente.

Las máximas concentraciones de PCBs en pescados provenientes del río Magdalena fueron de 3,01, 1,26, 7,54, 7,80 y  $6,42 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  para los PCBs 101, 118, 153, 138 y 180 respectivamente. Además, en las muestras provenientes del río Magdalena se identificaron y cuantificaron los plaguicidas organoclorados Trans y Cis-Clordano con un valor máximo de 2,44 y  $1,69 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente.

Una explicación de los resultados anteriores podría ser que en el río Magdalena desembocan los vertimientos de las principales ciudades del país, además, el río Cauca también desemboca en el río Magdalena, lo cual sugiere que la carga de contaminación en el río Magdalena es superior que

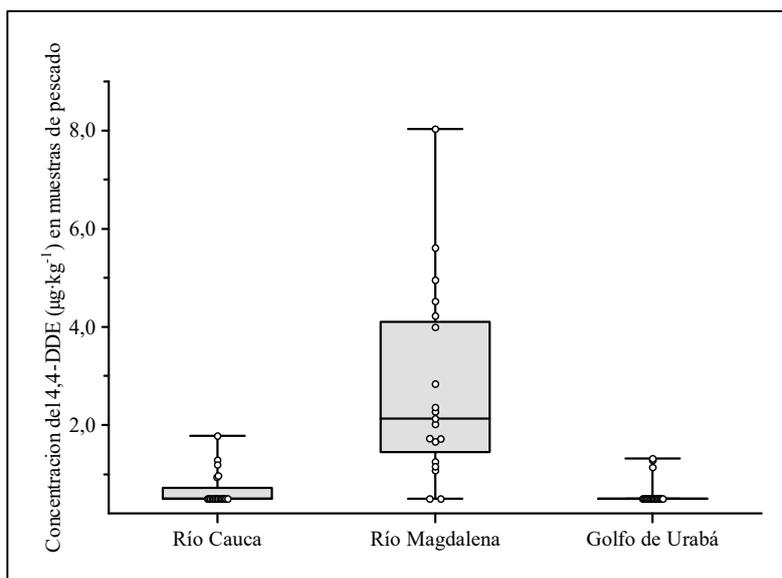
la del río Cauca. Finalmente, las muestras provenientes del golfo de Urabá fueron tomadas de la bahía, en la cual se encuentran los pescados más jóvenes y de menor tamaño.

**Tabla 23** Resultados del laboratorio nacional de OCPs y PCBs indicadores en muestras de pescado ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )

Fuente	Trans-Clordano	PCB-101	Cis-Clordano	4,4'-DDE	PCB-118	PCB-153	PCB-138	PCB-180
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,00</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,29</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,19</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,78</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>0,97</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Cauca	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Magdalena	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Magdalena	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,73</b>	< 1,00	<b>1,00</b>	< 1,00	<b>1,00</b>
Río Magdalena	< 1,00	<b>1,00</b>	< 1,00	<b>1,66</b>	< 1,00	<b>1,29</b>	<b>1,17</b>	<b>1,02</b>
Río Magdalena	<b>2,44</b>	< 1,00	<b>1,69</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Magdalena	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,07</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Magdalena	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,25</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Magdalena	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>2,84</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Río Magdalena	<b>1,01</b>	< 1,00	< 1,00	<b>8,03</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	1,02

<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>4,95</b>	< 1,00	<b>1,25</b>	<b>1,12</b>	<b>1,23</b>
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>2,02</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,72</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>2,27</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	<b>1,04</b>	< 1,00	<b>2,36</b>	< 1,00	<b>1,73</b>	<b>1,43</b>	<b>1,26</b>
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	<b>3,01</b>	< 1,00	<b>4,22</b>	<b>1,26</b>	<b>7,54</b>	<b>7,80</b>	<b>6,42</b>
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>3,99</b>	< 1,00	<b>1,11</b>	< 1,00	<b>1,05</b>
<b>Río Magdalena</b>	<b>1,09</b>	< 1,00	< 1,00	<b>5,61</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,15</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	<b>1,11</b>	< 1,00	<b>4,52</b>	< 1,00	<b>1,42</b>	<b>1,50</b>	<b>1,34</b>
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>2,13</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Río Magdalena</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,17</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	<b>1,34</b>	< 1,00	<b>1,28</b>	<b>1,00</b>	<b>2,01</b>	<b>1,85</b>	<b>1,41</b>
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,32</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	<b>1,09</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,44</b>	<b>1,18</b>	<b>1,10</b>
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	<b>1,08</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>2,05</b>	<b>1,91</b>	<b>1,67</b>
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,14</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00

<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
<b>Golfo de Urabá</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	<b>1,44</b>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00



**Figura 10** Caja de bigotes del 4,4-DDE de los ríos Magdalena y Cauca, y del golfo de Urabá

Finalmente, se recomienda realizar planes de monitoreo de COPs en pescado a lo largo del río Cauca y Magdalena con el fin de establecer las posibles fuentes de contaminación.

Todas las contramuestras de sedimentos realizadas por el INVEMAR tuvieron valores inferiores a los LC del método para todos los congéneres de PCBs evaluados por el laboratorio nacional.

### ***Comparación de resultados nacionales y laboratorios de referencia (muestras espejos – pescados y sedimentos)***

Aunque fue posible establecer una capacidad analítica que no existía en el país para analizar algunos COPs (plaguicidas organoclorados y PCBs indicadores) en pescados y sedimentos, las limitaciones instrumentales nacionales para este tipo de análisis son evidentes.

No fue posible comparar los resultados de pescado entre el laboratorio nacional y de referencia debido a que las muestras no eran las mismas. Por otra parte, el PCB 28 y PCB 101 no fueron cuantificados adecuadamente por el laboratorio nacional en la muestra S-13 y el PCB 101 en la muestra S-17, ya que el laboratorio de referencia emitió resultados por encima del LC del laboratorio nacional, es decir que fueron falsos negativos del laboratorio nacional.

Es importante continuar realizando esfuerzos nacionales con el fin de mejorar la capacidad analítica para mejorar los errores en la cuantificación de las muestras.

#### **e. Estudio internacional de interlaboratorio**

Los ensayos interlaboratorios son una herramienta para evaluar y comunicar el rendimiento de un laboratorio a través del envío de una muestra de prueba a todos los laboratorios interesados que informan las concentraciones analizadas.

Los ensayos interlaboratorios de los COPs coordinados por el PNUMA se realizan aproximadamente cada 2 años, a la fecha se han celebrado 4 rondas de inter-calibración: 2010/2011, 2012/2013, 2016/2017, 2018/2019; la cuarta ronda fue implementada por el Centro de Investigación MTM, Universidad de Örebro (Suecia) y el Departamento de Medio Ambiente y Salud, Universidad VU de Amsterdam (Países Bajos).

En la cuarta ronda (2018/2019) participaron 67 laboratorios del GRULAC de los cuales doce (12) laboratorios fueron de Colombia. Anteriormente, por Colombia habían participado ocho (8) laboratorios en la tercera ronda, un (1) laboratorio en la segunda ronda y cuatro (4) laboratorios en la primera ronda.

Los laboratorios que participaron de Colombia en la cuarta ronda fueron: Laboratorio de Cromatografía, Universidad Industrial de Santander; Laboratorio de Análisis de Contaminantes Persistentes; Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas; Laboratory Research Group GICAMP; Environmental Research Laboratory; ASINAL S,A,S; LABCAM; Laboratorio Lito Bogotá; Laboratorio Lito Cali; Laboratorio Microbiológico Barranquilla S,A,S; Laboratorio de Aguas EAB ESP; Grupo Diagnostico y Control de la Contaminación. Tres (3) laboratorios de los mencionados anteriormente no respondieron con los resultados ante el PNUMA después de recibir las muestras de prueba.

Los laboratorios del país participaron principalmente para plaguicidas organoclorados, lo cual indicó que hay una necesidad importante y evidente nacional en aumentar la capacidad analítica en el análisis de nuevos COPs en el país, además, se debe mejorar el desempeño en el análisis de estos contaminantes, ya que en el GRULAC la relación de rendimiento S/U para plaguicidas organoclorados no fue satisfactoria en comparación a los demás países.

Se espera que en las próximas rondas interlaboratorio de COPs del PNUMA incremente el número de participantes del país y se incluyan nuevos COPs adicionales a los plaguicidas organoclorados.

#### **4. Actividades de Desarrollo de capacidades**

##### **a. Entrenamientos**

Técnicos del Laboratorio de Dioxinas del IDAEA/CSIC de Barcelona, España, proporcionaron capacitación y entrenamiento para el análisis de COPs en Colombia del 27 de noviembre al 01 de diciembre del 2017 en la Universidad de Antioquia.

Las entidades nacionales que participaron en la capacitación y entrenamiento fueron: Universidad de Antioquia, Universidad Nacional- Sede Manizales, Universidad Pontificia Bolivariana, Instituto Nacional Agropecuario, Instituto Nacional de Salud, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El entrenamiento fue realizado para el análisis de plaguicidas organoclorados y PCBs indicadores por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas debido a la capacidad instrumental analítica del país en muestras de leche materna y PUFs utilizados en el monitoreo de COPs en aire.

El entrenamiento fue realizado satisfactoriamente y gracias a dicha capacitación fue posible realizar los análisis de plaguicidas organoclorados y PCBs indicadores en las muestras nacionales de leche materna y PUFs del monitoreo de aire, además, se pudo extender al análisis de COPs en pescado y sedimentos.

Finalmente, la capacitación recibida a nivel nacional fue de gran importancia y permitió resolver dudas analíticas en el procesamiento de las muestras para obtener resultados confiables, lo cual garantizó el cumplimiento de los compromisos nacionales en el GMP2 y ayudó a aumentar la capacidad analítica nacional.

#### **5. Participación en otras actividades y redes de monitoreo**

Se conoce que en el país tienen (o han tenido) presencia las siguientes iniciativas para el monitoreo de COPs:

- Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (RedCAM) liderada por el INVEMAR, Esta red no es específica para COPs, sin embargo, incluye dentro de las sustancias de interés que monitorea algunos plaguicidas COP.
- Red de Monitoreo Pasivo Atmosférico Global (GAPS) a través de la Universidad Nacional – Sede Manizales.
- Red de Monitoreo de COPs en Colombia.
- Red de Monitoreo Pasivo Atmosférico de América Latina (LAPAN).
- Proyecto MONET-Aqua.
- Programa MILK-WHO.

No obstante, no existe en el país una red centralizada de monitoreo que reúna toda la información o sirva como punto focal y de encuentro para cada una de las iniciativas relacionadas con Contaminantes Orgánicos Persistentes, ya que estas, en su mayoría, trabajan de manera independiente.

El Plan Nacional de Implementación contempla dentro de sus planes de acción actividades relacionadas con el monitoreo de COPs, tales como el fortalecimiento de la capacidad instalada en los laboratorios para identificar, cuantificar y caracterizar estos contaminantes en matrices de interés, así como mejorar las competencias de las autoridades respectivas para el monitoreo, inspección, vigilancia y control de estas sustancias y su manejo ambientalmente adecuado.

Adicionalmente, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha ejecutado proyectos de implementación nacional a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo con financiación del Fondo Multilateral para el Medio Ambiente, que se mencionan a continuación:

**Proyecto 84851/71268: Desarrollo de la capacidad para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de PCB (abril 2013 – junio 2018),**

Este proyecto tuvo como propósito la protección de la salud humana y del ambiente tanto local como global, frente a los problemas generados por la gestión inadecuada de los bifenilos policlorados (PCB) en Colombia. El proyecto cumplió este objetivo mediante la implementación de un marco regulador y administrativo que promovió el manejo ambientalmente adecuado de los PCB entre las partes interesadas especialmente de los sectores de generación y distribución eléctrica, así como a través de la implementación de proyectos piloto y demostrativos para el manejo seguro de PCB.

El proyecto se desarrolló a través de los siguientes componentes:

- a) Fortalecimiento del marco legal, administrativo y regulatorio para la gestión adecuada de los PCB. Se actualizó la normativa para la gestión integral de PCB y se adelantaron procesos de socialización y capacitación a los actores involucrados para promover su implementación. Así mismo, se adelantaron las evaluaciones correspondientes para incentivar económica y financieramente la gestión integral de PCB y se evaluaron e implementaron diferentes alternativas de etiquetado de equipos para mejorar su identificación.
- b) Desarrollo de la capacidad nacional para la gestión y eliminación ambientalmente racional de los PCB. Se fortaleció y actualizó el sistema de información que se alimenta a través del inventario nacional de PCB, así como la capacidad del país para la determinación analítica de PCB en aceites, matrices ambientales, alimentos y fluidos corporales. Se adelantaron monitoreos en alimentos como leche bovina y pescado, leche materna y sangre humana, así como en agua y suelos. Se actualizó el manual técnico para la gestión integral de PCB a través de la expedición de 7 tomos específicos para las principales temáticas de interés para un manejo seguro de estas sustancias. De otra parte, se capacitó a en estos lineamientos a empresas y personal involucrado en las actividades de mantenimiento de equipos, en aras de evitar la contaminación cruzada. Se trabajaron paralelamente al proceso con el sector eléctrico, otros fortalecimientos específicos para identificar a través del inventario, los equipos localizados en zonas de alto riesgo, los pertenecientes a zonas no interconectadas y los de propietarios diferentes al sector eléctrico (o terceros).

- c) Gestión y eliminación ambientalmente racional de los PCB a través del desarrollo de proyectos piloto. Se adelantaron acuerdos de colaboración mutua y proyectos piloto o demostrativos con los propietarios de PCB para fortalecer las operaciones de mantenimiento, eliminación y almacenamiento adecuado de los PCB de acuerdo a los nuevos estándares, lineamientos y normativa establecida. Se evaluaron y generó capacidad para 4 plantas de descontaminación o eliminación de PCB al interior del país y se eliminaron con recursos del proyecto, equipos identificados como contaminados en zonas de alta prioridad. De la misma manera, se adelantaron las evaluaciones técnicas necesarias para verificar la factibilidad de poner en marcha las alternativas de descontaminación y eliminación propuestas y se levantaron las lecciones aprendidas del proyecto en su conjunto.

**Proyecto 98842/94749: Reducción de las liberaciones de los COP no intencionales y mercurio provenientes de la gestión de residuos hospitalarios, RAEE, procesamiento de chatarra metálica y quemas de biomasa (septiembre 2016 – a la fecha)**

El objetivo principal de este proyecto a cinco años es implementar las Mejores Prácticas Ambientales (MPA) y las Mejores Tecnologías Disponibles (MTD) para reducir las liberaciones no intencionales de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) y de mercurio producidos en el tratamiento de residuos hospitalarios, el procesamiento de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEEs), el procesamiento de acero, y las quemas de biomasa en el sector azucarero.

El proyecto está dividido en cuatro componentes:

- 1) Prevenir y minimizar la generación de COP no intencionales y la actualización de su inventario.
- 2) Prevenir y reducir la liberación de mercurio.
- 3) Fortalecer el marco institucional, administrativo, legal, técnico y regulatorio para reducir los COPs no intencionales y el mercurio.
- 4) Divulgar las lecciones aprendidas, y hacer el monitoreo y la evaluación del proyecto.

El proyecto liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) alcanzará este objetivo mediante la actualización de la información disponible acerca de COP no intencionales y liberaciones de mercurio, tomando los inventarios de los COPNI y las evaluaciones nacionales en los cuatro sectores. Además, el proyecto dará soporte a la implementación de 12 proyectos demostrativos en los que se adoptará diferentes soluciones de MPA y MTD en los sectores involucrados en el proyecto.

Los proyectos demostrativos relacionados con la adaptación de técnicas alternativas, como tratamiento térmico sin combustión (procesamiento de residuos hospitalarios), mejoramiento en la separación de la chatarra para obtener un material más limpio que ha de ser sometido a procesos térmicos a alta temperatura (tratamiento de RAEEs y en la industria del acero), y pre-cosecha mecánica (sector azucarero). Los proyectos demostrativos relacionados con mercurio buscan evaluar alternativas libres de mercurio y adaptarlas. También mejorar la recolección de luminarias con contenido de mercurio y baterías para recuperar el mercurio.

El proyecto también ayudará a fortalecer el marco legal e institucional que da soporte al manejo ambiental de los COP no intencionales y de mercurio, incluyendo el desarrollo nacional de las guías MPA y MTD para los cuatro sectores, regulaciones técnicas relacionadas a los COP no

intencionales y manejo de mercurio en los sectores de salud y RAEE. El proyecto también busca establecer un sistema nacional de registro para RAEEs y publicar las lecciones aprendidas acerca del manejo de COP no intencionales y del mercurio.

Las autoridades, la industria, las instituciones de salud y los gestores de residuos sólidos se beneficiarán de las actividades del proyecto, ayudando también al fortalecimiento de la capacidad analítica en los laboratorios a nivel nacional para el análisis de COP no intencionales y de mercurio. El mejoramiento en el control y el monitoreo de esos contaminantes permitirá que las partes involucradas cumplan más fácilmente la legislación pertinente.

El proyecto espera reducir las liberaciones de COPs no intencionales en 100 g-EQT y evitar la liberación de 300 kg de mercurio durante la duración del proyecto. Este también busca reducir el impacto ambiental y a la salud humana, y dar soporte al país hacia el cumplimiento de sus obligaciones bajo los convenios de Estocolmo y Minamata.

**Proyecto 112906/115174: Fortalecimiento de la capacidad nacional para gestionar los COP industriales en el marco de las directrices nacionales e internacionales sobre la gestión de sustancias químicas y desechos peligrosos (estimado para iniciar en enero 2022)**

La visión del proyecto dispone fortalecer la capacidad nacional para la gestión ambientalmente racional y segura de las emisiones y las existencias de COP industriales y otras sustancias químicas peligrosas y sus desechos en Colombia, lo que generará múltiples beneficios a nivel local, regional y mundial a través de la integración de alternativas químicas, de conformidad con los Convenios de Estocolmo y Basilea. Se ha organizado en cuatro componentes y cinco resultados sustantivos:

- El sector eléctrico, las entidades estatales y los titulares de PCB individuales están capacitados para cumplir con la fecha límite de eliminación de PCB de 2025.
- Capacidad nacional establecida para identificar los COP industriales (en productos) y alternativas adecuadas para apoyar en la eliminación de los COP industriales.
- Se desarrolló la capacidad nacional para reemplazar los COP industriales mediante el uso de sustancias alternativas, según lo establecido por el Convenio de Estocolmo.
- Sensibilización de los grupos de interés del proyecto sobre la gestión de productos químicos industriales (COP), desechos relacionados y alternativas más seguras.
- Resultados del proyecto sostenidos y replicados.

El proyecto proporcionará beneficios ambientales globales en términos de reducción y eliminación/destrucción y la abstención en el uso de productos químicos objeto de preocupación mundial y su desperdicio de 1,500 toneladas de desechos contaminados con PCB, 1 tonelada de PFOS, 2,000 toneladas de desechos que contienen COP bromados y 10 toneladas de SCCP; beneficiando al menos a 3,640 mujeres y 3,360 hombres.

## **6. Plan de sostenibilidad**

Desde la ratificación del Convenio de Estocolmo por parte de Colombia mediante la Ley 1196 de 2008, el país ha trabajado para alcanzar los objetivos previstos, relacionados con la identificación, prevención, reducción y eliminación de los contaminantes orgánicos persistentes y sus residuos. Aunque se habían desarrollado estudios desde 2003, el proceso de formulación del primer Plan

Nacional de Implementación (PNI) del Convenio de Estocolmo inició en el año 2007 y finalizó en julio del año 2010.

Desde entonces el país ha trabajado de manera sostenida en el cumplimiento del Convenio y sus artículos, por lo cual se presentó la necesidad de actualizarlo al año 2017. En esta actualización se plantearon estrategias y actividades estructuradas en cuatro planes de acción específicos:

- **Plaguicidas COP**, cuyo objetivo principal es evitar el uso de los plaguicidas COP en Colombia a través de la creación de una cultura de prevención y garantizar la eliminación segura de los plaguicidas COP incautados u obsoletos. Para lograrlo se planeó: a) propiciar que, en cultivos priorizados, los usuarios actúen preventivamente, apliquen buenas prácticas y promuevan el uso de sustancias alternativas a los plaguicidas COP; b) eliminar de manera ambientalmente segura, en el marco de la gestión integral, las existencias de los plaguicidas COP incautados o asociados a sitios contaminados; y c) fortalecer el Sistema IVC (inspección, vigilancia y control) mejorando la identificación y el monitoreo para evitar el ingreso de plaguicidas COP en los puertos y pasos fronterizos clave del país.
- **PCB**, cuyo objetivo principal es eliminar los bifenilos policlorados (PCB) existentes en el país, a través de su manejo ambientalmente seguro y racional. Para lograrlo se planeó: a) identificar, marcar y eliminar los equipos, aceites y residuos contaminados con PCB existentes en Colombia; y b) fortalecer la capacidad de los actores involucrados en la gestión integral y manejo ambientalmente seguro de los PCB para garantizar su eliminación.
- **COP No Intencionales**, cuyo objetivo principal es prevenir, controlar y reducir las emisiones de COP no intencionales en el país a través de del desarrollo de una política y un marco normativo acorde a las necesidades identificadas, así como la implementación de mejores prácticas ambientales (MPA) y mejores técnicas disponibles (MTD), un mejoramiento en la gestión integral de residuos y la toma de conciencia y educación por parte de todos los actores involucrados. Para lograrlo se planeó: a) generar el marco normativo y de política necesario para la implementación de las mejores prácticas ambientales (MPA) y mejores técnicas disponibles (MTD), un mejoramiento en la gestión integral de residuos y la toma de conciencia y educación por parte de todos los actores involucrados; y b) realizar el control y seguimiento a la prevención y reducción de emisiones de COP no intencionales, en concordancia con las políticas y el marco regulatorio definidos para ello.
- **COP de uso industrial**, cuyo objetivo principal es promover la gestión integral de los COP de uso industrial a través de la identificación de los elementos que los contienen en su ciclo de vida, y garantizar su manejo ambientalmente seguro. Para lograrlo se planeó: a) Identificar los elementos (productos, artículos y residuos) que contienen sustancias COP de uso industrial en Colombia; y b) promover el manejo ambientalmente seguro de las sustancias COP de uso industrial y los elementos que las contienen (productos, artículos y residuos).

Los planes de acciones anteriores cuentan con actividades específicas previstas para lograr su cumplimiento e implementación a nivel nacional. Estas, junto con el contexto nacional relativo a los COP, se describe en detalle en el documento “Plan Nacional de Implementación sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes” emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo

Sostenible en el año 2017 (disponible en [https://quimicos.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/05/PNI\\_Actualizado\\_Colombia\\_2017\\_Espanol.pdf](https://quimicos.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/05/PNI_Actualizado_Colombia_2017_Espanol.pdf)).

## **7. Resultados y logros**

Colombia cumplió con las actividades y compromisos adquiridos con el Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe (SCRC) en Uruguay en el marco del Plan de vigilancia Mundial fase II.

El país participó en las campañas de monitoreo de COPs en aire realizadas entre el año 2017 y 2018 utilizando muestreadores de aire pasivo. Además, realizó el análisis de plaguicidas organoclorados y PCBs indicadores en las muestras espejo nacionales. En términos generales, los resultados obtenidos estuvieron en el mismo orden de magnitud que otros estudios realizados en Colombia y América Latina.

También, el país realizó una muestra nacional combinada de leche materna a partir de 50 muestras provenientes de cinco departamentos. La muestra nacional combinada fue enviada al laboratorio de referencia en Friburgo, Alemania y a nivel nacional se analizaron plaguicidas organoclorados y PCBs indicadores en las 50 muestras individuales y la muestra nacional combinada. Los resultados indicaron que el COP más persistente en el país es el 4,4-DDE, ya que fue cuantificado en muestras de leche materna de los cinco departamentos. Finalmente, en términos generales, los niveles de COPs en leche materna estuvieron en el mismo orden de magnitud que lo reportado en el tercer informe regional e incluso en muchos casos los niveles fueron ligeramente inferiores dado que en su gran mayoría se reportaron como inferiores al límite de cuantificación.

También, el país realizó el monitoreo de 17 muestras nacionales de interés (8 pescados y 9 sedimentos). Los resultados indicaron que las muestras provenientes del río Magdalena tenían mayores niveles de COPs que las muestras provenientes del río Cauca y del golfo de Urabá, con excepción del PFOS que fue cuantificado en mayor concentración en las muestras del golfo de Urabá.

La participación en el GMP2 permitió aumentar la capacidad analítica en el país para el análisis de COPs, sin embargo, es necesario continuar aumentando dicha capacidad, especialmente para dioxinas y furanos que no fueron analizados nacionalmente, así como otros COPs que se encuentran incluidos en la convención de Estocolmo.

Finalmente, se pudieron resolver rápidamente las dudas de la logística, informes y transferencias por parte del Centro Coordinador del Convenio de Basilea y Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe (BCCC-SCRC) – Laboratorio Tecnológico de Uruguay (LATU).

## **Conclusiones y recomendaciones**

Se detectó la presencia de COPs en Colombia en muestras de leche materna, aire, sedimentos y pescado. En términos generales, los niveles de COPs estuvieron en el mismo orden de magnitud que lo reportado anteriormente en otros estudios de monitoreo en la región GRULAC e incluso en muchos casos los niveles fueron ligeramente inferiores dado que en su gran mayoría se reportaron como inferiores al límite de cuantificación.

La participación en el GMP2 permitió aumentar la capacidad analítica en el país para el análisis de plaguicidas organoclorados y PCBs indicadores, sin embargo, es necesario continuar aumentando dicha capacidad a otros COPs que se encuentran incluidos en la convención de Estocolmo.

Se recomienda implementar planes de monitoreo nacionales con el fin de evaluar las tendencias y variaciones en el tiempo de estos contaminantes en las diferentes matrices ambientales y bióticas evaluadas en el marco del GMP2. Los planes de monitoreo nacionales podrían ayudar a identificar las posibles fuentes de emisión de estos contaminantes y por ende serían una herramienta útil para mitigar y/o eliminar dichas liberaciones al ambiente.

## Referencias

- Aristizábal BH, Gonzalez CM, Morales L, Abalos M, Abad E. 2011. Polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran in urban air of an Andean city. *Chemosphere*. 85:170–178.
- Cortés J, Cobo M, González CM, Gómez CD, Abalos M, Aristizábal BH. 2016. Environmental variation of PCDD/Fs and dl-PCBs in two tropical Andean Colombian cities using passive samplers. *Sci Total Environ* [Internet]. 568:614–623. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.094>
- Harner T. 2022. 2022 v1 Template for calculating PUF and SIP disk sample air volumes.
- Kajiwara N, Takigami H. 2016. Particle size distribution of brominated flame retardants in house dust from Japan. *Emerg Contam*. 2:109–117.
- Li Y, Chen L, Ngoc DM, Duan YP, Lu ZB, Wen ZH, Meng XZ. 2015. Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP and Gas Phase in Office Environment in Shanghai, China: Occurrence and Human Exposure. *PLoS One* [Internet]. [cited 2021 Dec 20]; 10. Available from: </pmc/articles/PMC4367993/>
- Rauert C, Harner T, Schuster JK, Eng A, Fillmann G, Castillo LE, Fentanes O, Villa Ibarra M, Miglioranza KSB, Moreno Rivadeneira I, et al. 2018. Atmospheric Concentrations of New Persistent Organic Pollutants and Emerging Chemicals of Concern in the Group of Latin America and Caribbean (GRULAC) Region. *Environ Sci Technol*. 52:7240–7249.
- Yang M, Qi H, Jia HL, Ren NQ, Ding YS, Ma WL, Liu LY, Hung H, Sverko E, Li YF. 2013. Polybrominated diphenyl ethers in air across China: Levels, compositions, and gas-particle partitioning. *Environ Sci Technol* [Internet]. [cited 2021 Dec 20]; 47:8978–8984. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es4022409>