

## **Appendix 8:**

### **National Road maps from two pilot countries, Mexico, and Ecuador**

ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DEL  
**PROGRAMA DE MONITOREO**  
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP)  
INCLUIDOS EN EL CONVENIO DE ESTOCOLMO  
**PARA MÉXICO**



Este informe se ha elaborado en el marco de los proyectos de tamaño completo 4886, 4894, 4881 y el proyecto de tamaño mediano 6978 del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) sobre monitoreo global de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) en el marco del Convenio de Estocolmo en las regiones de África, Asia, el Pacífico y América Latina y el Caribe (GMP 2). Estos proyectos están financiados por el FMAM, ejecutados por el PNUMA y en la región del América Latina y el Caribe por el Centro Coordinador del Convenio de Basilea - Centro Regional del Convenio de Estocolmo para la región de América Latina y el Caribe (BCCC-SCRC).

Los contenidos de este documento no reflejan necesariamente las opiniones o políticas del PNUMA, FMAM O BCCC-SCRC.

Este informe estará disponible en los sitios web, y es de libre distribución y uso para fines educativos y sin ánimo de lucro, a condición de que se indique la fuente de la que proviene.

Este informe ha sido elaborado por AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática en coordinación con los técnicos Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el período de marzo a junio 2023.

## **Autoría**

### ***AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática***

Víctor Javier Gutiérrez Avedoy

Ana Patricia Martínez

Jorge Martínez Castillejos

Miranda Loreda Barrera

## **Supervisión**

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

Centro Coordinador del Convenio de Basilea-Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe.

## RESUMEN EJECUTIVO

---

México, antes de la firma del Convenio de Estocolmo (CE), ya tenía avances en la regulación de algunos de los COP, como resultado de las actividades desarrolladas en el marco de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), debido a que dentro del grupo de Manejo Adecuado de Sustancias Químicas se formaron grupos de tarea de DDT, bifenilos clorados, dioxinas y furanos y de monitoreo y evaluación ambiental, que permitieron avanzar en el conocimiento de estas sustancias.

A la fecha, México ha elaborado un PNI en el 2007 y una actualización en el 2016, orientados a la eliminación o reducción de la liberación y presencia en el ambiente de COP como: plaguicidas que son COP; de los BPC y los nuevos COP de uso industrial; de la liberación al ambiente de COP no intencionales. Además, estos PNI se enfocaron a desarrollar capacidades analíticas confiables sobre COP; evaluación de los efectos de los COP en la salud y el ambiente; fortalecimiento del marco jurídico e institucional para la gestión de COP y otras sustancias tóxicas; y, comunicación, sensibilización y participación ciudadana.

El marco legal ambiental de México como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y su Reglamento, el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), entre otros, ha contribuido para que México tenga un respaldo en la instrumentación de políticas y acciones orientadas a reducir la presencia de COP en el ambiente y en el cumplimiento con el CE.

Desde el 2004, ha participado en el Plan de Monitoreo Global (GMP, por sus siglas en inglés) de COP, para evaluar la presencia de los compuestos en aire, agua y leche materna. Es importante mencionar, que el GMP permitió fortalecer

la capacidad de monitoreo a nivel nacional y contribuir al establecimiento de capacidades analíticas regionales y generación de datos de COP. La segunda fase del muestreo se realizó entre los años 2017 y 2018, arrojando resultados importantes para conocer la presencia y distribución de COP en el ambiente y en la población de México, incluso permitió compararlo con otros países de la región.

Así, los datos generados por el GMP permiten identificar problemas vinculados a los COP, y en consecuencia, en dónde se deben enfocar los esfuerzos para el diseño de un programa de monitoreo COP nacional, que ayude a confirmar los valores encontrados y delinear con base en los resultados planes de acción que eliminen las fuentes de emisión de estos compuestos. En este proceso es importante la participación de las instituciones y universidades del país con capacidad de medir COP, como lo ha hecho la Universidad Autónoma de Occidente (UAdO) y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Cabe mencionar, que la implementación de un programa de monitoreo de COP requiere recursos (económicos y de personal), por lo que no es un proceso fácil de instrumentar. Un programa de este tipo debe operar a largo plazo y sus resultados estar vinculados al establecimiento de políticas públicas en materia de protección de la salud y los ecosistemas.

Al momento de definir un programa de monitoreo, es necesario tener claro las preguntas que hay que responder con el programa. Para el caso de los COP, se debe tener en cuenta cuáles son las fuentes de COP; cómo son transportados; cómo y dónde se acumulan; cuál es su persistencia en los compartimentos ambientales; cuáles son los efectos en la salud de los seres humanos y la biota; cuáles son los riesgos a su exposición; y, cuáles son los costos de la inacción.

Para transitar hacia la elaboración de un Programa de Monitoreo de COP para México se ha desarrollado este documento que contiene los primeros elementos para su diseño, señalando la información sobre su perfil con algunos indicadores socioeconómicos y ambientales. Se describió el marco de referencia y normativo del país. Se describieron los resultados de los inventarios elaborados y la

capacidad analítica nacional. Así mismo, se presentó en este documento algunas estadísticas para el país de los datos de monitoreo de COP. Y, por último, se hace una propuesta de un plan de monitoreo ambiental de COP en México.

La información contenida en este perfil de país, si bien limitada a datos de calidad del aire y de los estudios realizados dentro del Plan de Monitoreo Global (GMP, por sus siglas en inglés), así como de algunos estudios de programas de monitoreo implementados por el gobierno federal y la academia, brindan elementos que permiten identificar problemas vinculados a COP y, en consecuencia, en donde se deben enfocar los esfuerzos en el diseño del Programa de Monitoreo para México.

## CONTENIDO

Resumen Ejecutivo.....	3
1. Perfil de país.....	10
1.1. Aspectos socioeconómicos .....	11
1.2. Aspectos físicos .....	12
2. Marco de referencia.....	17
2.1. Planes Nacionales de Implementación.....	19
3. Marco Legal.....	31
4. Situación de los plaguicidas COP en México.....	36
4.1. Inventario de plaguicidas en México.....	36
4.2. Registro de importaciones y exportaciones de nuevos plaguicidas COP.....	38
4.3. Inventario de sitios contaminados .....	41
4.4. Iniciativas para la gestión de plaguicidas en México .....	42
4.5. COP no intencionales.....	43
4.6. COP industriales .....	45
5. Capacidad analítica .....	58
6. Monitoreo de COP en México.....	60
6.1. Diagnóstico retrospectivo y reciente de COP en el Valle del Yaqui, Sonora .....	60
6.2. Evaluación de la concentración de COP en sangre de mujeres en edad fértil que residen en el Valle del Yaqui, Sonora.....	66
6.3. Estudio trinacional de COP en sangre materna.....	68
6.4. Monitoreo de sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables en la Reserva de la Biosfera Mapimí, Durango, México.....	71
6.5. Estudios de monitoreo de COP .....	75
6.6. Contaminación de plaguicidas en México.....	77
6.7. Plan de Vigilancia Mundial para Contaminantes Orgánicos Persistentes .....	79
6.8. Evaluación de la eficacia del cumplimiento del Convenio de Estocolmo .....	87
6.9. Conclusiones.....	89
7. Propuesta de Programa de Monitoreo ambiental de Compuestos Orgánicos Persistentes para México.....	92
7.1. Diagnóstico de la situación actual de COP .....	94
7.2. Identificación de profesionistas e instituciones involucradas .....	95
7.3. Identificación de las necesidades de fortalecimiento de capacidades .....	95
7.4. Objetivos del programa de monitoreo.....	96
7.5. Características del programa de monitoreo de COP .....	97
7.6. Definición de parámetros ambientales .....	98
7.7. Matrices ambientales .....	100
7.8. Definición de otros parámetros.....	102

7.9. Definición y selección de los sitios de muestreo.....	102
7.10. Selección de metodologías de muestreo y técnicas analíticas .....	109
Acrónimos.....	111
Referencias .....	115
Anexos .....	120
Anexo 1. Ejemplo de gráficos del almacén de datos de GMP .....	120
Anexo 2. Plan de aseguramiento de calidad .....	123



## CUADROS

Cuadro 1. Indicadores socioeconómicos de acuerdo con el Banco Mundial .....	12
Cuadro 2. Categorías de suelos presentes en México. ....	15
Cuadro 3. Principales indicadores ambientales de acuerdo con el Banco Mundial. ....	16
Cuadro 4. COP incluidos en el Convenio de Estocolmo 2021. ....	18
Cuadro 5. Planes de acción del PNI 2007. ....	21
Cuadro 6. Inventario de BPC 2016 .....	26
Cuadro 7. Comparación de Inventarios de Liberaciones de PCDD/F - México 2004 y 2013..	28
Cuadro 8. Comparativo entre inventarios generados a lo largo del tiempo. ....	37
Cuadro 9. Importaciones de Endosulfán de 2010 a 2013. ....	38
Cuadro 10. Registros sanitarios de plaguicidas y nutrientes vegetales relacionados con el Pentaclorofenol. ....	39
Cuadro 11. Sitios contaminados y potencialmente contaminados reportados por la SEMARNAT. ....	41
Cuadro 12. Liberaciones de PCDD/F 2013 – Resumen por Categoría Principal.....	44
Cuadro 13. Inventario nacional BPC, 2010.....	46
Cuadro 14. Consumo Aparente de Poliuretano en México, 1998-2004.....	48
Cuadro 15. Cálculo de COP-PBDE en los vehículos Registrados en 1975-2004.....	49
Cuadro 16. Contenido de plásticos en aparatos electrónicos .....	51
Cuadro 17. Estimación del OctaBDE contenido en el inventario computadoras de escritorio y televisores en 2005 .....	51
Cuadro 18. Consumo Nacional de Poliestireno en México (Toneladas).....	53
Cuadro 19. Importaciones Netas de HBCD en México, 2003-2015.....	53
Cuadro 20. Importación de productos con PFOS en su composición.....	56
Cuadro 21. Exportación de SCCPs de 2010 a 2015.....	57
Cuadro 22. Importaciones de SCCPs de 2010 a 2015. ....	57
Cuadro 23. Principales hallazgos del estudio sobre COP en el Valle del Yaqui, Sonora .....	61
Cuadro 24. Principales hallazgos de estudios previos sobre COP en el Valle del Yaqui .....	62
Cuadro 25. Resumen de resultados del estudio de COP en sangre materna en el Valle del Yaqui, Sonora .....	67
Cuadro 26. Resumen de los resultados obtenidos en ciudades mexicanas sobre muestras de sangre .....	69
Cuadro 27. STPB del monitoreo realizado en Mapimí, Durango. ....	73
Cuadro 28. Estudios epidemiológicos llevados a cabo en México 2007-2016.....	75
Cuadro 29. Monitoreo ambiental de plaguicidas organoclorados en México (2007-2016) .....	76
Cuadro 30. Monitoreo en alimentos de plaguicidas organoclorados en México (2008-2016).77	
Cuadro 31. Sitios que han monitoreado COP en México en la matriz Aire.....	79
Cuadro 32. Técnicas de laboratorio por tipo de contaminantes persistentes.....	110
Cuadro 33. Lista de elementos de un Plan de QA.....	124

## FIGURAS

Figura 1. Población de México por entidad federativa en 2020. ....	11
Figura 2. Exportaciones totales de Pentaclorofenol, 2010 a 2019. ....	40
Figura 3. Ubicación de los sitios de monitoreo de la matriz Aire en México .....	80
Figura 4. Resultados de COP básicos en muestras de aire en las 8 campañas llevadas a cabo entre 2017 y 2018. ....	81
Figura 5. Concentración en la matriz Aire de p,p-DDE en México en comparación con los países GRULAC .....	82
Figura 6. Concentración en Aire de la SUMA 6 DDTs en México en comparación con los países GRULAC.....	83
Figura 7. Concentración en Aire de la SUMA 6 PCBs en México en comparación con los países GRULAC.....	84
Figura 8. Concentración de PFHxS, PFOA y PFOS en agua de México 2017- 2018.....	85
Figura 9. Resultados de COP en muestras de leche materna de México campaña 2017.....	86
Figura 10. Concentraciones de dioxinas en aire ambiente en Sonora y Yucatán 2012 y 2013. ....	87
Figura 11. Concentraciones de Dieldrín en aire ambiente en Tláhuac, Ciudad de México y Montes Azules, Chiapas.....	87
Figura 12. Concentraciones de PCB en aire ambiente en tres localidades de México.....	88
Figura 13. Concentraciones de DDT en aire ambiente en Montes Azules, Chipas en 2010 y 2011 .....	88
Figura 14. Fases del programa de monitoreo de COP- .....	93
Figura 15. Componentes del programa de monitoreo de COP-.....	94

## 1. PERFIL DE PAÍS

---

México es una república representativa y democrática, conformada por 32 estados libres y soberanos. El Gobierno Federal está integrado por los Poderes Ejecutivo, Legislativo y Judicial. El Poder Ejecutivo está depositado en el presidente; el Poder Legislativo reside en el Congreso de la Unión, integrado por el Senado y la Cámara de Diputados y el Poder Judicial lo ostenta la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SRE, 2013).

Cuenta con una superficie territorial de 1,964,375 km<sup>2</sup> y está situado en la parte meridional de América del Norte, colinda al norte con Estados Unidos, al sureste con Belice y Guatemala, al oriente con el Golfo de México y el Mar Caribe y al poniente con el Océano Pacífico. En América, ocupa el quinto lugar en extensión territorial.



## 1.1. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

Según proyecciones de población de México al año 2021, se registraron 128,972,439 habitantes en el país, de los cuales 63,139,259 son hombres y 65,833,180 mujeres. El grupo de edad de 15 a 64 años representaba la mayor población a nivel nacional. En 2020, el Estado de México fue la entidad federativa más poblada con 16,992,418 personas, seguida de la Ciudad de México con 9,209,944 y Jalisco con 8,348,151 (INEGI, 2022).

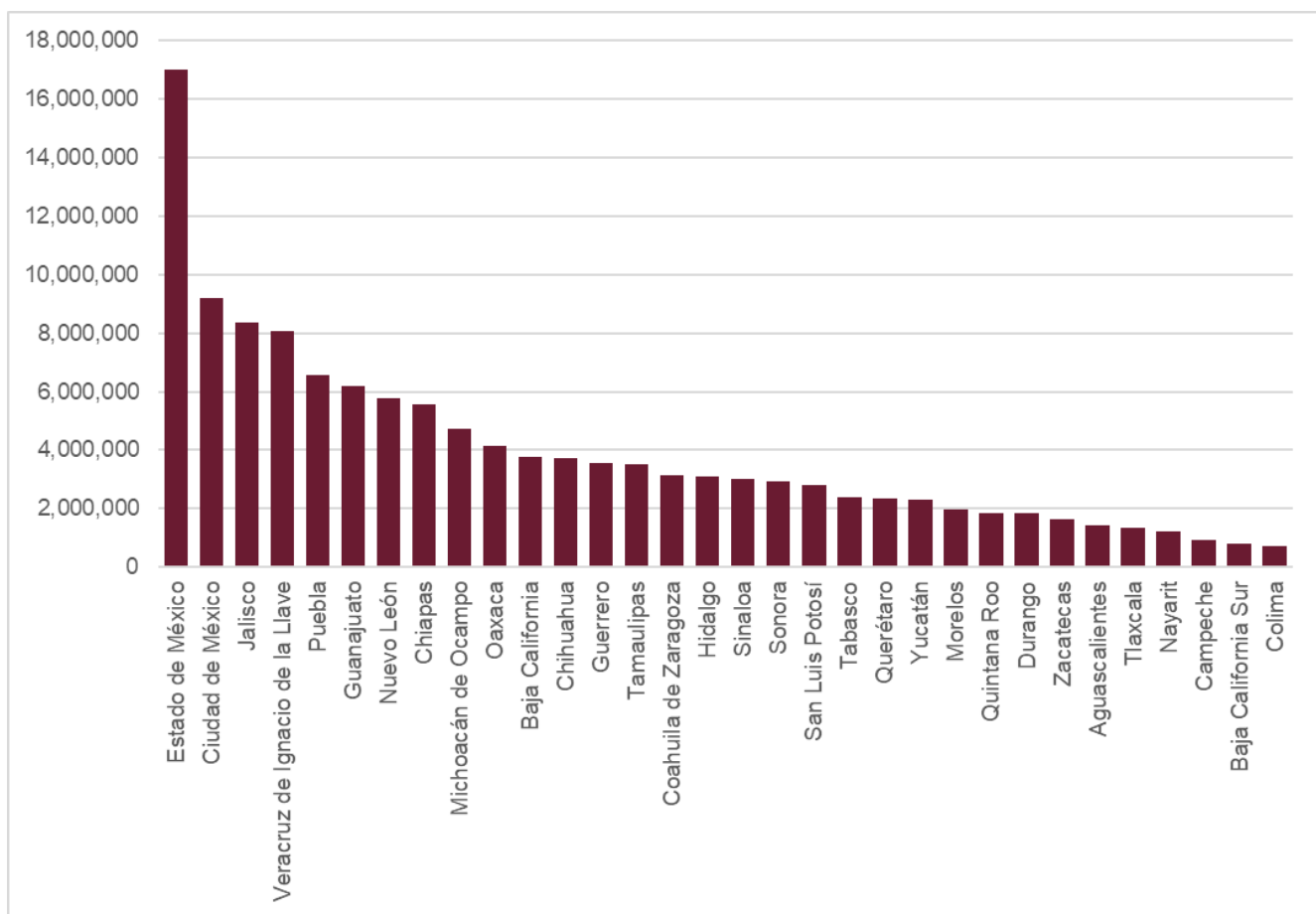


Figura 1. Población de México por entidad federativa en 2020.

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020.

Al 2020, el 73.5% de la población contaba con algún servicio público de salud (INEGI, 2020). En 2021, 57,668,000 personas eran económicamente activas, lo que representaba el 59% de la población económicamente activa. El sector económico terciario es el que registró la mayor ocupación con 34,296,100

individuos.<sup>1</sup> Los principales indicadores socioeconómicos de acuerdo con el Banco Mundial se muestran a continuación:

Cuadro 1. Indicadores socioeconómicos de acuerdo con el Banco Mundial

- Esperanza de vida al nacer: 70 años (2020)
- Población económicamente activa mayor de 15 años: 60% (2021)
- Tasa de alfabetización en personas de 15 años o más: 95% (2021)
- Población que utiliza servicios básicos de agua potable: 100% (2020)
- Población que utiliza al menos servicios básicos de saneamiento: 92% (2020)
- Producción pesquera total anual: 1,790,586 toneladas métricas (2020)
- Población con acceso a la electricidad: 99.4 % (2020)
- Porcentaje de tierras agrícolas: 21.8% (2020)
- Consumo de energía eléctrica per cápita: 2,186 kWh (2014)
- Consumo de energía renovable sobre la energía total: 10.34% (2019)

Fuente: (Banco Mundial , 2023)

## 1.2. ASPECTOS FÍSICOS

### 1.2.1. Clima y temperatura

El clima que prevalece en su mayoría es seco en la parte norte y noroeste del país (51.08%), seguido del clima cálido en el sureste (25.9%), le sigue el clima templado en el centro del país (23.01%) y el clima frío en menor proporción (0.01%); este último, presente en las Entidades con mayores elevaciones como es el caso del Estado de México, Morelos, Puebla y Veracruz (INEGI, 2022). En el clima cálido la temperatura media anual es mayor a los 22°C, en el clima templado la media anual oscila entre 12° y 18°C y en frío la media anual es menor de 12°C. Por otro lado, el promedio anual de precipitación de 2005 a 2021 fue de 778 mm (SEMARNAT, Gobierno de México, s.f.).

---

<sup>1</sup> Este sector comprende comercio; restaurantes y servicios de alojamiento; transportes, comunicaciones, correo y almacenamiento; servicios profesionales, financieros, y corporativos; servicios sociales; servicios diversos; y, gobierno y organismos internacionales.

## 1.2.2. Geografía y relieve

Las principales cumbres son el Volcán Pico de Orizaba con una altitud de 5,610 metros sobre el nivel del mar (msnm) ubicado en el Estado de Veracruz de la Llave, así como el Volcán Popocatepetl ubicado en los Estados de México, Morelos y Puebla con una altitud de 5,500 msnm y el Volcán Iztaccíhuatl ubicado en el Estado de México y Puebla, con una altitud de 5,220 msnm.

Las principales regiones naturales son: árida con 28.4% del territorio nacional, seguida de la región templada con 23.4%, la región semiárida con 19.9%, el trópico seco con 16.1% y el trópico húmedo con 12.2%. Las principales ecorregiones naturales terrestres son: los desiertos con 29.1% del territorio, la sierra templada con 21.1% y la selva cálida seca con 16.6%.<sup>2</sup>

## 1.2.3. Hidrografía

Los ríos, arroyos y cuerpos de agua de México constituyen una red hidrográfica de 633,000 km de longitud (SEMARNAT, Gobierno del Estado, s.f.). En el país existen cerca de 42 ríos principales que transcurren en tres vertientes: occidental o del Océano Pacífico, oriental o del Océano Atlántico (Golfo de México y Mar Caribe) y la interior cuyos ríos desembocan en lagunas interiores. En la vertiente del Pacífico destacan las cuencas de los ríos Yaqui, Fuerte, Mezquital, Lerma-Santiago y Balsas; en la costa del Golfo de México destacan las cuencas de los ríos Bravo, Pánuco, Papaloapan, Grijalva y Usumacinta. Debido al régimen climático del país, en casi todos los ríos existe una diferencia notable entre el volumen de agua que llevan en la época de secas y el de lluvia. Esta variación está acentuada por las obras de retención de agua y su uso para irrigación, de tal manera que muchos de los ríos que originalmente eran permanentes, ahora se vuelven intermitentes, por lo menos en algunos tramos de su recorrido (Gobierno de México).

---

<sup>2</sup> Las ecorregiones son una regionalización que considera condiciones climatológicas, geológicas y edafológicas similares que representan diferentes ecosistemas de una región. Para su agrupación se toma en cuenta tipos de vegetación con estructura y composición de especies similares; también rasgos fisiográficos (sierras, mesetas, planicies y cuencas), y elementos del clima como humedad y temperatura.



#### 1.2.4. Disponibilidad de recursos hídricos

La disponibilidad natural media de agua en el país es de 451.6 km<sup>3</sup> al año. De ese volumen, alrededor del 80% corresponde al escurrimiento superficial (359.04 km<sup>3</sup> en 2017) y el restante 20% (92.5 km<sup>3</sup>) contribuye a la recarga de los acuíferos. A nivel nacional, en 2016 se promediaron 252 litros de agua por habitante, un volumen superior al mínimo recomendado por la Organización de Naciones Unidas de 150 litros diarios (SEMARNAT, Gobierno de México, s.f.).

En México, la agricultura es el sector que más agua consume, en 2017 recibió 76% del volumen concesionado (66,799 hm<sup>3</sup>), principalmente para riego, incluyendo actividades pecuarias y acuícolas. El abastecimiento público es el segundo sector con mayor consumo de agua en el país; en 2017 utilizó el 14.4% del volumen total concesionado, siendo su principal fuente de abasto los acuíferos (58% del volumen para este uso, 7,378 hm<sup>3</sup>); durante el periodo 2001 a 2017 la demanda de agua superficial asignada a este sector creció 59%, es decir, pasó de 3,306 a 5,250 hm<sup>3</sup> (SEMARNAT, Gobierno de México, s.f.).

La industria autoabastecida y de generación de energía eléctrica utilizó alrededor del 9% del agua concesionada en 2017. Respecto a su fuente de abasto, lo dominan las aguas superficiales (que osciló entre 68 y 77% en el periodo 2001 y 2017, esto es, entre 5,074 y 5,659 hm<sup>3</sup>, respectivamente), sin embargo, la extracción de agua subterránea para la industria aumentó poco más del 68.6% entre 2001-2017 alcanzando 2,683 hm<sup>3</sup> (SEMARNAT, Gobierno de México, s.f.).

#### 1.2.5. Descargas residuales

Para 2016, el volumen de aguas residuales provenientes de las descargas municipales fue de aproximadamente 7.2 miles de hm<sup>3</sup> al año, equivalente a 228.9 m<sup>3</sup>/s, de las cuales se colectaron en los sistemas de alcantarillado 6.69 miles de hm<sup>3</sup> al año (212 m<sup>3</sup>/s; 92.6% del generado) y se trataron 3.9 miles de hm<sup>3</sup> en el mismo periodo (123.6 m<sup>3</sup>/s; 58.3% del colectado). Las entidades que generaron los mayores caudales de aguas residuales municipales son el Estado de México (31.7 m<sup>3</sup>/s), la Ciudad de México (21.4 m<sup>3</sup>/s), Jalisco (14.3 m<sup>3</sup>/s),

Veracruz (13.4 m<sup>3</sup>/s), Nuevo León (12.6 m<sup>3</sup>/s) y Sonora (10.2 m<sup>3</sup>/s), que en conjunto aportaron alrededor del 45% del volumen nacional generado para 2016 (SEMARNAT, Gobierno de México, s.f.). El número de plantas de tratamiento también se incrementó, mientras que en 1992 sólo operaban 394 plantas municipales, en 2016 operaban 2,536 plantas municipales y 3,041 plantas industriales.

### 1.2.6. Suelo

El país presenta una gran diversidad de suelos, 25 de las 28 categorías de suelos reconocidas en el mundo están presentes en México y 10 de ellas conforman 74% de la superficie nacional:

Cuadro 2. Categorías de suelos presentes en México.

Categoría	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje
Leptosol	467,978	23.96
Regozol	361,335	18.5
Calcisol	355,475	18.2
Feozen	189,457	9.7
Vertisol	162,112	8.3
Arenosol	121,096	6.2
Cambisol	91,799	4.7
Luvisol	46,876	2.4
Gleysol	29,297	1.5
Alisol	29,297	1.5
Otros	98,440	5.04
<b>Total</b>	<b>1,953,162</b>	<b>100</b>

Fuente: CONABIO.

En cuanto a la agricultura, la superficie sembrada en 2021 fue de 21,672,717.44 hectáreas y la cosechada 20,737,077.18 (SEMARNAT, s.f.).

### 1.2.7. Biodiversidad

México posee de 10 a 12% de las especies del mundo, la cifra de especies oscila entre 180,000 y 216,000 del total mundial. Además de la elevada riqueza de



especies en México, existen también especies endémicas o propias del territorio. Los porcentajes de especies del mundo presentes en el país resultan notoriamente mayores que la proporción de superficie terrestre que México representa del total mundial (1.4%), lo que evidencia su importancia como país megadiverso. En el país se encuentran la mayoría de los ecosistemas presentes en el planeta, esto se debe a la heterogeneidad del medio físico y su posición geográfica (SEMARNAT, Gobierno de México, 2021).

### 1.2.8. Generación de residuos sólidos urbanos

La generación per cápita de residuos sólidos urbanos es de 0.944 kg/hab/día y la generación total de residuos en el país se estima en 120,128 t/día. Las Entidades Federativas que más generan estos residuos son: Estado de México, Ciudad de México y Jalisco con 16,739; 9,552 y 7,961 toneladas por día, respectivamente. Los residuos susceptibles de aprovechamiento representan el 31.55%, los residuos orgánicos el 46.42% y otros 22.03% (SEMARNAT, Gobierno de México, 2020).

Los principales indicadores ambientales se muestran a continuación:

Cuadro 3. Principales indicadores ambientales de acuerdo con el Banco Mundial.

- Emisiones de gases de efecto invernadero totales (CO<sub>2</sub> equivalente): 653.870 kt (2019)
- Emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita: 3.6 toneladas métricas (2019)
- Emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por el transporte: 41.7% del total de la quema de combustible (2014)
- Población expuesta a niveles que exceden la concentración máxima de PM<sub>2.5</sub> recomendada por la Organización Mundial de la Salud: 99.7% (2017)
- Área selvática: 33.8% (2020)
- Extracción anual de agua dulce, total: 22% de sus recursos internos (2019)
- Porcentaje de áreas protegidas terrestres y marinas: 18.9 % (2021)

Fuente: (Banco Mundial , 2023)

## 2. MARCO DE REFERENCIA

---

El 23 de mayo de 2001, México firmó el Convenio de Estocolmo (CE) sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), el Senado de la República lo aprobó el 3 de diciembre de 2002 y lo ratificó el 10 de febrero de 2003. Antes de la firma, México ya tenía avances en el estudio y regulación de algunos de los contaminantes persistentes, como resultado de las actividades desarrolladas en el marco de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), ya que dentro del grupo de Manejo Adecuado de Sustancias Químicas se formaron grupos de trabajo como los de DDT, bifenilos clorados, dioxinas y furanos y el de monitoreo y evaluación ambiental.

Los resultados obtenidos en esos grupos de trabajo fueron fundamentales para fortalecer las acciones consideradas en el Plan Nacional de Implementación (PNI) elaborado en el 2007. Algunos de estos avances fueron: inventario y normatividad para bifenilos policlorados (BPC); prohibición de la importación, fabricación, formulación, comercialización y uso de plaguicidas COP (aldrín, dieldrín, endrín y mirex); la restricción de todos los usos del DDT, excepto para la salud pública e inventarios preliminares y algunos instrumentos de regulación de los COP No Intencionales (COPNI).

Por otra parte, el marco legal ambiental de México como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y su Reglamento, el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), entre otros, han permitido dar cumplimiento con los compromisos ante el Convenio.

Así mismo, la colaboración internacional ha jugado un papel muy importante en el proceso de elaboración del PNI en el 2007 con el apoyo del Fondo Mundial Ambiental (GEF, por sus siglas en inglés) y su actualización en el 2016 con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), así como del Programa de las Naciones para el Medio Ambiente

(UNEP, por sus siglas en inglés) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, por sus siglas en inglés) en el fortalecimiento de capacidades, elaboración de inventarios y de estudios sobre los COP. Los COP incluidos en el CE se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. COP incluidos en el Convenio de Estocolmo 2021.

	Sustancia química	Acrónimo	Categoría	Anexo
1	Aldrin		P	A
2	Alfa-hexaclorociclohexano	$\alpha$ -HCH	P	A
3	Beta-hexaclorociclohexano	$\beta$ -HCH	P	A
4	Clordano		P	A
5	Clordecona		P	A
6	Éter de decabromodifenilo	Deca-BDE	I	A
7	Dicofol		P	A
8	Diclorodifeniltricloroetano	DDT	P	A
9	Dieldrin		P	B
10	Endosulfán		P	A
11	Endrin		P	A
12	Gamma-hexaclorociclohexano	$\gamma$ -HCH	P	A
13	Heptacoloro		P	A
14	Hexabromobifenilo	HBB	P	B
15	Hexabromociclododecano	HBCD	I	A
16	Éter de hexabromodifenilo y éter de heptabromodifenilo	Octa BDE	P	A
17	Hexaclorobenceno	HCB	I, P, UP	A
18	Hexaclorobutadieno	HCBD	I, UP	A y C
19	Mirex		P	A y C
20	Pentacolorobenceno	PeCB	I, P, UP	A
21	Pentacolorofenol, sus sales y ésteres	PCP	P	A y C
22	Ácido perfluorooctano sulfónico	PFOS	I, P	A
23	Ácido perfluorooctanoico	PFOA	I	B
24	Ácido perfluorohexano sulfónico, sus sales y compuestos relacionados	PFHxS	I	A
25	Bifenilos policlorados	BPC	I, UP	A
26	Dibenzo-para-dioxinas policloradas	PCDD	UP	A y C
27	Dibenzofuranos policlorados	PCDF	UP	C
28	Naftalenos policlorados	PCN	I, UP	C
29	Parafinas cloradas de cadena corta	SCCPs	I	A y C
30	Éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo	PBDE	P	A
31	Toxafeno		P	A

P = Plaguicida, I = Industrial, UP = Producción no intencionada

Anexo A = Eliminación, Anexo B = Restricción, Anexo C = Producción no intencionada

## 2.1. PLANES NACIONALES DE IMPLEMENTACIÓN

A la fecha, México ha elaborado un PNI en el 2007 y una actualización en el 2016.

### 2.1.1. Plan Nacional de implementación (PNI) 2007

El PNI 2007 se dividió en grandes temas a través de los cuales se delinearon los planes de acción:

- Mejora del régimen jurídico y de la capacidad institucional para la gestión de COP y otras sustancias tóxicas.
- Evaluación de los efectos de los COP en la salud y el ambiente, así como de sus implicaciones socioeconómicas.
- Eliminación de BPC.
- Eliminación de la liberación al ambiente de plaguicidas que son COP.
- Reducción o eliminación de la liberación al ambiente de COPNI.
- Desarrollo de capacidades analíticas confiables sobre plaguicidas COP, BPC, HCB (Hexaclorobenceno), dioxinas y furanos.
- Integración de inventarios de información sobre COP en un sistema de información sobre COP (SISCOP).
- Comunicación, sensibilización y participación ciudadana.

Con relación a la situación de los BPC, México publicó en el 2001 la NOM-133-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de protección ambiental para el manejo de equipos, equipos eléctricos, equipos contaminados, líquidos, sólidos y residuos peligrosos que contengan o estén contaminados con BPC y los plazos para su eliminación, mediante su desincorporación, reclasificación, descontaminación o eliminación.

Los volúmenes de BPC tratados en el país, así como los exportados de acuerdo con los registros de la SEMARNAT de 1995 a 2006 de los reportes de tratamiento de las empresas autorizadas fueron de 3,625 toneladas de BPC, y de exportación

15,237.6 toneladas; dando un total descontaminado, tratado o eliminado durante ese periodo de 18,862.6 toneladas.

En un inventario realizado en el 2007 se identificaron 571.35 t con la hoy extinta compañía de Luz y Fuerza del Centro como la poseedora de prácticamente el 100% de ese volumen de BPC. Adicionalmente, Petróleos Mexicanos (PEMEX) Refinación reportó la existencia de 763 kilogramos de BPC y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) informó acerca de 772.74 toneladas de BPC en equipos en operación y 182.96 toneladas almacenadas (SEMARNAT, 2007).

Respecto a la situación de los plaguicidas COP en el 2007 se elaboró un inventario, el cual reportó la presencia de DDT, clordano y heptacloro. La existencia de DDT reportada (101,950.50 Kg) se encontraba en poder de la Secretaría de Salud para su eliminación. El clordano y el heptacloro se encontraron en un municipio del Estado de Veracruz, con 5 kilos y 100 litros, respectivamente. Además, se reportó la existencia de 500 m<sup>3</sup> de una mezcla de lindano- malatión en los viveros de Coyoacán de la Ciudad de México.

Con relación a los COPNI, en un inventario realizado en el 2004 se reportó una emisión de 712,78 g-EQT de dioxinas y furanos siendo los principales emisores los procesos de combustión no controlada: incendios en vertederos o tiraderos de residuos; combustión doméstica (quema de leña); quema no controlada de residuos domésticos; quema de residuos agrícolas; incineración de residuos hospitalarios; y la producción de cal y acero. Destacando los incendios en vertederos con 224.50 g-EQT.

Respecto a las capacidades analíticas se realizó una encuesta donde 26 laboratorios mostraron capacidad para el análisis de COP plaguicidas y algunos COP industriales, mientras que 5 de ellos manifestaron su interés en desarrollar capacidades para el análisis de COP no intencionales.

Cuadro 5. Planes de acción del PNI 2007.

Plan de Acción	Objetivo	Indicadores
<p>1. Mejora del régimen jurídico y de la capacidad institucional para la gestión de COP y otras sustancias tóxicas.</p>	<p>Que México cuente con un marco jurídico apropiado e instituciones fortalecidas para dar cumplimiento efectivo, eficaz y eficiente a lo dispuesto en el Convenio de Estocolmo.</p>	<p>Al finalizar la ejecución del plan de acción se conocerá si se ha alcanzado su objetivo tomando en consideración:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El porcentaje de eliminación de las existencias de plaguicidas COP caducados y de bifenilos policlorados respecto a la línea de base en el inventario original.</li> <li>• La tendencia decreciente de los niveles de dioxinas y furanos en distintas matrices reportada por el PRONAME.</li> <li>• La tendencia decreciente de la liberación de COP estimada y reportada en el RETC.</li> <li>• La disminución de la liberación estimada de dioxinas y furanos reportada en el inventario basado en la revisión del instrumental del PNUMA respecto a la línea base.</li> <li>• La reducción de emisiones de dioxinas y furanos medidas conforme a las normas vigentes respecto al total de emisiones de línea base (antes de iniciar la implementación del plan).</li> <li>• Porcentaje de disminución anual de la exposición a dioxinas y furanos por la combustión de leña intramuros respecto a la línea base (en una muestra representativa de la población expuesta).</li> <li>• La reducción del número de sitios sensibles contaminados respecto del total de sitios contaminados con COP (contra la línea base del inventario original).</li> <li>• Porcentaje de programas de las dependencias gubernamentales diseñados con base en las políticas públicas en materia de gestión de COP.</li> </ul>
<p>2. Para la evaluación de los efectos de los COP en la salud y el ambiente, así como de sus</p>	<p>Que se prevengan o reduzcan los riesgos para la salud humana, a la biota acuática y terrestre, y al ambiente derivados de la contaminación por</p>	<p>Al finalizar la ejecución del plan de acción se conocerá si se ha alcanzado su objetivo a través de la determinación de los niveles de exposición humana y de organismos de la biota acuática y terrestre a los COP, y de los riesgos e implicaciones socioeconómicas que de ello derivan, tomando en consideración:</p>



Plan de Acción	Objetivo	Indicadores
implicaciones socioeconómicas.	COP y sus impactos socioeconómicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las tendencias de los COP en diferentes medios y matrices establecidas a partir de datos generados por el PRONAME.</li> <li>• Los inventarios de eliminación de existencias de plaguicidas COP, BPC, y de COP no intencionales.</li> <li>• Los datos proporcionados por el RETC.</li> <li>• Los datos del monitoreo de dioxinas y furanos en fuentes sujetas a normas.</li> <li>• Los resultados de proyectos de investigación para determinar niveles de COP en distintos medios y matrices.</li> <li>• Las estadísticas de morbilidad y mortalidad por enfermedades cuyo origen se asocia a la exposición a COP.</li> <li>• Los datos sobre los costos de atención a la salud por enfermedades posiblemente relacionadas con COP y otros relevantes.</li> </ul>
3. Eliminación de BPC.	Que las existencias de BPC se eliminen de manera segura, ambientalmente adecuada, económicamente viable y verificable; y que los sitios contaminados con BPC sean inventariados, cuantificados y priorizados; para evitar o reducir los riesgos al ambiente y a la salud humana asociados con los BPC.	<p>Al finalizar el proyecto se podrá evaluar la eficacia del plan de acción a partir de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobre la cantidad de equipos que contienen BPC y materiales contaminados con ellos cuya existencia y situación se confirmó y registró como línea base.</li> <li>• Sobre las tendencias hacia el incremento en la desincorporación y eliminación de equipos en operación que contienen BPC.</li> <li>• Sobre la eliminación de existencias de BPC almacenadas.</li> <li>• De los niveles decrecientes de BPC en distintas matrices y lugares del país evaluados a través del PRONAME y los estudios realizados por grupos de investigación con capacidad analítica confiable e intercomparados.</li> <li>• Sobre el número de sitios contaminados con BPC sujetos a medidas para reducir sus riesgos/total inventariado.</li> </ul>

Plan de Acción	Objetivo	Indicadores
<p>4. Eliminación de la liberación al ambiente de plaguicidas que son COP.</p>	<p>Que en México se eliminen las existencias de plaguicidas COP, se evite que se generen plaguicidas caducados y se prevengan o reduzcan los riesgos al ambiente y la salud de los sitios contaminados con ellos.</p>	<p>Al finalizar el plan de acción se conocerá si se ha alcanzado su objetivo, a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La cantidad de plaguicidas COP eliminados con respecto de los identificados en el inventario de línea base.</li> <li>• Datos de la verificación del cumplimiento de normas que fijan límites máximos de plaguicidas COP proporcionados por la PROFEPA.</li> <li>• Datos sobre niveles de COP en muestras representativas de alimentos de consumo nacional seleccionados como indicadores.</li> <li>• Datos del PRONAME y de grupos de investigación sobre niveles de plaguicidas COP en distintas matrices y medios.</li> <li>• El número de sitios contaminados con plaguicidas sujetos a medidas para reducir sus riesgos/total inventariado.</li> </ul>
<p>5. Reducción o eliminación de la liberación al ambiente de COPNI.</p>	<p>Que en México se reduzcan las liberaciones totales no intencionales de COP al ambiente de fuentes antropogénicas, con la meta de seguir reduciéndolas al mínimo y, en los casos en que sea viable técnica y económicamente, eliminarlas definitivamente.</p>	<p>Al finalizar el proyecto se conocerá si se ha alcanzado su objetivo, a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las tendencias en las estimaciones de la liberación de COPNI reportadas en el inventario correspondiente.</li> <li>• Los datos de liberaciones de COPNI reportados por el RETC.</li> <li>• Los resultados de los protocolos de prueba y mediciones de COPNI en fuentes industriales. Cuando sea técnica y económicamente factible.</li> <li>• Los datos de emisiones de incineradores y hornos de cemento sujetos a normas.</li> <li>• Los datos generados por el PRONAME.</li> <li>• La información generada por la Red de Monitoreo Ambiental de Dioxinas y Furanos en México.</li> <li>• Los resultados de un programa de monitoreo/seguimiento sobre la reducción de la quema de basura e incendios en una muestra representativa de vertederos que permitan identificar cambios/reducción en la frecuencia de COPNI.</li> </ul>



Plan de Acción	Objetivo	Indicadores
6. Desarrollo de capacidades analíticas confiables sobre plaguicidas COP, BPC, HCB, dioxinas y furanos.	Que el país cuente con capacidad analítica confiable para evaluar el impacto de las acciones que se desarrollen en el marco del PNI y ofrezca apoyo analítico a los países de la región de Centroamérica y el Caribe que lo requieran.	Porcentaje de laboratorios que participaron en los procesos de fortalecimiento que tienen capacidad para generar datos confiables, en el tiempo esperado, para construir tendencias en los niveles de todas las categorías de COP, en diferentes matrices y medios.
7. Integración de inventarios de información sobre COP en un sistema unificado (SISCOP).	Que México cuente con un proceso de integración de inventarios de información y un sistema de información sobre COP (SISCOP) que facilite la ejecución del PNI y la evaluación de su eficacia.	Al finalizar la ejecución del plan de acción se conocerá si se ha alcanzado su objetivo tomando en consideración la información de la que dispone el SISCOP para evaluar y dar a conocer: <ul style="list-style-type: none"> <li>• La información básica requerida para saber qué son los COP, cómo y dónde se originan, cuáles son sus efectos, cómo puede lograrse su eliminación o reducción, cuáles son sus implicaciones socioeconómicas, así como para conocer los resultados de la implementación del PNI.</li> </ul>
8. Comunicación, sensibilización y participación ciudadana.	Que México cuente con una estrategia efectiva y continua de comunicación y capacitación mediante la cual se logre la participación ciudadana informada y organizada en la puesta en práctica del PNI.	Porcentaje de una muestra seleccionada de la población objetivo que ha modificado sus conductas en la forma esperada en el tiempo esperado.

Fuente: (SEMARNAT, 2007)

## 2.1.2. Actualización del Plan Nacional de Implementación 2016

En el 2016, con el apoyo de la ONUDI, el Gobierno de México llevó a cabo la actualización del PNI 2007, considerando casi los mismos grupos temáticos:

- 1) Eliminación de la liberación al ambiente de plaguicidas que son COP.
- 2) Eliminación de BPC y los nuevos COP de uso industrial.
- 3) Reducción o eliminación de la liberación al ambiente de COP no intencionales.
- 4) Desarrollo de capacidades analíticas confiables sobre COP.
- 5) Evaluación de los efectos de los COP en la salud y el ambiente.
- 6) Fortalecimiento del marco jurídico e institucional para la gestión de COP y otras sustancias tóxicas.
- 7) Comunicación, sensibilización y participación ciudadana.

Dado que no se presentaron avances en el periodo, el 8º Plan de Acción sobre la Integración de inventarios de información sobre COP en un sistema de información sobre COP (SISCOP), en la actualización del PNI, la consolidación de este Sistema se mantiene como una acción prioritaria. Además, se incluyó un análisis de las implicaciones socioeconómicas de la acción y la inacción en la eliminación o reducción de los COP sujetos al Convenio de Estocolmo, así como una propuesta de seguimiento del cumplimiento de las acciones del PNI 2016 y de la evaluación de sus resultados (SEMARNAT, PNI, 2016).

Los principales hallazgos relacionados con los plaguicidas COP, identificados en este PNI, se muestran a continuación:

- Hay evidencia de que se comercializaron y se utilizaron seis plaguicidas que nunca han tenido registro para usarse: Heptacloro, HCB, Toxafeno, Pentaclorobenceno, Alfa y Beta-HCH.
- En proceso de cancelación el PFOS (sulfloramida) con registro vigente.
- Producción actual de pentaclorofenol (6,000 a 7000 ton/año). El 99.98% es exportado a Estados Unidos. Lo que queda en el país es utilizado para tratamiento de postes y crucetas por empresas impregnadoras de la CFE.

- Existe evidencia de que se formulan productos que contienen Pentaclorofenato de sodio.
- De las existencias reportadas en el PNI de 2007, se confirmó la destrucción de 89 toneladas de DDT, así como de 174 litros de lindano y 500 litros de lindano-malatión.
- Inventario de plaguicidas obsoletos en 2016: 84 registros recibidos (COP y no COP). (85.3 litros de endosulfán).
- Inventario de sitios contaminados puntuales: Se cuenta con 15 registros del Sistema de Información de Sitios Contaminados (SISCO).

En el tema de los COP industriales, los principales hallazgos, vinculados especialmente con los BPC fueron:

- Mejora de la regulación de BPC (basada en la NOM-133-SEMARNAT-2000) y de la capacidad de vigilancia.
- Fortalecimiento de capacidad analítica; capacitación en manejo adecuado de equipos y materiales contaminados con BPC.
- Destrucción de 6,004 toneladas de BPC, durante el periodo 2007-2015.

En el marco de la ejecución del Proyecto No. UNDP 00059701 “Manejo y Destrucción Ambientalmente Adecuados de Bifenilos Policlorados (BPC) en México” financiado por el GEF, con el soporte del PNUD, se logró hacer una estimación con el 95% de certidumbre del inventario nacional de BPC; así como la identificación de transformadores conteniendo BPC en sitios sensibles.

Cuadro 6. Inventario de BPC 2016

Contenido BPC (ppm)	Aceites con BPC (ton)	Carcasas (ton)	Total en equipos (ton)
Mas de 500	1,808.2	4,128.70	6,026.72
De 50 a 500	9,492.08	22,148.20	31,640.28
Subtotal	11,300.10	26,366.90	37,667.00
De 5 a 49.9	27,145.00	63,888.00	91,033.00

Fuente: (SEMARNAT, PNI, 2016)

Con relación a los otros COP industriales:

- No se cuenta con información precisa sobre el mercado de sustancias PFOS en México.
- El PentaBDE-c, utilizado como retardante de flama entre 1970 y 2004, se encuentra en productos que están aún en uso, o en importantes volúmenes de residuos de productos que han llegado al fin de su vida útil, como alfombras, vestiduras en muebles, colchones y espumas de poliestireno. Conforme a las estimaciones realizadas, hasta el 2004, se vendieron en México 23,200,595 unidades que incluyen automóviles y vehículos de pasajeros y carga, de los cuales el 60% siguen en circulación, donde se esperaba que finalizaran su vida útil en el 2021. Lo anterior, significa que es necesario disponer adecuadamente de 1,950 toneladas de PentaBDE-c presentes en vestiduras de vehículos (SEMARNAT, PNI, 2016).
- En el caso del Octa-DBE-c se calculó el volumen de las existencias de computadoras, sus monitores y los televisores con cinescopio de rayos catódicos fabricados antes del 2005, lo cual arroja una cantidad de 21.8 millones de aparatos de TV y 5.3 millones de computadoras y sus monitores con un contenido total plástico de alrededor de 242.4 mil toneladas contaminadas con 239.5 toneladas de OctaBDE-c. Por su parte, el contenido de OctaBDE-c se estimó, para el caso de la fracción plástica, en los monitores de computadoras en 2.54 kg por tonelada métrica; para las computadoras 0.15 kg/ton, y para los televisores 0.87 kg por tonelada.
- El HBCD, se importa y se usa en México como retardante de flama principalmente en la fabricación de poliestireno para paneles de construcción, y su consumo total se estima en 5,961 toneladas durante el periodo de 2003 a mayo de 2015.

En cuanto a las liberaciones de dioxinas y furanos, fue actualizado el Inventario de liberaciones de PCDD/F de México –año base 2004– Revisión 2012 utilizando como año base el 2013 y aplicando los factores de liberación por defecto establecidos en el kit de herramientas del PNUMA. En algunos casos se utilizaron los factores de liberación establecidos en el Inventario del 2004 debido a que correspondían a factores particularmente desarrollados en México (Maíz, 2016).

Cuadro 7. Comparación de Inventarios de Liberaciones de PCDD/F - México 2004 y 2013

Categoría Principal	Fuente	Liberación PCDD/F Mejor Aproximado		Tendencia (k)	Notas
		2004 (g I-EQT <sub>DF</sub> )	2013 (g I-EQT <sub>DF</sub> )		
1	Incineración de Desechos	121	245	Aumenta	(a)
2	Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos	242	361	Aumenta	(b)
3	Generación de Energía y Calor	84,8	30,7	Disminuye	(c)
4	Productos Minerales	36,5	10,2	Disminuye	(d)
5	Transporte	4,73	5,35	Sin Cambio	(e)
6	Procesos de Combustión a Cielo Abierto	2 439	1 314	Disminuye	(f)
7	Producción y Uso de Sustancias/Productos Químicos y Bienes de Consumo	6 757	4 064	Disminuye	(g)
8	Varios	2,10	4,49	Sin Cambio	(h)
9	Disposición Final/Rellenos Sanitarios	35,1	14,1	Disminuye	(i)
<b>Liberación Total PCDD/F</b>		<b>9 722</b>	<b>6 049</b>	<b>Disminuye</b>	<b>(j)</b>

**Notas:**

- (a) La Categoría Principal de Incineración de Desechos aumentó casi al doble del 2004 al 2013. La falta de información clara sobre las cantidades de residuos peligrosos y desechos médicos sugiere que parte de la diferencia entre ambos inventarios se deba a la incertidumbre de la estimación de la Actividad de estas fuentes. En el 2013 aumentó la cantidad de residuos peligrosos y desechos médicos incinerados con respecto al 2004, lo cual provoca este incremento en liberación, aunado a que la falta de información sobre las tecnologías utilizadas haya orientado a asignar Factores de Emisión elevados para algunos incineradores con los que no se contaba con información. Las liberaciones totales de PCDD/F para la Incineración de Residuos Peligrosos aumentó de 84,52 a 188,9 g I-EQT<sub>DF</sub> del 2004 al 2013. Las liberaciones totales de PCDD/F para la incineración de desechos médicos subieron de 34,19 a 50,1 g I-EQT<sub>DF</sub> del 2004 al 2013. La incineración de Cadáveres Animales duplicó su Actividad de un inventario al otro, no obstante, el incremento en las liberaciones solo fue de 2,05 a 6,18 g I-EQT<sub>DF</sub>, lo cual es poco significativo contra las Sub-Categorías antes mencionadas.
- (b) La Categoría Principal de Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos aumentó sus liberaciones cerca de un 50% entre el 2004 y 2013. La mayoría de las Sub-Categorías incrementaron su Actividad en estos años, por lo cual se registró la mayor parte de este aumento en las liberaciones de PCDD/F. Los principales aportes al incremento fueron asociados a la fundición de hierro (incremento de 20,27 a 108,2 g I-EQT<sub>DF</sub>), la producción de aluminio secundario (incremento de 88,54 a 97,1 g I-EQT<sub>DF</sub>) y la producción de plomo secundario (incremento de 2,84 a 23,49 g I-EQT<sub>DF</sub>). La producción de zinc secundario presentó una reducción de 12 a 7,79 g I-EQT<sub>DF</sub> asociada a una reducción en su Actividad. La industria siderometalúrgica presentó una reducción de 24,39 a 16,67 g I-EQT<sub>DF</sub> asociados principalmente a que el aumento en la producción de acero se dio principalmente en hornos de arco eléctrico que utilizan MTD/MPA, lo cual conlleva un cambio en el Factor de Emisión al vector Residuo entre el 2004 y el 2013.
- (c) Las liberaciones de la Categoría Principal de Generación de Energía y Calor se redujeron en aproximadamente 54,1 g I-EQT<sub>DF</sub> del 2004 al 2013. Esta disminución se debe en mayor medida a cambios en los Factores de Emisión aplicados en ambos Inventarios los cuales no necesariamente se atribuyeron a un cambio en la tecnología de las Sub-Categorías. Por ejemplo, las liberaciones de Centrales de Energía de Biomasa redujeron su Factor de Emisión total de 500 a 100 µg I-EQT<sub>DF</sub>/TJ, lo cual resultó en combinación con una reducción en la Actividad de esta fuente, en una reducción de 38,36 g I-EQT<sub>DF</sub>. Otra Sub-Categoría con reducciones asociadas al cambio en sus Factores de Emisión es la calefacción y doméstica con biomasa,



la cual redujo sus liberaciones en 25,07 g I-EQT<sub>DF</sub> del 2004 al 2013 manteniendo su actividad prácticamente constante. Algunas otras Sub-Categorías reflejaron aumento en sus liberaciones provocado principalmente por un aumento en su Actividad, no obstante, la liberación total de la Categoría Principal resultó menor en el 2013.

- (d) La Producción de Productos Minerales redujo sus liberaciones en aproximadamente 26.3 g I-EQT<sub>DF</sub> del 2004 al 2013, lo cual se atribuye principalmente a una reducción de los Factores de Emisión asignados a la producción de cal, lo cual se atribuye a que la información manifestada en la COA 2013 por los distintos establecimientos incluía en la mayoría de los casos el uso de sistemas de control de emisiones a la atmósfera (situación que en la COA del 2004 no existió). La reducción de este sector se aproxima a 25 g I-EQT<sub>DF</sub>.
- (e) Las liberaciones de PCDD/F de la Categoría Principal de Transporte se mantuvieron, para fines prácticos, iguales. El ligero aumento se debe al aumento en la Actividad de este sector.
- (f) Los Procesos de Combustión a Cielo Abierto presentaron una disminución de 1 125 g I-EQT<sub>DF</sub>, la cual se debe en esencia a dos grandes cambios entre los Inventarios del 2004 y 2013. El primero fue una reducción substancial en la cantidad de desechos quemados de forma no controlada en incendios en vertederos, la cual se estimó en el 2004 como 1 039 351 Mg y en 20 066 Mg para el 2013. Esta reducción no necesariamente implicó que se dejaran de quemar los desechos, sino que esta quema se le atribuyó principalmente a la quema de desechos a nivel doméstico y no a los incendios en vertederos. De acuerdo con los estimados del INECC [117], la quema de residuos sólidos urbanos en el 2013 fue de 3 776 309 Mg, a diferencia de los 2 326 545 Mg estimados en el Inventario del 2004, sin embargo, en el 2013 se le atribuye la gran mayoría de esta quema al nivel doméstico y no a los Tiraderos/Vertederos (en el 2004 la distribución de la quema era relativamente equitativa). El segundo factor que contribuyó a esta reducción se asocia a que en la quema de desechos domésticos el Factor de Emisión al vector de residuos disminuyó de 600 a 1 µg I-EQT<sub>DF</sub>/Mg, provocando la reducción observada en esta Categoría.
- (g) La Categoría Principal de Producción y Uso de Sustancias/Productos Químicos y Bienes de Consumo presentó la principal reducción de 2 693 g I-EQT<sub>DF</sub>. Esta disminución se atribuye principalmente al cambio en el Factor de Emisión a Producto asociado a la producción de Pentaclorofenol (PCP), el cual en el 2004 se había asignado con un valor de 2 000 000 µg I-EQT<sub>DF</sub>/Mg, y para el 2013 el Kit de Herramientas del PNUMA lo modificó a 634 000 µg I-EQT<sub>DF</sub>/Mg, provocando una reducción de aproximadamente 2 717 g I-EQT<sub>DF</sub>.
- (h) Las liberaciones de PCDD/F de la Categoría Principal de Varios se mantuvieron, para fines prácticos, iguales. El ligero aumento se debe al aumento en la Actividad de este sector.
- (i) La Disposición Final/Rellenos Sanitarios redujo sus liberaciones de 35,1 a 14,1 g I-EQT<sub>DF</sub> entre el 2004 y 2013, lo cual se atribuye a un cambio en los Factores de Emisión aplicados a la Sub-Categoría de Desagües Cloacales y Tratamiento.
- (j) La disminución en las liberaciones totales de PCDD/F entre el 2004 y 2013 se debe principalmente a un cambio en los Factores de Emisión utilizados en ambos Inventarios.
- (k) La mayor parte de los aumentos en las liberaciones se asocian a aumentos en la Actividad de algunas Sub-Categorías, mientras que la mayor parte de las disminuciones se asocian a reducciones en los Factores de Emisión por Defecto observados en las distintas versiones del Kit de Herramientas del PNUMA utilizados para los Inventarios 2004 y 2013, respectivamente.

Fuente: Maíz, 2016.

En materia de capacidades analíticas se encontró lo siguiente:

- Existe capacidad para el análisis de plaguicidas COP, BPC y compuestos bromados.
- El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) cuenta con un laboratorio para el análisis de dioxinas y furanos en alimentos.
- No se han desarrollado capacidades analíticas para los nuevos COP.
- No se han realizado pruebas de intercomparabilidad entre laboratorios para COP.

- No se creó la Red Nacional de Laboratorios para el análisis de COP.
- La evaluación de la eficacia en el cumplimiento del Convenio de Estocolmo se atiende parcialmente.
- No existe un programa formal de monitoreo de COP y actualmente no se analizan los nuevos COP industriales.
- Para algunas matrices no existen LMP ni NOM para el análisis de COP.
- El Plan de Acción Regional sobre Evaluación y Monitoreo Ambiental de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (EMA) y el Programa Nacional de Monitoreo y Evaluación Ambiental del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), fueron cancelados.

El grupo de evaluación y efectos de los COP en la salud y ambiente identificó lo siguiente:

Existe una amplia diseminación en el país y exposición tanto de seres humanos como de otros organismos a COP, tales como: p,p-DDT, o,p-DDT, p,p-DDE, o,p-DDD, heptacloro,  $\infty$ -HCH, lindano, BHC, endrín,  $\delta$ -HCH,  $\beta$ -HCH, aldrín, heptacloro epóxi, diendrín, endosulfán, hexaclorobenceno, mirex, BPC y éteres de pentabromodifenilo (PBDEs por sus en inglés). La comparabilidad de los resultados de los análisis de algunos de estos estudios no está asegurada.

La CCA apoyó un estudio trinacional de la exposición a COP y metales en sangre de madres primerizas de México, Canadá y Estados Unidos. En 10 ciudades de México el 70% de las mujeres estudiadas mostraron exposición a congéneres de BPC, oxiclordano,  $\beta$ -HCH, y p,p'-DDE, además, a cadmio, plomo, mercurio total y níquel (SEMARNAT, PNI, 2016).

En materia legal, con relación al PNI de 2007, los avances fueron mínimos, en el 2009 se publicó el Reglamento de la LGPGIR que incorpora aspectos relacionados con BPC, compuestos clorados, sitios contaminados y establece las bases de los planes de manejo.

### 3. MARCO LEGAL

---

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece en su artículo 4° el derecho a la protección a la salud lo que dio cauce a incorporar el concepto de la protección a la salud humana en relación con los efectos adversos del ambiente.

La Ley General de Salud, establece el derecho a la protección de la salud y faculta a la Secretaría de Salud a regular, controlar y expedir o revocar las autorizaciones sanitarias a los establecimientos dedicados a la elaboración, fabricación o preparación de plaguicidas, nutrientes vegetales o sustancias tóxicas o peligrosas e incluye la emisión o revocación de autorizaciones sanitarias relativas al registro, importación y aplicación de plaguicidas.

La LGEEPA, establece las bases para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar y faculta a la SEMARNAT a llevar a cabo la regulación y el control de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente o los ecosistemas, entre los que se encuentran los plaguicidas y sustancias tóxicas. En su artículo 134 esta Ley estableció entre los criterios para la prevención y control de la contaminación del suelo que la utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar (SEMARNAT, PNI, 2016).

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos señala dentro de su articulado la obligación de elaborar planes de manejo para los residuos urbanos, de manejo especial y peligrosos.

La Secretaría de Salud, SEMARNAT y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), conforman la Comisión Intersecretarial para el Control del



Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST), cuyo Subcomité de Registros, Catálogos e Inventarios funcionaba como una “ventanilla única” para recibir y dictaminar conjuntamente sobre las solicitudes de autorizaciones de importación/exportación y Registro de plaguicidas y fertilizantes (SEMARNAT, PNI, 2016).

A la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) a través la Comisión de Evaluación de Riesgos le corresponde la regulación y control sanitario de los plaguicidas, nutrientes vegetales y sustancias tóxicas.

El *Reglamento en Materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Sustancias y Materiales Tóxicos o Peligrosos*, establece las bases siguientes para la participación intersecretarial en la aplicación de sus disposiciones:

A la COFEPRIS le corresponde:

- a) Autorizar el registro y expedir certificados de libre venta y exportación de plaguicidas y nutrientes vegetales;
- b) Otorgar permisos de importación de plaguicidas, nutrientes vegetales y sustancias tóxicas o peligrosas;
- c) Realizar las evaluaciones de riesgo correspondientes para establecer los límites máximos de residuos.

A la SEMARNAT le corresponde:

- a) Emitir opinión técnica respecto de la protección del ambiente en los casos que establece este Reglamento;
- b) Autorizar la importación y exportación de plaguicidas, nutrientes vegetales y sustancias y materiales tóxicos o peligrosos.

A la SADER le corresponde:

- a) Emitir opinión técnica sobre la efectividad biológica de plaguicidas y nutrientes vegetales y sobre los aspectos fitosanitarios de los límites máximos de residuos de plaguicidas, en los casos que establece este Reglamento;
- b) Determinar los plaguicidas de uso agrícola y de uso pecuario que se podrán utilizar en casos de emergencias fitozoosanitarias.

En materia de normas oficiales mexicanas se pueden mencionar las siguientes vinculadas a la gestión de los COP.

- La norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, incluye los siguientes plaguicidas clorados: clordano, endosulfán, endrín, dieldrín, DDE, DDT, heptacloro, hexaclorobenceno, lindano, mirex, pentaclorofenol y toxafeno;
- La Norma Oficial Mexicana NOM-133-SEMARNAT-2015, Protección ambiental-Bifenilos Policlorados (BPCs) que establece las especificaciones para el manejo y eliminación ambientalmente adecuados de los residuos peligrosos que contengan o estén contaminados con Bifenilos Policlorados, a partir de que son desechados, así como para el manejo y tratamiento de equipos BPCs.
- La NOM-040-SEMARNAT-2002, referente a la fabricación de cemento hidráulico, la cual establece límites de emisión máximos a la atmósfera.
- La NOM-098-SEMARNAT-2002, sobre la incineración de residuos peligrosos, que establece las especificaciones de operación de los incineradores y los límites de emisión de contaminantes, entre los que se incluyen a los COPNI como son dioxinas y furanos.
- La NOM-166-SEMARNAT-2014, control de emisiones atmosféricas en la fundición secundaria de plomo.

- La NOM-043-SEMARNAT-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas. Se sugiere la actualización respecto a normar los límites máximos permisibles.
- La NOM-085-SEMARNAT-2011, contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.

Existe una norma mexicana de carácter voluntario, la NMX-R-019-SCFI-2011 Sistema Armonizado de Clasificación y Comunicación de Peligros de los Productos Químicos. Globally Harmonized System (GHS), publicada por la Secretaría de Economía, que da los elementos para clasificar las sustancias químicas respecto a su peligrosidad.

También, el gobierno de México ha publicado diversos acuerdos relacionados con la gestión de las sustancias químicas.

- Acuerdo que establece la clasificación y codificación de mercancías cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en sus artículos quinto y sexto relativos a residuos peligrosos, materiales y sustancias peligrosos.
- Acuerdo que Establece la Clasificación y Codificación de Mercancías cuya Importación y Exportación está sujeta a autorización por parte de la Secretaría de Energía, en su artículo primero relativo a materiales y combustibles nucleares, y materiales radiactivos.
- Acuerdo que establece la clasificación y codificación de mercancías cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de las dependencias que integran la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas, en su artículo primero relativo a plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas (materiales peligrosos).

Otras leyes relacionadas con la gestión de los COP son:

- La Ley de Desarrollo Rural Sustentable que regula las actividades agropecuarias para que sean ambientalmente adecuadas, económicamente viables y socialmente aceptables. Control de la inocuidad alimentaria.
- La Ley Federal de Sanidad Animal tiene por objeto fijar las bases para el diagnóstico, prevención, control y erradicación de las enfermedades y plagas que afectan a los animales, y regular las buenas prácticas pecuarias.
- La Ley Federal de Sanidad Vegetal regula el uso de agroquímicos en agricultura.
- Ley Federal del Trabajo que considera el manejo seguro de las sustancias tóxicas y peligrosas en los centros de trabajo.
- Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal que regula y controla el transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- Ley de Comercio Exterior que establece las medidas de regulación y restricción no arancelaria a la exportación, importación, circulación o tránsito de mercancías.
- Ley Federal de Derechos que considera el pago de derechos relacionados con el comercio de sustancias peligrosas y contaminantes de alimentos.
- Ley Aduanera que regula la entrada y salida de mercancías en el territorio nacional.
- Ley de Navegación y Comercios Marítimos que controla el comercio y movimiento transfronterizo de sustancias químicas y sus residuos que se realice a través de vías generales de comunicación por agua.

## 4. SITUACIÓN DE LOS PLAGUICIDAS COP EN MÉXICO

---

### 4.1. INVENTARIO DE PLAGUICIDAS EN MÉXICO

En 2007, como parte de la elaboración del PNI, se realizó el “Estudio de Precisión del inventario de plaguicidas obsoletos y sitios contaminados con éstos”. Este Estudio, reportó las existencias de plaguicidas obsoletos, entre ellos: DDT, clordano, heptacloro, lindano y una mezcla de lindano con malatión.

De las existencias reportadas en el PNI 2007, se confirmó la destrucción de 89 toneladas de DDT, así como de 174 litros de lindano y 500 litros de lindano-malatión (Ramos, 2016).

En 2008, se actualiza el inventario y se elabora el “Estudio de Actualización del Inventario de Plaguicidas Obsoletos”, donde se precisaron los volúmenes de tres de las cinco existencias reportadas en 2007 y añadiendo a este inventario el HCB, sulfloramida, endosulfán y una mezcla de endosulfán con paratión.

Para 2016 se actualiza el PNI y el inventario de plaguicidas COP a través del Estudio de “Evaluación de la Situación Actual de los Plaguicidas COP en el Marco de la Actualización del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo en México”, reportándose únicamente endosulfán.

Durante el periodo de 2016-2020 se llevó a cabo el proyecto GEF “Manejo Ambientalmente Adecuado de Residuos con Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)”, el cual, a través del estudio: Inventario nacional actualizado de plaguicidas obsoletos que contienen contaminantes orgánicos persistentes y residuos contaminados asociados, y con una evaluación preliminar de riesgos potenciales por emisiones o exposición a dichas sustancias en los sitios identificados (PNUD, 2017), permitió actualizar el inventario de 2016, reportándose la existencia de lindano, endosulfán y dicofol con el nombre

comercial de AK/20, sin embargo, este compuesto aún no se encontraba listado en el Convenio por lo que no fue reportada la cantidad existente.

Cuadro 8. Comparativo entre inventarios generados a lo largo del tiempo.

Plaguicida COP	2007		2008		2016		2017	
	L	Kg	L	Kg	L	Kg	L	Kg
Aldrín	-	-	-	-	-	-		
Endrín	-	-	-	-	-	-		
Diendrín	-	-	-	-	-	-		
Mirex	-	-	-	-	-	-		
Heptacloro	-	100	-	100	-	-		
Toxafeno	-	-	-	-	-	-		
Hexaclorobenceno	-	-	1 960	-	-	-		
Clordano	5	-	5	-	-	-		
DDT	-	101 950.50	-	89 520	-	-		
Alfa-hexaclorociclohexano	-	-	-	-	-	-		
Beta-hexaclorociclohexano	-	-	-	-	-	-		
Lindano	174	-	574	-	-	-	1	
Mezcla de Lindano - Malatión	500 000	-	500	-	-	-		
Clordecona	-	-	-	-	-	-		
Pentaclorobenceno	-	-	-	-	-	-		
Sulfuramida	-	-	9	10.3	-	-		
Endosulfán	-	-	105.25	-	85.3	-	56.4	
Mezcla de Endosulfán - Paratión	-	-	9	-	-	-		
Pentaclorofenol	-	-	-	-	-	-		
<b>TOTAL</b>	<b>500 179</b>	<b>102 050.5</b>	<b>3 162.25</b>	<b>89 630.3</b>	<b>85.3</b>	<b>0</b>	<b>57.4</b>	

Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que los inventarios de 2007 y 2008 se restringieron a conocer las existencias de los plaguicidas obsoletos entre instancias gubernamentales, mientras que el inventario de 2016 fue de tipo indicativo, es decir, la información que se recopiló para conocer las existencias de los plaguicidas obsoletos incluidos los plaguicidas COP fue reportada por cada actor clave identificado sin que se confirmaran las existencias en sitio. El inventario de 2017 confirmó la existencia de 34 litros de endosulfán reportados en 2016. El trabajo para la actualización del inventario 2017 implicó además la revisión de actas de verificación que levantó la SENASICA a comercializadoras durante 2015 y 2016, donde se reportaban 34.4 L de endosulfán. Asimismo, se realizó trabajo de campo mediante la aplicación de encuestas en 11 Estados del país donde se reportaron 22 litros de endosulfán y 1 litro de lindano.

## 4.2. REGISTRO DE IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE NUEVOS PLAGUICIDAS COP

### 4.2.1. Endosulfán

Según los datos de la COFEPRIS en su catálogo de plaguicidas 2016 y el Pesticide Action Network (PAN) el endosulfán está registrado en México como un insecticida/acaricida de categoría toxicológica II con uso agrícola e industrial y contaba hasta 2016 con 47 registros. Los datos de importación reportan un total de 1,422.8 toneladas de 2010 a 2013.

Cuadro 9. Importaciones de Endosulfán de 2010 a 2013.

Año	Volumen (toneladas)
2010	508.95
2011	418.3
2012	435.55
2013	60

Fuente: INECC, 2019.

A partir de 2014 no hay registros de movimientos aduanales debido a que la COFEPRIS había acordado que a partir de enero de 2013 no se autorizarían las importaciones de este producto, por lo cual las empresas tenían límite para terminar con sus inventarios en diciembre de 2014.

Los países de los cuales se importó el endosulfán fueron la India con 75.8% e Israel con el 24.2% de participación restante.

Aun cuando se ha prohibido la importación de endosulfán, hay estudios en diversas partes de México como Sinaloa, Guanajuato, Chiapas y Yucatán donde se sabe de su uso en diversos cultivos (Romero Torres, Teresita 1009).

### 4.2.2. Pentaclorofenol

El Pentaclorofenol (PCP) se produce de manera intencional y no intencional como contaminante dentro de procesos industriales, manejo de residuos, quema



de leña o incendios forestales. De manera intencional se genera como producto de la transformación de Hexaclorobenceno, Quintozeno y Lindano (INECC, 2018).

México solicitó en 2016 una exención ante la Conferencia de las Partes, para producción y uso del PCP, para la producción de 6,800 toneladas métricas por año de PCP, del cual el 98.8% de esta producción sería exportado hacia Estados Unidos y el 0.2 % restante para su uso en territorio nacional y su uso en postes y crucetas, para un periodo de 5 años (2017-2021).

En el país se produce PCP, una empresa ubicada en la región norte se encuentra registrada como productora de PCP para el tratamiento de madera. Al 2018, esta empresa tenía registrados los productos Dura - Treat 40 Wood Preserver (PCP al 33.-35.4%) y KMG-B-Penta OL Penta Blocks (PCP al 86%), así como otros productos comerciales cuyo ingrediente activo era el PCP y el pentaclorofenato de sodio (NaPCP), todos ellos para su uso como plaguicida, fungicida o bactericida (INECC, 2018).

Cuadro 10. Registros sanitarios de plaguicidas y nutrientes vegetales relacionados con el Pentaclorofenol.

Ingrediente activo	Registros	Usos	Observaciones	Categoría toxicológica
PCP	9	Plaguicida, fungicida, bactericida, producción	Pertenecientes a 6 empresas	Varía entre el nivel II (extremadamente toxico) y el nivel IV (moderadamente toxico)
Quintoceno	12	Tratamiento de semillas para siembra, uso en plantas formuladoras de plaguicidas	Pertenecientes a 6 empresas	Varía entre el nivel III (altamente toxico) y el nivel IV (moderadamente toxico)
Lindano	4	Tratamiento de semillas para siembra, uso en plantas formuladoras de plaguicidas, aplicación del follaje en cultivos ornamentales	Pertenecientes a 2 empresas. 3 registros canceladas, 1 activo (aplicación en follaje en cultivos ornamentales)	Varía entre el nivel III (altamente toxico) y el nivel IV (moderadamente toxico)
NaPCP	2	Fungicida, bactericida	Pertenecientes a 2 empresas.	Varía entre el nivel II (extremadamente toxico) y el nivel IV (moderadamente toxico)

Fuente: (INECC, 2018)



El PCP se encuentra entre los plaguicidas con mayor cantidad de exportaciones del periodo 2010 a 2019, junto con otro tipo de plaguicidas entre los que se encuentran el Carbosulfán, Terbufós, Cadusafós y Paraquat (INECC, Perspectivas de las importaciones y Exportaciones de Plaguicidas en México, 2020).

El PCP es el plaguicida que ha conservado una tendencia estable en las cantidades exportadas año con año, con excepción de 2017, en el que tuvo una disminución importante.

Según datos del Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI) de 2007 a 2017 se han exportado más de 68,000 toneladas de PCP hacia Estados Unidos, donde el promedio de consumo anual es de aproximadamente 6,000 a 7,000 toneladas. Mientras que los datos de importación registran 17 toneladas provenientes de Alemania y Estados Unidos entre los años 2007 a 2013 (INECC, Diagnostico Nacional del uso de nuevos Contaminantes Orgánicos Persistentes en México, 2017). Cabe señalar que la industria que fabricaba el mayor volumen de PCP en México dejó de operar, por lo que ya no se produce en nuestro país.

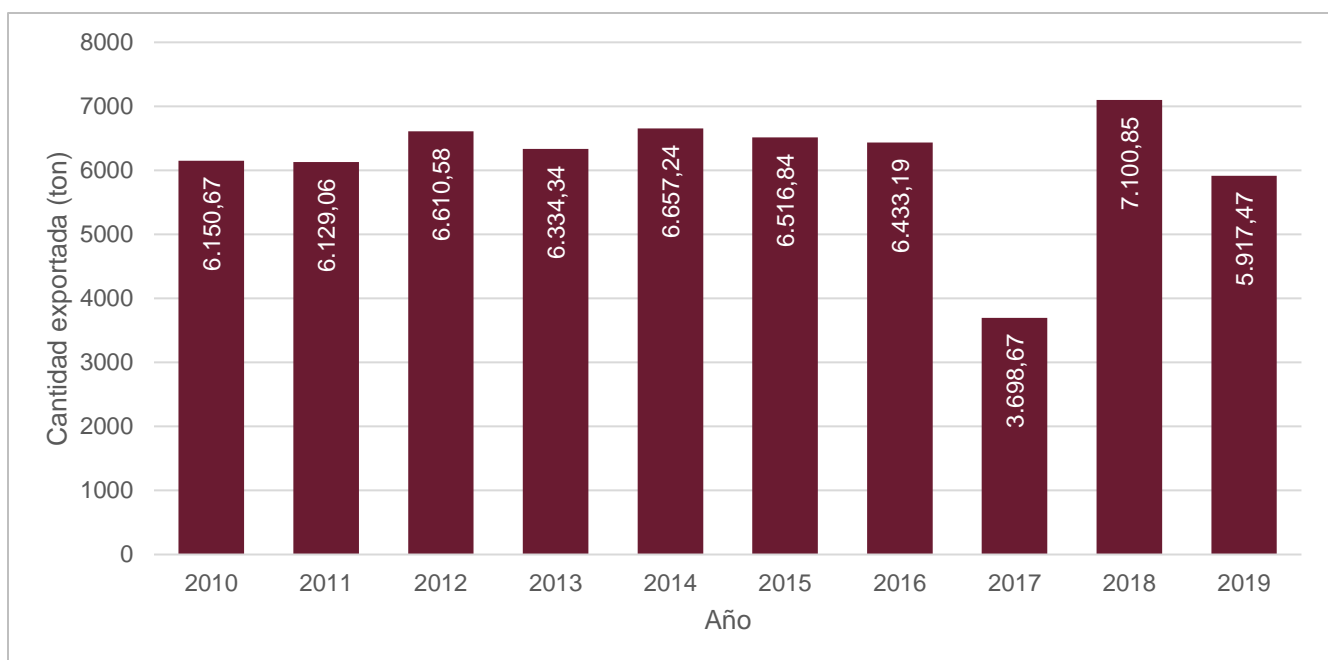


Figura 2. Exportaciones totales de Pentaclorofenol, 2010 a 2019.

### 4.3. INVENTARIO DE SITIOS CONTAMINADOS

De acuerdo con lo reportado por Ramos et al 2016, la Dirección de Restauración de Sitios Contaminados de SEMARNAT reportaba a través del SISCO 16 sitios contaminados potencialmente con plaguicidas, sin embargo, sólo 6 reportan al pentaclorofenol como posible contaminante, el resto de los sitios reporta contaminación por agroquímicos, sin especificar cuáles.

Cuadro 11. Sitios contaminados y potencialmente contaminados reportados por la SEMARNAT.

	Estado	Municipio	Posibles contaminantes	Tipo de fuente	Zona afectada (ha)	Priorización SISCO
<b>Área remediada</b>						
1	Durango	Gómez Palacio	Agroquímicos	Área industrial	3.52	Media
<b>Sitios contaminados</b>						
2	Guanajuato	Salamanca	Agroquímicos	Área industrial	26.61	Alta
3	Morelos	Xochitepec	Conservadores de madera	Área industrial	5.00	Alta
4	Puebla	Puebla	Agroquímicos	Área industrial	5.90	Media
5	Veracruz	Córdoba	Agroquímicos	Área industrial	0.20	Alta
6	Durango	Durango	Pentaclorofenol	Área de disposición de residuos	21.90	Baja
<b>Sitios potencialmente contaminados*</b>						
7	Aguascalientes	Aguascalientes	Conservadores de madera	Ladrillera	5	Baja
8	Colima	Cuauhtémoc	Agroquímicos	Área comercial y de servicios	0.26	Baja
9	San Luis Potosí	Ciudad Valles	Agroquímicos	Áreas agrícolas	6.00	Alta
10	San Luis Potosí	Ahualulco	Agroquímicos	Áreas agrícolas	0.35	Alta
11	Tlaxcala	Hueyotlipan	Agroquímicos	Área de disposición de residuos	0.97	Media
12	Chihuahua	Guerrero	Pentaclorofenol	Área de disposición de residuos	12.12	Baja
13	Campeche	Escárcega	Pentaclorofenol	Área de disposición de residuos	9.29	Baja
14	Chihuahua	Guerrero	Pentaclorofenol	Impregnadora de madera	11.18	Alta
15	Oaxaca	Juchitán de Zaragoza	Pentaclorofenol	Área de disposición de residuos	19.61	Baja
16	Tlaxcala	Muñoz de Domingo Arenas	Pentaclorofenol	Área de disposición de residuos	5.65	Baja

\*Sitio potencialmente contaminado: Sitio que jurídicamente no ha sido declarado como contaminado.

Fuente: Ramos, 2016.

## 4.4. INICIATIVAS PARA LA GESTIÓN DE PLAGUICIDAS EN MÉXICO

Como parte de la preocupación para la gestión de plaguicidas en México, fue elaborado el documento “Elementos para desarrollar una estrategia integral para la gestión responsable de plaguicidas en México” donde se describen las medidas específicas para avanzar hacia una gestión responsable de los plaguicidas y con ello reducir los riesgos a la salud y al ambiente derivados del manejo de estas sustancias. Las áreas de mejora identificadas fueron agrupadas en los siguientes módulos: 1) regulación; 2) capacitación; 3) educación; 4) comunicación, vinculación y coordinación; 5) sistemas de información; 6) investigación; y 7) atención/remediación. El propósito es definir una lista de prioridades y una ruta de acción integral y colaborativa con las medidas propuestas.

Destacan las siguientes medidas:

- Crear un procedimiento para la cancelación de registros (que incluya en primera instancia los plaguicidas considerados COP).
- Identificar y promover, con la colaboración de la industria, los agricultores, la academia y las organizaciones de la sociedad civil, la aplicación de alternativas químicas y no químicas al uso de los plaguicidas.
- Establecer un registro de uso de plaguicidas.
- Establecer un programa nacional de monitoreo ambiental y de salud de plaguicidas.

Por otro lado, también fue creada la Estrategia nacional para evitar los riesgos al ambiente por los plaguicidas en México, una estrategia que integra las acciones prioritarias en México para reducir los riesgos al ambiente y a la salud ocasionados por el manejo de los plaguicidas, para impulsar medidas encaminadas a garantizar el derecho que toda persona tiene a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar (INECC, Estrategia Nacional para Evitar los Riesgos al Ambiente por los Plaguicidas en México, 2020).

Entre las medidas destacan las siguientes:

- Revisar el Reglamento en materia de Registros, Autorizaciones de Importación y Exportación y Certificados de Exportación de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y Sustancias y Materiales Tóxicos o Peligrosos (Reglamento PLAFEST) para atender los vacíos y atrasos, entre ellos el adecuar los procedimientos de cancelación (particularmente de los COP), renovación y vigencia indeterminada de registros, así como el procedimiento de asignación de la categoría toxicológica para unificar los criterios que se han empleado (considerar la pertinencia de establecer una "homoclave específica").
- Desarrollar estudios para generar evidencias útiles para la evaluación de riesgos a la salud humana y ecológica por el uso de plaguicidas.
- Desarrollar estudios sobre estandarización de métodos analíticos para el monitoreo de plaguicidas en diferentes matrices (ambientales y productos).

## 4.5. COP NO INTENCIONALES

De acuerdo con la Revisión 2012 del Inventario de Liberaciones de PCDD/F – México 2004, las liberaciones ascendieron a una cifra anormal de 9,7 kg expresados en equivalencia tóxica (kg I-EQTDF), de la cual, cerca del 70% fueron atribuibles a la producción de PCP por una planta ubicada en Matamoros, Tamaulipas.

En este caso, los 6,7 kg I-EQTDF de PCDD/F generados en esta planta fueron liberados en el producto, el cual se exporta el 99.98% a los Estados Unidos y Canadá. Eliminando esta fuente de características particulares, la liberación del país se estimó en una cifra más coherente de aproximadamente 3 kg I-EQTDF. El inventario elaborado como parte de la actualización 2016 y tomando como año base el 2013 obtuvo lo siguiente:



## 4.6. COP INDUSTRIALES

Los compuestos que integran al grupo de los COP industriales se listan a continuación:

- Bifenilos Policlorados (BPC)
- Cuatro retardantes de flama: Hexabromobifenilo, OctaBDE-comercial, PentaBDE-comercial, Hexabromociclododecano (HBCD).
- El ácido Perfluorooctano sulfónico, sus sales y fluoruro de sulfonilo Perfluorooctano (PFOSF).
- El Pentaclorobenceno (PeCB).
- Naftalenos clorados.
- Hexaclorobutadieno.
- Parafinas cloradas de cadena corta.

La actualización del PNI hecha en 2016 respecto a los BPC, los retardantes de flama, los PFOS y el PeCB, permitió contar con un diagnóstico acerca del consumo, producción, importación y en su caso la exportación de este tipo de compuestos. El resumen de los principales hallazgos para compuesto se presenta en los siguientes apartados.

### 4.6.1. Bifenilos policlorados

En el marco del Proyecto “Inventario y Refinamiento de Balance de Flujo de Materiales Policlorados en México”, coordinado por SEMARNAT y con el objetivo de complementar y validar el inventario de materiales contaminados con BPC, los principales resultados se muestran a continuación:

En el intervalo con más de 50 ppm de BPC, se tiene una proyección estimada en todos los sectores a nivel nacional de **37,667 toneladas** (11,300.10 de aceite y 26,366.90 de carcasas contaminadas).

En el intervalo de 5 a 49.9 ppm de BPC, se tiene una proyección estimada en todos los sectores a nivel nacional de **91,033 toneladas** (27,145 de aceite y 63,888 de carcasas contaminadas).

Cuadro 13. Inventario nacional BPC, 2010.

Contenido BPC (ppm)	Aceites con BPC (Ton)	Carcasas (Ton)	Total en equipos (Ton)
Más de 500 ppm	1,808.02	4,218.70	6,026.72
Más de 50 ppm	9,492.08	22,148.20	31,640.28
Subtotal	11,300.10	26,366.90	37,667.00
5 a 49.9 ppm	27,145**	63,888	91,033.00
Total			128,700.00

Fuente: Castro, 2016.

Dentro de los principales logros en el marco del Proyecto, destaca el fortalecimiento de la normatividad, que en colaboración con la SEMARNAT y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) permitió llevar a cabo la elaboración de una propuesta del anteproyecto de modificación a la NOM-133-SEMARNAT-2000, “Protección Ambiental-Bifenilos Policlorados (BPCs) - Especificaciones de Manejo”, así como el fortalecimiento de la capacidad nacional, relacionada con el manejo y destrucción de lo BPC. Asimismo, se logró la destrucción de 6,004 toneladas de BPC, durante el periodo 2007-2015.

Si bien se han tenido avances y logros alentadores, aún quedan retos muy importantes dado el gran volumen de material a eliminar y particularmente su dispersión en el territorio nacional. Asimismo, desde una perspectiva técnica no parece haber limitantes para cumplir las tasas necesarias de eliminación y descontaminación (Castro, 2016).

#### 4.6.2. Pentabromodifenil éter comercial (PentaBDE-c)

Los éteres de bifenilo polibromados (PBDEs) son sustancias utilizadas para retardar la combustión en caso de incendio en materiales y productos aplicados sobre sus superficies, o también mezclados durante la producción de tales insumos.



Las mezclas de pentaBDE-c se han utilizado como aditivos retardantes de flama en diferentes productos. El uso más común, que representa 95 a 98% del pentaBDE desde 1999, ha sido en espuma de poliuretano. Esta espuma puede contener entre 10 y 18% de la formulación comercial de pentaBDE. La espuma de poliuretano se utiliza principalmente para muebles y tapicería en las industrias de muebles para el hogar, automotriz y aviación. El pentaBDE también se ha incorporado en menor cantidad en productos textiles, pinturas, lacas, artículos de caucho (cintas transportadoras, revestimientos y paneles para pisos) y en lodos para la perforación petrolera. Los niveles varían entre el 5 y el 30% según el peso.

Este compuesto se ha utilizado en los siguientes sectores: transporte, tecnología (aparatos eléctricos y electrónicos), construcción, muebles, textiles y embalaje. En los sectores antes referidos hay que considerar que los productos generados se produjeron a nivel nacional o se importaron; asimismo, la posibilidad de cuantificar los contenidos de pentaBDE en los productos que lo contienen depende los datos históricos de producción o importación de tales productos, así como las cantidades de pentaBDE contenida en cada unidad producida.

Sin embargo, ante este escenario, no se aportan datos sobre su producción o existencias en México.

### *Consumo de pentaBDE en poliuretano*

De acuerdo a las estadísticas anuales de la Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) respecto al consumo aparente de poliuretano en México durante el periodo 1998 a 2004, se calcula que se consumieron 396,319 toneladas, lo cual significa un promedio de **56,617 toneladas anuales**, cantidad que se ha usado en tapicería, colchones, alfombras, muebles, automóviles; sin embargo, no se conoce la proporción de pentaBDE que pudo haberse agregado a la cantidad de poliuretano producida en México durante el periodo mencionado (Castro, 2016).

Cuadro 14. Consumo Aparente de Poliuretano en México, 1998-2004

Producto	1998*	1999*	2000*	2001*	2002*	2003"	2004*	Total (ton)
Poliuretano (1)	58,582	66,689	62,237	58,001	53,228	46,623	50,959	396,319

Las cantidades se estimaron considerando el 90% de la producción total de los poliuretanos de alta densidad (dedicados a la producción de colchones, cojines, muebles y usos automotrices) el otro 10% en calzado o en poliuretano al que no se le agrega penta-BDE.

El mercado fue cubierto por seis compañías que producen poliuretanos, la capacidad de producción nacional de estos establecimientos fue de alrededor de 110,000 toneladas anuales.

Fuente: Castro, 2016.

### *Estimación del pentaBDE en vehículos al fin de su vida útil en México*

En México, se estima que entre 1974 y 2004 se registraron 17,536,862 vehículos de fabricación nacional o importados y 5,663,723 vehículos usados procedentes de Estados Unidos que se legalizaron oficialmente de 1991 a 2007. Estas cantidades suman 23,200,595 unidades que incluyen automóviles y vehículos de pasajeros y carga. Aproximadamente, un 40% del total (9,280,234) de los vehículos están en uso; mientras que un 60% (13,920,351) ya llegó al fin su vida útil entre 1975 y 2015 y cuyo manejo como residuos se ha distribuido en sitios de venta de partes usadas, desguazaderos, talleres mecánicos y vía el reciclaje informal a lo largo del territorio nacional (Castro, 2016).

Los cálculos anteriores se basan en una vida útil de los vehículos de 18 años para el caso de México; por lo tanto, para el año 2021 los vehículos registrados en 2004 llegarían al fin de su vida útil, año en que cumplirían 18 años de uso.

Para efectos del inventario, se consideró que las vestiduras y otros componentes plásticos contenían este retardante de flama, en una proporción de 160 gramos por cada vehículo de carga o automóvil y 1 kilogramo por cada autobús de pasajeros, lo cual resulta en un total de **1,950 toneladas de PentaBDE-c**. La cifra resultante equivale a un promedio aproximado de 65 toneladas anuales; a su vez, el consumo total del pentaBDE-c en autos producidos e importados en México durante un periodo de 30 años equivale aproximadamente al 2% del total producido a nivel global de pentaBDE estimado previamente en 91,000 - 105,000 toneladas (Castro, 2016).

Cuadro 15. Cálculo de COP-PBDE en los vehículos Registrados en 1975-2004.

Número de vehículos registrados en México 1974-2005	Legalización y registro de vehículos usados procedentes de EUA	Cantidad de PentaBDE-c por unidad	Cantidad total de COP-PBDE en automóviles en uso fabricados en EUA. y México
11,334,770		160 g por automóvil	$11,334,760 \times 0.16 \text{ kg} \times 0.5^* = 906,782 \text{ kg}$
223,532		1 kg por autobús	$223,532 \times 1 \text{ kg} \times 0.5^* = 111,766 \text{ kg}$
5,978,570		160 g por camión	$5,978,570 \times 0.16 \text{ kg} \times 0.5^* = 478,286 \text{ kg}$
	5,663,723	160 g por auto o camión legalizados	$5,663,723 \times 0.16 \text{ kg} \times 0.5^* = 453,098 \text{ kg}$
			<b>Total COP-PBDE= 1,949,932 kg</b>
17,536,872	5,663,723		<b>Total vehículos = 23,200,595</b>

\*Factor de estimación de la proporción de vehículos afectados en la región de producción (1975-2004).

\*\* Para calcular el ingreso anual de estos vehículos al final de su vida útil se dividió 5,663,723 entre 30 años, el resultado se ajustó a 188,790 vehículos por año.

Fuente: Castro, 2016.

Los valores de 160 g/auto y 1 kg/autobús, son aproximaciones basadas en estudios del PNUMA que consideran una aplicación de PentaBDE promedio del 1% al poliuretano de los asientos y otras partes del vehículo (cabeceras, techo, etc.), considerando que cada vehículo contiene aproximadamente 16 kg de estos materiales. Respecto a los autobuses, considerando los diferentes tamaños se estimó en 1 kg de PentaBDE en promedio por unidad. Una evaluación de COP-PentaBDE puede refinarse realizando mediciones analíticas en los vehículos (preferiblemente al final de su vida útil) y los residuos de desguace de automóviles (Castro, 2016).

#### 4.6.3. Octabromodifenil éter comercial (OctaBDE-c)

Una cuantificación aproximada del consumo del octa-BDE en México, se puede hacer a partir de determinar los contenidos de esta sustancia en tres sectores productivos. El primero corresponde al sector industria química que utiliza octa-BDE en la manufactura de Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), Poliestireno de alto impacto (HIPS), Tereftalato de polibutileno (PBT) y Polímeros de poliamida que utilizan esta sustancia como insumo retardante de flama; el segundo universo es el de los aparatos eléctricos y electrodomésticos, cuyos

componentes plásticos contienen octa-BDE; el tercer universo corresponde a productos de uso doméstico a base de textiles como colchones, vestiduras de muebles, alfombras, artículos que también se les agrega octa-BDE; para este sector el cálculo representa mayor incertidumbre debido a que no se cuenta con información referente a las prácticas de uso de retardantes de flama en la industria textil nacional en años anteriores y los datos sobre la importación de textiles no permiten saber sobre sus contenidos de octaBDE-c (Castro, 2016).

En este sentido, no existe evidencia de que el octaBDE-c fuera producido en México, por lo que los volúmenes de esta sustancia que se utilizaron en el país para insumo de otras mercancías fueron importados (Castro, 2016).

Para conocer los volúmenes de esta sustancia que ingresaron a México como materia prima, sería necesario contar con información histórica sobre las cantidades importadas; sin embargo, no es posible obtener los datos de importación debido a que la fracción arancelaria asignada a este compuesto también es compartida por otras sustancias lo cual no permite cuantificar de manera confiable sus importaciones través de los años.

### *Inventario de aparatos electrónicos en México*

Entre 1970 y 2004, una proporción importante de la producción global de OctaBDE-c se utilizó como retardante de flama en carcasas plásticas y otras partes de aparatos electrónicos, entre los que sobresalen, las computadoras, sus monitores y los televisores con cinescopio (tubo de rayo catódico).

El sector de productos eléctricos y electrodomésticos representa un importante consumidor de octaBDE, especialmente debido a que las carcasas de los aparatos electrónicos se fabricaron con ABS u otras resinas que pudieron contener este retardante.

En México, considerando los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se estimó el consumo de los aparatos antes mencionados cuya fabricación ocurrió antes del 2005, lo cual resulta en lo siguiente:

Cuadro 16. Contenido de plásticos en aparatos electrónicos

Tipo de AAE	Existencias de AEE (unidades)	Peso unitario kg	Volumen resultante kg	Proporción Fracción plástico	Total kg
PCs (ratón y teclado)*	5,342,330	9.9	52,889,067	24%	12,693,376
Monitores CRT	5,342,330	14.1	75,326,853	30%	22,598,056
Televisores con /CTR	21,848,485	31.6	690,412,126	30%	207,123,638
			818,628,046		242,415,070
<b>Total en toneladas métricas: 242,415</b>					

Fuente: Castro, 2016.

El total de plástico contaminado con OctaBDE-c en los aparatos antes mencionados, corresponde a 242,415 toneladas con contenidos de este compuesto en las siguientes proporciones: para computadoras 0.15 kg/ton; para monitores de computadora 2.54 kg/ton y para las TV 0.87 kg/ton. Lo cual resulta en **239.5 toneladas de OctaBDE-c** contenido en los residuos plásticos de estos tres tipos de aparatos.

Cuadro 17. Estimación del OctaBDE contenido en el inventario computadoras de escritorio y televisores en 2005

Tipo de AAE	Proporción Fracción Plástico (Toneladas métricas) $f_{\text{Polímero}}$ es la fracción de polímero total de AEE(j) en [% de peso]	Contenido promedio de c-OctaBDE en plástico $C_{\text{OctaBDE}; \text{Polímero}}$ en [kg/tonelada métrica]	Total OctaBDE-c en el inventario $M_{\text{c-OctaBDE}; \text{existencias AEE (j)}}$ Toneladas Métricas
PCs (ratón y teclado)*	12,693	0.15	1,9
Monitores CRT	22,598	2.54	57.4
Televisores con /CTR	207,124	0.87	180.2
<b>Total</b>	<b>242,415</b>		<b>239.5</b>

\*Incluye Computadoras en hogares, administración pública y empresas  
 Fuente: Castro, 2016.

De acuerdo con lo anterior, se estima que entre un 40-50% de los aparatos inventariados está aún en posesión de sus propietarios mientras que el otro 50-60% entró ya a la corriente de reciclaje. Lo anterior permite establecer de manera

provisional que entre 97,000 y 121,200 toneladas de plásticos contaminados con OctaBDE-c tendrán que ser sometidos a una gestión ambientalmente racional.

### *Consumo de OctaBDE en el sector de la industria química*

De acuerdo con las estadísticas anuales de la ANIQ respecto al consumo aparente de ABS en México, durante el periodo 1998-2004, se consumieron alrededor de 337,127 toneladas, con un promedio anual de 48,218 toneladas cuyos contenidos de octaBDE- c resulta difícil de estimar debido al tiempo transcurrido y al hecho de que no necesariamente toda la producción de ABS requería agregarle este retardante de flama.

La capacidad de producción nacional de estos establecimientos fue de alrededor de 160,000 toneladas anuales para el 2008. En cuanto al HIPS, el mercado es cubierto por cinco compañías para el 2008, y la capacidad de producción de estas empresas es de 550,000 toneladas anuales.

#### **4.6.4. Hexabromociclododecano**

El HBCD se aplica como aditivo principalmente en la espuma de poliestireno que se usa en las planchas aislantes muy utilizadas en la industria de la construcción. Hay dos tipos de espumas de poliestireno: las de poliestireno expandido y extruido y las de alto impacto, cuya concentración de HBCD oscila entre 0.7% y 3.0%. La segunda aplicación en orden de importancia es la dispersión de polímeros en el algodón o el algodón combinado con mezclas sintéticas durante el proceso de revestimiento de textiles, en que el HBCD puede estar presente en una concentración de 2.2 a 4.3%. Los usos de los textiles son sobre todo en tapizados, pero también en colchones, tapizado de muebles comerciales y del hogar, tapizado de asientos e interiores de vehículos, géneros y revestimientos murales, textiles de interior (persianas enrolladas) (Castro, 2016).

De acuerdo con la ANIQ en el año 2014 el consumo nacional de poliestireno fue de toneladas 483,580.



Cuadro 18. Consumo Nacional de Poliestireno en México (Toneladas)

Años	Producción*	Importaciones**	Exportaciones**	Consumo Nacional Aparente
2010	447,554	254,856	190,892	511,518
2011	421,387	250,993	200,316	472,064
2012	463,128	276,988	198,918	541,198
2013	414,143	254,671	206,804	462,009
2014	454,769	262,399	233,588	483,580
<b>Total</b>	<b>2,200,981</b>	<b>1,299,907</b>	<b>1,030,518</b>	<b>2,470,369</b>
<b>Promedio anual de consumo aparente</b>				<b>494,074</b>

\*Elaboración en base la encuesta EMIM, rama 325, subrama 3252 y clasificación 325211.

\*\* En base al Sistema de Información de Comercio Exterior (SICM) de la Secretaría de Economía.

Fuente: Castro, 2016.

Aunque se cuenta con el dato de consumo de HBCD en México, se ignora aún su distribución de consumo por sectores (construcción, textiles y electrónica). El HBCD, aún se importa y se usa en México como retardante de flama en la fabricación de poliestireno para paneles de construcción, y su consumo total se estima en 5,961 toneladas durante el periodo de 2003 a mayo de 2015, lo que representa un consumo promedio de **424 toneladas al año**.

Cuadro 19. Importaciones Netas de HBCD en México, 2003-2015

Año	Importaciones kg	Exportaciones kg	Consumo Aparente kg	Países Importadores a México/ a los que México Exporta kilogramos
2003	322,488	0	322,488	Estados Unidos: 320,889; Corea del Sur 1,499; China: 100
2004	317,300	0	317,300	Países Bajos: 1,000; Estados Unidos: 315,300; Israel: 1,000
2005	479,980	0	479,980	Países Bajos: 4,000; Estados Unidos: 475,980
2006	527,383	0	527,383	Países Bajos: 4,478; Estados Unidos: 522,005; Corea del Sur: 900
2007	514,312	0	514,312	Países Bajos: 2,479; Estados Unidos: 511,833
2008	570,694	0	570,694	Estados Unidos: 570,693; China: 1
2009	448,851	507	448,344	Países Bajos: 3,500; Estados Unidos: 441,799; Corea del Sur: 3,500; Israel; China 52/ Estados Unidos: 507
2010	510,373	0	510,373	Estados Unidos: 510,373
2011	588,702	6,000	582,702	Países Bajos: 20,000; Estados Unidos: 563,700; China: 5,002/Brasil: 6,000
2012*	372,000	0	372,000	Países Bajos: 120,000; Estados Unidos: 252,000
2012*	262,719	25	262,694	Países Bajos: 118,140; Estados Unidos: 144,579/ Estados Unidos 25
2013	362,000	0	362,000	China 5,000 t, Países Bajos: 80,000; Estados Unidos: 277,000
2014	552,591	0	552,591	China 7,025; Bélgica 20,000; Países Bajos: 160,000; Estados Unidos: 365,566
2015 Ene-may	138,025	0	138,025	China 5,000 t, Países Bajos: 60,025; Estados Unidos: 73,000
<b>Total</b>	<b>5,967,418</b>	<b>6,532</b>	<b>5,960,886</b>	

\*Cambio de fracción arancelaria a partir de julio de 2012

Fuente: Castro, 2016.



El principal país exportador de HBCD es Estados Unidos, otros países exportadores a México son: Países Bajos, Israel y China. Una consulta a las fuentes de información comercial indica que al menos 15 empresas, importan y distribuyen HBCD en México y más de cien empresas distribuyen poliestireno para la industria de la construcción, cuyo contenido de HBCD se desconoce.

#### **4.6.5. Hexabromobifenilo**

Un posible uso de HBB en México en la década de los setenta pudo haber ocurrido en la producción o importación del ABS o en otras resinas producidas en México o importadas; sin embargo, no se encontraron datos de importación de HBB o de producción e importación de las resinas que pudieran contenerlo.

Respecto a la disponibilidad de datos sobre la importación en México del HBB para usarse como materia prima en resinas sintéticas o en otros productos, el grado de dificultad es alto ya que hay más de cuatro décadas de distancia desde que inició la producción de este compuesto y tres décadas desde que dejó de producirse y el (que proporciona datos de importación-exportación de mercancías ingresadas al país) en forma automatizada sólo considera información para los 12 años anteriores. La fracción arancelaria asignada a este compuesto también es compartida por otras sustancias, y no permite cuantificar de manera confiable las importaciones a través de los años para cada sustancia.

En cuanto al consumo de productos que contienen HBB, su cuantificación representa un alto grado de dificultad debido a que son componentes en diversas mercancías, de las cuales una proporción se manufacturó a nivel nacional, mientras que otra proporción entró al país a través de los diferentes productos que las contienen y que fueron fabricados en diversas partes del mundo.

#### **4.6.6. Ácido perfluorooctano sulfónico**

Los principales usos del Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) en México son como reductores de emisiones de humo en procesos de cromado, aditivos

humectantes y uso en laboratorio (INECC, Diagnóstico Nacional del uso de nuevos Contaminantes Orgánicos Persistentes en México, 2017).

Un aspecto importante que requiere llevarse a cabo en México, es identificar la distribución comercial y consumo de los compuestos afines a los PFOS, lo cual es complicado, ya que los PFOS pertenecen al grupo de sustancias químicas llamadas compuestos perfluorados (PFC), donde también existen otros PFC cuyas propiedades han planteado preocupación como: alcoholes teloméricos fluorados (FTOH) y ácidos carboxílicos perfluorados (PFCA), entre otros, que no están incluidos en la lista del Convenio pero que al realizar el inventario es importante distinguirlos de los PFC incluidos en la lista, ya que se utilizan en muchas de las mismas áreas que los PFOS (Castro, 2016).

### *Industria de recubrimientos y laminados metálicos*

El uso de compuestos PFOS en el sector de laminado metálico (laminado metálico duro) es considerado como aceptable por el Convenio de Estocolmo, por ello es importante conocer los tipos de procesos que utiliza esta industria en México para precisar las acciones a seguir para eliminar su uso. En México existen 681 empresas dedicadas al giro de recubrimientos y terminados metálicos (Castro, 2016).

### *Espumas extintoras de incendios*

Se requiere identificar las existencias de concentrados de espumas contra incendios que demandan una cantidad importante de reserva de estos concentrados con PFOS (Castro, 2016).

### *Fluidos hidráulicos para la aviación*

Es importante considerar que no se cuenta con productos alternativos libres de PFOS por lo que el control sobre su uso y manejo al fin de su vida útil es necesario. En México, es necesario determinar el consumo y manejo de estos fluidos, con el fin de tener una dimensión sobre los volúmenes generados (Castro, 2016).

### *Importaciones de productos con posible contenido de PFOS*

En 2017, el Sistema de Administración Tributaria (SAT) reportó 73 registros de productos con PFOS en su composición. En el Cuadro 20 se aprecia el año de importación, así como la cantidad; la composición estimada de los PFOS varía de producto a producto.

Cuadro 20. Importación de productos con PFOS en su composición.

Año	Volumen (Kg)
2010	75
2011	135
2012	3016.02
2013	1696.1
2014	2370.4
2015	1792.68

Fuente: Elaboración propia con datos del SAT

Estos productos provienen de China y Estados Unidos principalmente, además de aportaciones de Alemania, Canadá, India y Japón.

#### **4.6.7. Pentaclorobenceno**

Este compuesto ya no se utiliza en México y en el pasado tuvo usos en la producción de pinturas y colorantes, en retardantes de flama, como componente de productos con BPC y se utilizó también como intermedio en la producción del fungicida quintoceno (pentacloronitrobenceno) aún utilizado en México de procedencia estadounidense (Castro, 2016). No se tienen registros de producción de PeCB en México o de importaciones y exportaciones en los últimos diez años.

#### **4.6.8. Parafinas cloradas de cadena corta**

Actualmente se tienen registros de la importación y exportación de Parafinas cloradas de cadena corta (SCCPs). Las exportaciones de se reportan de 2010 a 2015 y se realizaron a Guatemala, Costa Rica y Colombia, siendo Guatemala el

país que más recibió SCCPs de México con 13.246 toneladas en 6 años (INECC, Diagnostico Nacional del uso de nuevos Contaminantes Orgánicos Persistentes en México, 2017).

Cuadro 21. Exportación de SCCPs de 2010 a 2015.

Año	Volumen (toneladas)
2010	2.7
2011	2.97
2012	3.51
2013	0.489
2014	2.88
2015	1.661
Total	14.21

Fuente: INECC, 2017.

El volumen total importado de SCCPs en el periodo de 2010 a 2015 fue de 13,628.452 toneladas. El año en el que se importó mayor cantidad de SCCPs fue 2015 con 2,479 toneladas de producto. (INECC, 2017).

Cuadro 22. Importaciones de SCCPs de 2010 a 2015.

Año	Volumen (toneladas)
2010	1868.815
2011	2395.784
2012	2324.382
2013	2328.546
2014	2231.547
2015	2479.378
Total	13628.452

Fuente: INECC, 2017.

Las importaciones se realizaron de Reino Unido, India, China, Estados Unidos, Taiwán, Sudáfrica, Corea del Sur, Colombia, Alemania y Canadá. Los países que más colaboración tienen son: el Reino Unido con 7,823 toneladas y la India con 4,076, lo cual representó un porcentaje de 57 y 30%, respectivamente.

## 5. CAPACIDAD ANALÍTICA

---

En 2003, el Instituto Nacional de Ecología (hoy Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)) publicó el estudio Capacidades de investigación en México en materia de COP, que generó una base de datos con información sobre investigadores e instituciones que realizan estudios sobre estos compuestos. Para esa fecha, existían en el país 53 investigadores dedicados a realizar trabajos en la materia concentrados en 27 instituciones académicas del país.

En el 2016 como parte de la actualización del PNI, el INE hoy INECC actualizó la base de datos de capacidades analíticas y de investigación de COP, la cual muestra que existían 24 laboratorios, de la academia, gubernamentales y uno privado. Todos con capacidad para analizar plaguicidas organoclorados y 5 de ellos interesados en invertir para fortalecer su infraestructura y ampliar capacidades para el análisis de dioxinas y furanos. Cabe mencionar que, para esas fechas, el Centro Nacional de Metrología (CENAM) y el Centro Nacional de Servicios de Constatación en Salud Animal (CENAPA) de la SADER, ya contaban con el equipo para el análisis de dioxinas y furanos, el primero orientado a aspectos metroológicos y el segundo para el análisis de alimentos de origen animal (Gutiérrez, 2016).

Por otro lado, en el 2012, el INECC con el apoyo de la CCA, en atención a los compromisos adquiridos con el PNI, desarrolló un conjunto de métodos de muestreo y análisis para STPB, para las matrices de interés: aire ambiente, suelos y sedimentos, aguas marinas, aguas superficiales, aguas estuarinas y de lagunas costeras, aguas subterráneas, hígado y tejidos.

- Manual de métodos de muestreo, preservación y conservación de muestras ambientales para identificar las sustancias prioritarias del PRONAME.
- Guía para elaborar planes de muestreo representativos.
- Manual de métodos analíticos de los COP para las matrices prioritarias del PRONAME.

- Manual de requisitos generales de QA/QC de muestreo y analíticos.
- Guía para la validación de métodos alternos de análisis.
- Guía para la implantación, validación, verificación del desempeño continuo de un método analítico.
- Guía para la revisión de planes de muestreo.
- Guía para la revisión de resultados analíticos de estudios a incluir en la base de datos de PRONAME.
- Manual de procedimientos para la toma de muestras, su análisis ecotoxicológico e histológico en el marco del PRONAME.
- Procedimientos de auditoría de las actividades de muestreo de matrices ambientales.
- Procedimientos de auditoría de las actividades analíticas de los laboratorios que analizan las matrices ambientales del PRONAME (Gutiérrez, 2016).

El INECC funciona como laboratorio de referencia en materia de análisis y calibración de equipos de medición de contaminantes atmosféricos, residuos peligrosos, y en la detección e identificación de organismos genéticamente modificados. Además, participa en la generación y actualización de normas asociadas al muestreo y análisis de contaminantes ambientales, sustancias químicas y residuos. El laboratorio del INECC realizó una prueba de intercalibración internacional a través del “Round 50 of ERA's Air & Emissions PT Scheme” en diciembre de 2019, la cual obtuvo resultados satisfactorios para varios plaguicidas entre los que se encuentran varios COP como aldrín, dieldrín, DDT y sus metabolitos (DDD, DDE), endosulfán, heptacloro, etc.

Actualmente, el gobierno de México no participa en otras redes de supervisión o medición de COP, sin embargo, cuenta con una capacidad suficiente para generar información de COP en matrices biológicas y ambientales, así como para obtener resultados confiables.

## 6. MONITOREO DE COP EN MÉXICO

---

### 6.1. DIAGNÓSTICO RETROSPECTIVO Y RECIENTE DE COP EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA

Este Estudio fue realizado para el INECC por personal del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (ITSON), de la Universidad Autónoma de Baja California y del CYAD-Guaymas. Tuvo como objetivo general el diagnosticar la distribución ambiental en el Valle del Yaqui de los isómeros alfa, beta y gama (lindano) del hexaclorociclohexano, los metabolitos del DDT, y los 12 COP incluidos en el Convenio de Estocolmo, a excepción de las dioxinas y furanos.

Los sitios y biota muestreados fueron:

- Suelos, que incluye a escuelas, parques, y campos deportivos.
- Sedimentos que incluyen sedimentos de río y sedimentos marinos
- Tejidos de peces y de batracios.

Se seleccionaron los sitios de muestreo con una fuerte conexión con los humanos y en particular con fuerte presencia de niños, ya que se consideró que éstos por sus actividades y condiciones metabólicas son una población vulnerable a la acción de los contaminantes estudiados (Cortinas, 2016).

Para el muestreo de organismos, se colectaron muestras que incluyeron principalmente peces de agua dulce y batracios (sapos). En ambos tipos de organismos se analizaron muestras de músculo y de hígado (Cortinas, 2016).

En el estudio sólo se encontró un valor relativamente alto de DDT de 0.81 localizado en Liliba, Sonora; por lo que de manera general se concluye que no había habido utilización reciente en la zona de DDT. Un comportamiento diferente ocurría en el sedimento marino.



Cuadro 23. Principales hallazgos del estudio sobre COP en el Valle del Yaqui, Sonora

<b>Resultados Destacados del Estudio en el Valle del Yaqui</b>	
<b>BPC y sus congéneres</b>	<p>Las concentraciones de los BPC fueron generalmente más bajas que las de los plaguicidas OC. Con una excepción, la mayoría de las concentraciones variaron entre alrededor de 1 ng/g y hasta 30 ng/g de la sumatoria de 41 congéneres de BPC que fueron buscados. Un análisis sobre la composición típica de los BPC que se midieron muestra que los congéneres de mayor concentración son aquellos que tienen pesos moleculares más grandes. En todas las estaciones, sin excepción, los congéneres más pesados (del BPC 75 al BPC 209), mostraron concentraciones mayores que los ligeros (BPC 17 al BPC 74).</p> <p>Con relación a las distribuciones espaciales de BPC en la zona de estudio, la máxima concentración corresponde de nuevo a una muestra colectada en Villa de Juárez como ocurrió en el caso de los plaguicidas OC.</p>
<b>DDT y sus metabolitos</b>	<p>Con relación a las concentraciones en suelos de los DDTs, se encontró que no son relativamente muy altas ya que el máximo encontrado fue de solo 209 ng/g de suelo en peso seco.</p> <p>Se observó una muy baja correlación de la concentración del DDT contra la materia orgánica en cada una de las dos fases medidas. Las razones de que esto sea así son, aunque especulativas, muy probablemente debidas al menos a las dos siguientes razones para el caso del suelo; primero, que la concentración dependerá de la fuente y en este caso, la fuente es muy variable ya que depende de donde se hicieron mayores aplicaciones históricamente. En segundo lugar, es claro que las muestras presentaron muy poca materia orgánica.</p> <p>Un comportamiento similar se observa en el caso de los datos de sedimentos marinos, adicionalmente, y debido a que el número de muestras es menor. Aunque no se hizo la medición de las distribuciones de tamaño de grano, la mayoría de los sitios presentaban tamaños de granos grandes tipo arena y por tanto no son conducentes al depósito de materiales, incluida la materia orgánica.</p>
<b>Aldrín y Dieldrín</b>	<p>La distribución espacial de la concentración máxima encontrada para aldrín y dieldrín se localizó en el mismo sitio que para los DDTs y que es en Villa de Juárez. De hecho, la mayoría de los contaminantes mostraron el máximo de concentración en Villa de Juárez.</p> <p>Cabe señalar que, en el ambiente, el Aldrín es convertido por epoxidación a Dieldrín y que al igual que los otros OCs, por su carácter hidrofóbico, se adhieren fuertemente al suelo y sobre todo a la materia orgánica. La razón debe ser por lo tanto &lt;1 para usos del pasado y &gt;1 sugiere uso reciente. En este caso particular, las Estaciones 22 y 25 de suelos presentaron valores mayores a 1 (1.2 y 1.1) para los sitios localizados en Villa Guadalupe y Guasima, respectivamente.</p>

Fuente: Cortinas, 2016.

Los autores del estudio plantean que existen evidencias suficientes para mantener un monitoreo continuo de extensas áreas de la región agrícola que incluye la zona de estudio debido a que como ha sido reportado previamente, por ejemplo, en el caso de HCB, uno de los más importantes liberadores de este compuesto al medio ambiente lo es la agricultura, con hasta un 23% del total cuando se compara con otras actividades. Esta liberación se origina en impurezas de otros plaguicidas. En el caso de los DDTs, la interpretación debe ser similar ya que los niveles encontrados en sedimentos marinos sugieren un arrastre de zonas agrícolas y con posibilidades de efectos biológicos a organismos del medio. Debido a los procesos de biomagnificación y bioacumulación, es de esperarse que adicionalmente a la exposición directa vía la exposición aérea o por ruta atmosférica, deba considerarse la alimenticia como una ruta potencial de importancia por consumo de peces y posiblemente por moluscos bivalvos en la zona pesquera.

Finalmente, la frecuente presencia de estos compuestos en el cuerpo humano de habitantes de la zona de estudio, hacen urgente la necesidad de monitoreo más completo del ecosistema y de las poblaciones humanas del Valle del Yaqui.

### 6.1.1. Estudios previos sobre COP en el Valle del Yaqui

Cuadro 24. Principales hallazgos de estudios previos sobre COP en el Valle del Yaqui

Título del estudio	Resultados
Determinación de plaguicidas organoclorados en suero sanguíneo en residentes de tres comunidades del Valle del Mayo.	Tesis en curso en el momento del estudio.
Determinación de plaguicidas organoclorados en suero sanguíneo en niños residentes en el Tobarito, Valle del Yaqui, Sonora.	En las 20 muestras obtenidas de niños del Tobarito no se detectaron lindano ni pp'-DDT, solo p,p'-DDE en el 40% de las muestras, en un rango de concentraciones desde 5.54 hasta 14.825 ppb. En las muestras obtenidas en Ciudad Obregón en el 42.65% de las mismas se detectó únicamente el pp'-DDE, en un rango de concentraciones de 1.98 a 14.88 ppb.

Título del estudio	Resultados
Determinación de plaguicidas organoclorados (POC) en niños residentes del ejido Guadalupe Victoria, Valle del Yaqui, Sonora	En las 21 muestras analizadas sólo se detectó el p,p- DDE en el 66.66% de éstas, con un rango de concentraciones que fueron de menores a 0.1 ppb hasta 443.9 ppb ( $\mu\text{g/L}$ ) y un promedio de 100 ppb.
Principales plaguicidas utilizados en el Valle del Yaqui, Sonora, y su impacto en la salud, por su uso y manejo en el periodo 1995-1999	Los agroquímicos utilizados de mayor aplicación fueron los herbicidas (34%), carbamatos (27.53%), organofosforados (27.53%), fungicidas, organoclorados y piretroides. El total de ingrediente activo fue de 3,146,616 kg. En 1988 fue el año que más se utilizó con un total de 806,123 kg. Se detectaron aplasia medular, leucemia aguda, y linfoma no Hodgkin.
Estudio preliminar para la determinación de plaguicidas organoclorados en suero sanguíneo de niños residentes del Valle del Yaqui, Sonora, México	Se detectó DDT y DDE en muestras de suero sanguíneo de niños residentes del Valle del Yaqui, la zona con niveles más altos fue Quetchehueca, Sonora (promedio de 0.8 ppb). La zona control (Tesopaco, Sonora) tuvo niveles más altos que el valle del Yaqui (promedio de 12 ppb).
Estudio preliminar de plaguicidas y metales pesados en agua potable y de uso general en el Valle del Yaqui, Sonora, México	Los valores obtenidos para fierro y manganeso en las muestras de agua procedentes de las comunidades de Bacúm y Quetchehueca rebasaron lo establecido en las NOM. Los plaguicidas organoclorados detectados fueron el lindano, que estuvo presente en las 3 comunidades agrícolas, el pp-DDD que se encontró en Quetchehueca y el pp-DDT y dieldrín detectados en Pueblo Yaqui. Los POC detectados en el agua del dren de Quetchehueca y Pueblo Yaqui fueron malatión y paratión metílico.
Determinación del pasaje trasplacentario de plaguicidas de mujeres embarazadas a sus neonatos residentes en el pueblo Yaqui, Sonora	Las mujeres bajo estudio estuvieron expuestas a las 3 vías de contaminación: inhalación, contacto e ingestión. Los plaguicidas alfa-HCH, gamma-HCH (lindano), HCB, dieldrín, endrín y DDE se detectaron en las muestras de sangre materna, líquido amniótico y cordón umbilical.
Contaminación por plaguicidas en el acuífero del Valle del Yaqui, Sonora	El paratión metílico fue el más utilizado en los cultivos de primavera verano, mientras que el Difenzoquat (Mataven-15) lo fue en los cultivos de invierno, observándose la aplicación de 38.5Ll de lindano en cultivos de primavera-verano. Los plaguicidas que se detectaron en el agua subterránea del Valle del Yaqui fueron: en agua potable HCH, dieldrín, endrín, DDE, DDT. En agua para uso agrícola: HCH, Dieldrin, Endrin,

Título del estudio	Resultados
	DDE, DDT y Heptacloroepoxido. En agua de pozos de observación: HCH, DDE, DDD, Endrin, y Dieldrin.
<p>Estudio de las principales fuentes de contaminación por plaguicidas en neonatos lactantes residentes en Pueblo Yaqui, Sonora, México.</p>	<p>Los plaguicidas detectados en la sangre de los neonatos fueron: dieldrín, lindano, p,p-DDE, ∞-HCH, endrín, o,p-DDE, p,p-DDT, δ-HCH y BHC; con las siguientes concentraciones promedio: 0.1597, 0.0844, 0.0309, 0.03, 0.03, 0.02189, 0.00793, 0.00454, 0.00386, 0.00294 ppm, respectivamente. En la leche materna se identificaron los siguientes plaguicidas: pp-DDE, heptacloro, ∞-HCH, lindano, BHC, endrín, δ-HCH, β-HCH, aldrín, p,p-DDT, heptacloro epóxi, o,p-DDD, dieldrín, y o,p-DDT; cuyas concentraciones medias fueron: 6.31, 1.269, 0.8599, 0.671, 0.627, 0.5238, 0.4432, 0.3791, 0.2363, 0.2089, 0.08, 0.0687, 0.0487 y 0.002 ppm. Estas concentraciones sobrepasaron los límites establecidos por la FAO/OMS.</p> <p>A los 3 meses de vida se identificaron los siguientes plaguicidas, detectándose en este periodo un mayor número en la sangre de estos lactantes: ∞-HCH, lindano, δ-HCH, BHC, aldrín, endrín, dieldrín, pp-DDE, o,p-DDE y p,p-DDT y presentaron las siguientes concentraciones promedio: 0.0025, 0.03, 0.037, 0.00424, 0.0031, 0.0974, 0.08312, 0.01489, 0.0075 y 0.0044 ppm. A los seis meses tales sustancias permanecieron presentes, solo que algunas se transformaron en productos de degradación por lo que se identificaron 7 POC, estos fueron: ∞-HCH, lindano, δ-HCH, heptacloro, BHC, endrín, pp-DDE, con las siguientes concentraciones promedio: 0.0045, 0.0414, 0.0482, 0.00263, 0.01099, 0.0094 y 0.0123 ppm. Además, se encontró que las concentraciones correspondientes al lindano y al dieldrín sobrepasaron a las detectadas en estudios de determinación de plaguicidas en personas con exposición normal.</p>
<p>Estudio preliminar sobre la presencia de plaguicidas organoclorados en leche materna de residentes de Pueblo Yaqui, Sonora</p>	<p>Los resultados mostraron que el 85.71% de las muestras analizadas presentaron de 1 a 3 plaguicidas. Los compuestos detectados fueron: aldrín, ∞-HCH, (lindano), δ-HCH, DDT-técnico y p,p-DDE con una concentración promedio de 0.06, 0.08, 0.11, 0.17, 0.27 y 1.90 ppm, respectivamente. Además, los niveles de lindano, DDT-técnico y pp-DDE se encontraron en concentraciones superiores a los límites establecidos para leche por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).</p>
<p>Determinación de plaguicidas organoclorados</p>	<p>Los plaguicidas identificados fueron: delta HCH, isómero del lindano, DDE, heptacloro epóxido y endrín, en un rango de</p>

Título del estudio	Resultados
por cromatografía gas-líquido en moluscos bivalvos en el sistema estuarino La Atanasia Santo Domingo, Valle del Yaqui.	concentración de 0.0068 ppm a 0.064 ppm con una incidencia de 1-3 plaguicidas por muestra.
Evaluación de exposición a plaguicidas en líquidos corporales de residentes masculinos del sur de Sonora.	
Residuos de insecticidas en granos almacenados en Sonora, México: cuantificación y prueba de toxicidad	Se encontraron trazas de malatión (11.1 ppb), clorpirifos (5.8 ppb), deltametrina (97.7 ppb), cipermetrina (70.9 ppb), DDE (11.9 ppb), DDD (2.2 ppb) y DDT (4.0 ppb) en granos de trigo. Los niveles encontrados estuvieron por debajo del máximo permitido, con excepción de cipermetrina.
Presencia de insecticidas en granjas de camarones adyacentes al Mar de Cortés: detección, cuantificación y prueba de toxicidad	Los resultados indican que los niveles de insecticidas encontrados en el ambiente de la granja pueden contribuir a la reducción en producción.
Apuntes sobre los plaguicidas: un análisis de sus características, usos, impactos y situación en el Valle del Yaqui	En el presente trabajo se hace un análisis profundo de los plaguicidas, abordando el tema desde sus antecedentes históricos, sus características y propiedades, su legislación, sus impactos en el ambiente y salud, así como su situación en el Valle del Yaqui.
Detección y cuantificación de insecticidas en camarones criados en una granja costera en Sonora, México	Se detectaron lindano, DDD, DDE, metoxicloro, endrín, DDT, heptacloro, endosulfán, malatión, paratión y clorpirifos. malatión y paratión se encontraron en mayores concentraciones en camarón (hasta 35 y 12 ppb, respectivamente), independientemente de la fuente y el mes de colecta
Presencia de plaguicidas carbamatos en aguas ambientales del noroeste de México: Determinación por Cromatografía Líquida	En agua de pozo se encontró contaminación con metiocarb de 5.4 ppb y en agua superficial se detectaron 18 ppb de 3-hidroxicarbofurano

Fuente: Cortinas, 2016.

## 6.2. EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COP EN SANGRE DE MUJERES EN EDAD FÉRTIL QUE RESIDEN EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA

En el marco del Programa Nacional de Monitoreo Ambiental (PRONAME) en 2009 se llevó a cabo un monitoreo ambiental en 25 localidades pertenecientes a la zona Valle del Yaqui en Sonora. El INE ahora INECC y el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) fueron los encargados de llevar cabo el estudio para determinar la concentración de compuestos organoclorados, bifenilos policlorados y plomo en sangre en 60 mujeres en edad fértil (MEF) de tres localidades de esta región.

El Valle del Yaqui es una región con vocación agrícola altamente tecnificada e intensiva colindante con una zona desértica al norte, con zonas de estuarios al oeste, con una zona montañosa al este y con la zona de drenaje natural del Río Yaqui colindando con el Valle del Río Mayo hacia el sur (Cortinas, 2016). Algunos de los plaguicidas más usados en los campos agrícolas son: Malatión, Paratión, Paraquat, Faena (glifosato), semilla tratada con granosan (fosfato de etil mercurio).

Los criterios de inclusión para el estudio son los siguientes:

- Mujeres en edad fértil (MEF: 18-49)
- Residentes del Valle del Yaqui por lo menos 10 años
- Asistentes a la consulta externa de las unidades de salud del Valle del Yaqui
- Que se encuentren en el censo de MEF

Mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) se realizó la ubicación de los domicilios de las participantes del estudio en sus respectivas localidades de residencia. Este posicionamiento global sirvió como referencia para conocer la distancia entre cada domicilio y los campos agrícolas.



## Cuadro 25. Resumen de resultados del estudio de COP en sangre materna en el Valle del Yaqui, Sonora

### Principales hallazgos

- Con relación a los factores potenciales de riesgo por estar expuestas a plaguicidas, el 31.67% de las mujeres en edad fértil trabajan actualmente como jornaleras y el 56.65% son amas de casa, al preguntar a estas amas de casa si en el último año trabajaron como jornaleras el 91.4% respondió que sí.
- Las actividades de jornalera en la zona de estudio no se mantienen constantes durante el año, sino más bien son de temporal y en promedio tienen 7 años haciendo este tipo de actividad.
- Con respecto a la exposición doméstica a plaguicidas, la mitad de las entrevistadas usó alguna vez tratamiento contra la pediculosis, siendo el shampoo de marca Herklin el más utilizado.
- Dado que la zona de estudio no tiene actividades económicas relacionadas con la ganadería, sólo un 8% del total de las entrevistadas tuvo contacto con baños para ganado.
- Posiblemente como la zona no es boscosa, el combustible más usado para cocinar es el gas. Por lo anterior se asumió que las participantes del estudio no están expuestas al humo de leña.
- Cuando se hizo el análisis descriptivo por localidad, se observaron características demográficas generales muy similares entre las tres. Sin embargo, cuando se hace referencia al acceso a servicios públicos disponibles, aún hay carencia de luz eléctrica, mala disposición de excreta, así como de consumo de agua.
- Al comparar las tres localidades, en Bahía de Lobos (Sonora), Son. es donde más usan algún tipo de plaguicidas, las mujeres entrevistadas se dedican más a la actividad agrícola, junto con las de Bachomobampo. Sin embargo, en promedio, las que más años (12a) han trabajado como jornaleras son las de Villa Juárez, Sonora.
- Las mujeres de Bahía de Lobos son las que más han estado expuestas a algún tipo de tratamiento contra la pediculosis, usando el shampoo de marca Herklin. Algunas de Bachomobampo las que han estado en contacto con baños para ganado. Y tanto en Villa Juárez como en Bachomobampo han usado el azuntol.
- El 21% de las mujeres tienen niveles de p,p'-DDE por encima del límite de detección 0.5 ng/ml. El valor máximo de p,p'-DDE encontrado en las muestras fue de 13.51 ng/ml. El 19% de las mujeres tuvieron niveles por encima del límite de detección de o,p'-DDE
- El 33% de las mujeres tuvieron niveles detectables de 1234-tetraclorobenceno, no se tienen valores previos de referencia.
- El contaminante que se encontró en mayor porcentaje de las mujeres fue el pentacloroanizol. Este contaminante se encontró en el 71% de las mujeres y es un compuesto formado a partir de las reacciones de degradación del Hexaclorobenceno.
- No se encontraron diferencias entre los niveles de contaminantes y el tipo de ocupación pasada y actual. Este se puede deber a que podría haber concentraciones por debajo del nivel de detección por lo cual la comparación por lo pronto no es válida.
- El ajuste por lípidos se realizó con la media nacional de mujeres que participaron en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2006) por lo que los datos ajustados por lípidos se deben tomar con reserva puesto que es una media nacional y no la estimación individual de las participantes.

Fuente: Cortinas, 2016.



### 6.3. ESTUDIO TRINACIONAL DE COP EN SANGRE MATERNA

La Comisión para la Cooperación de América del Norte (CCA) apoyó un proyecto con el propósito de establecer un perfil inicial trinacional de la exposición a COP y metales en sangre de madres primerizas de México, Canadá y Estados Unidos, a través del cual también se fortalecieron las capacidades analíticas sobre estas sustancias en México, a fin de generar bases de datos comparables que puedan ser empleados para determinar prioridades de acción a nivel doméstico y regional para grupos selectos de sustancias (Cortinas, 2016).

El INSP coordinó dicho Proyecto por parte de México, lo que incluyó, entre otros, la organización del levantamiento de las muestras en los diez sitios seleccionados en el país y el envío de las muestras a los laboratorios nacionales e internacionales participantes. El INSP se encargó de la integración de las bases de datos correspondientes y de realizar el análisis de estos en colaboración con el Centro de Toxicología del Instituto Nacional de Salud Pública de Quebec (Cortinas, 2016).

Las muestras se obtuvieron en México en 10 sitios distintos:

- Valle del Yaqui en Obregón, Sonora
- Salamanca, Guanajuato
- Tultitlán, Estado de México
- Córdoba, Veracruz
- Coatzacoalcos, Veracruz
- Mérida, Yucatán
- Monterrey, Nuevo León
- Guadalajara, Jalisco
- Hermosillo, Sonora
- Querétaro, Querétaro

En las muestras para el caso de México se midió: cadmio, mercurio y plomo; de los COP de la lista del Convenio de Estocolmo, se midió endrín, dieldrín (prohibidos en México). En muestras agrupadas de cada país se analizaron las dibenzo-p-dioxinas cloradas (PCDDs), los dibenzofuranos policlorados (PCDF) y bifenilos policlorados (BPC), incluyendo los parecidos a dioxinas.

El laboratorio que participó en las mediciones de metales fue el de CENICA y para COP la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).

El Cuadro 26 resume los resultados obtenidos en las ciudades y sitios mexicanos estudiados y se llama la atención sobre aquellos que son indicadores de la exposición a niveles de contaminantes químicos, ya sea metales o COP, que por estar por arriba de la línea base ameritan de seguimiento para determinar sus tendencias y el origen de la exposición o fuentes que los liberan al ambiente en las ciudades de estudio (Cortinas, 2016).

Cuadro 26. Resumen de los resultados obtenidos en ciudades mexicanas sobre muestras de sangre

Sitios y Ciudades	Sustancias preocupantes de acuerdo con los criterios de selección de ciudades	Resultados del INSPQc	Resultados de la UASLP
Córdoba	PCDD/PCDF, COP	PCDD/PCDF por debajo de la línea base DDE, DDT por arriba de la línea base Oxichlordano por debajo de la línea base	DDE, DDT, Mirex, Oxi-Clordano por debajo de la línea base
Coahuila de Zaragoza	Metales	Cd, Pb niveles base HgT niveles superiores a la línea base	Todos los metales por debajo de la línea base
Salamanca	COP	DDE por debajo de la línea base. DDT y HCB detectables, niveles base BPC niveles base	DDE niveles base DDT sobre la línea base HCB niveles base

Sitios y Ciudades	Sustancias preocupantes de acuerdo con los criterios de selección de ciudades	Resultados del INSPQc	Resultados de la UASLP
Tultitlán	PCDD/PCDF COP Metales,	DDE detectables, por debajo de la línea base DDT, niveles base HCB por arriba de la línea base Cd, Pb niveles base HgT por debajo de la línea base	DDE niveles base DDT sobre la línea base HCB por debajo de la línea base  Cd, HgT por debajo de la línea base Pb línea base
Valle del Yaqui, Obregón	Plaguicidas COP	DDT, DDE niveles base HCB por arriba de la línea base	DDE y HCB niveles base DDT por arriba de la línea base
Guadalajara	Metales COP niveles bajos esperados	Metales niveles base DDE por debajo de niveles base DDT, HCB niveles base	Cd, Hg T por debajo de niveles base Pb niveles base DDE por debajo de niveles base DDT por arriba de la línea base HCB niveles base
Hermosillo,	Plaguicidas COP	Niveles base de BPC	BPC No detectables
Mérida,	DDT, DDE, Metales niveles bajos esperados	DDE, DDT niveles base HCB por abajo de niveles base beta-HCH por arriba de la línea base Pb, Cd niveles base HgT por arriba de la línea base	DDE, DDT por arriba de la línea base HCB niveles base Pb, Cd y HgT por abajo de niveles base
Monterrey	Metales, COP niveles bajos esperados	Metales niveles base DDE, DDT niveles base HCB por abajo de niveles base BPC niveles base	Cd, HgT por abajo de niveles base Pb niveles base DDE niveles base DDT, HCB por arriba de la línea base
Querétaro	Metales, COP niveles bajos esperados	Metales niveles base DDE, DDT, y HCB niveles base BPC niveles base	Cd, HgT por abajo de niveles base Pb niveles base DDE, HCB niveles base DDT por arriba de la línea base

Fuente: Cortinas, 2016.

En el informe final de este estudio resalta que, aunque el valor informativo de los resultados obtenidos es innegable, debido al tamaño reducido de la muestra de mujeres estudiadas, no puede considerarse que constituyan una “línea base” de los niveles de exposición a los COP y metales pesados. En Estados Unidos el establecimiento de una línea base involucró 1726 muestras y en Canadá un estudio con fines similares previó la recolección de 5,000 muestras.

## 6.4. MONITOREO DE SUSTANCIAS TÓXICAS PERSISTENTES Y BIOACUMULABLES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MAPIMÍ, DURANGO, MÉXICO

A través del Programa Nacional de Monitoreo y Evaluación Ambiental (PRONAME) se llevó a cabo la determinación de los niveles de concentración de las STPB en los factores abióticos (suelo, agua, aire y sedimentos) y bióticos (animal y vegetal), incluido el humano, la identificación de fuentes de origen, distribución, transporte y sus impactos con el fin de prevenir su generación, reducir las concentraciones en el ambiente y evaluar los posibles riesgos a la salud humana y de los ecosistemas; información confiable que contribuirá al diseño de políticas públicas, con sustento científico, orientadas a la reducción de sustancias tóxicas en el ambiente (Ilizaliturri Hernández César A., 2013).

El PRONAME, contó con siete sitios activos (Reserva de la Biosfera Ría Celestún, Coatzacoalcos, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Reserva de la Biosfera Mapimí, Salamanca, Área Natural Protegida Valle de Bravo y Valle del Yaqui). Debido a que la Reserva de la Biosfera de Mapimí contaba con una diversidad biológica importante representativa de ecosistemas áridos de Norteamérica, y además es considerada como un sitio PRONAME con poco o nulo impacto fue importante establecer las concentraciones de STPB en matrices ambientales y establecer la especie que funcionaría como biomonitor, ya que los niveles de STPB registrados servirían para comparar con biomonitores de otros sitios PRONAME y establecer una línea base de STPB en México (Ilizaliturri Hernández César A., 2013).

### 6.4.1. Reserva de la biosfera de Mapimí en Durango

El objetivo general del Estudio (INECC, 2013) fue determinar las concentraciones de STPB en muestras ambientales y biológicas en el sitio PRONAME de Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango.

Durante el muestreo ambiental también se tomó en cuenta el área de influencia de la Reserva de la Biosfera de Mapimí, por ello se obtuvieron algunas muestras de la porción sudoeste y noroeste. En dicha región existía actividad agrícola (forrajes, melón, maíz, principalmente) y debido a que son tierras más altas que donde se encuentra el bolsón de Mapimí, durante la temporada de lluvias los arroyos intermitentes (La India y La Vega) podrían dispersar los plaguicidas y fertilizantes que ahí se aplican. La dirección de los vientos predominantes es NE-SE así que era poco probable la dispersión de STPB por este medio. Además, históricamente en esas zonas agrícolas se llevó a cabo el cultivo de algodón, por lo que podrían existir DDT residual y/o sus metabolitos.

Se recolectaron muestras ambientales (suelo y sedimentos) para la cuantificación de: 4,4' DDD, 4,4' DDE, 4,4' DDT, Hexaclorobenceno (HCB), aldrín, heptacloro, heptacloro epóxido,  $\alpha$ -Endosulfán,  $\beta$ -Endosulfán,  $\alpha$ -HCH,  $\delta$ -HCH, y HCH (Lindano), así como BPC (PCB28, PCB52, PCB99, PCB101, PCB105, PCB118, PCB128, PCB138, PCB153, PCB156, PCB170, PCB180, PCB183 y PCB187). Se determinaron los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) con el método EPA 550.1/610/8100/8270C/8310 (Acenafteno, Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Dibenzo(a,h)antraceno, Fluoranteno, Fluoreno, Indeno(1,2,3-cd)pireno, Naftaleno y Fenantreno) y también se cuantificó As, Cd, Hg y Pb.

En suelo, se cuantificaron: 4-Bromobifenilo; 2,2'-Dibromobifenilo; 2,5-Dibromobifenilo; 2,6-Dibromobifenilo; 2,2',5-Tribromobifenilo; 2,4,6-Tribromobifenilo; 2,2',4,5'-Tetrabromobifenilo; 2,2',4,5',6- Pentabromobifenilo; 2,2',4,4',5,5'-Hexabromobifenilo; 4-Bromobifenil éter; 4,4'- Dibromobifenil éter; 2,2',4,5'-Tetrabromobifenil éter; 2,2',3,4,6-Pentabromobifenil éter; 2,2',3,4,4',5',6-Heptabromobifenilo; 4,4'-Dibromooctafluorobifenilo.

Se recolectaron muestras biológicas (roedores silvestres) para la cuantificación de: 4,4' DDD, 4,4' DDE, 4,4' DDT, HCB, aldrín, heptacloro, heptacloro epóxido,  $\alpha$  HCH,  $\beta$  HCH,  $\delta$  HCH,  $\gamma$  HCH (Lindano), así como BPC (PCB 28, PCB 52, PCB 99, PCB 101, PCB 105, PCB 118, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 180, PCB 183, PCB 187 y PCB 170). De las muestras biológicas se obtuvo el tejido hepático y los riñones para la determinación de STPB. El hígado completo se destinó para el análisis de COP y los riñones para la determinación de As, Cd, Hg y Pb. Para llevar a cabo el monitoreo y el análisis de STPB en aire se instalaron muestreadores pasivos tipo espumas de poliuretano PUF en sitios con cobertura regional, con el fin de tener muestras representativas de la región en la que se encuentran.

## Resultados

Cuadro 27. STPB del monitoreo realizado en Mapimí, Durango.

Tipo de muestras	Plaguicidas	BPC	PBDE	HAPs	Metales pesados
Suelo	Se encontraron niveles traza de DDT y algunos de sus metabolitos, aunque no superan los límites establecidos por las guías canadienses de calidad ambiental.	En ninguna muestra se registraron estos compuestos.	4-bromobifenilo eter; 4,4'-dibromobifenilo eter y 2,2',4,5'-tetrabromobifenilo éter	Ninguno de los compuestos analizados fue detectable	Sólo tres muestras presentaron valores superiores a los establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 <sup>3</sup> .
Sedimentos			No se realizó medición.	No se reportan resultados en el Estudio.	No se reportan resultados en el Estudio.
Biológica	Se encontró HCB, $\alpha$ HCH, $\delta$ HCH, $\gamma$ HCH, aldrín y DDT.	Se encontró PCB 183 Y 156.	No se realizó medición.	No se realizó medición.	Se encontraron Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sn, Sb, y Pb en todas las muestras.

Fuente: elaboración propia con datos del Estudio en comento.

<sup>3</sup> NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.



En términos generales el patrón registrado en todas las STPB analizadas en muestras ambientales fue el mismo, ninguna superó los límites de seguridad establecidos en guías ambientales internacionales (Guías canadienses de protección ambiental) ni las normas mexicanas NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012<sup>4</sup> y NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004.

Únicamente el arsénico en tres muestras superó los límites establecidos en la NOM- 147-SEMARNAT-SSA1-2004. Se registraron niveles de DDT y sus metabolitos en muestras ambientales, aunque los niveles son muy bajos y no superan los límites de seguridad ambiental. Lo anterior puede deberse a que en la década de los setenta y ochenta cerca de la Reserva de la Biosfera de Mapimí existían grandes extensiones de cultivos de algodón, cultivo en el que se aplicó una gran cantidad de DDT. Ninguna de las muestras evaluadas mediante bioensayos resultó ser tóxica.

#### **6.4.2 Área Natural protegida de Manantlán, Jalisco y Valle de Bravo**

Alma Nava (Nava, 2017), evaluó los COP en dos ANP federales, los datos analizados entre el 2010 y el 2012 resultaron del monitoreo ambiental integral de COP en aire, agua, suelo, sedimentos, biota animal y vegetal en la Reserva de la Biosfera de Manantlán y en el Área de Protección de Recursos Naturales de Valle de Bravo.

Analizó 22 OC, 16 HAP y 43 congéneres de PCB. Los resultados muestran presencia de HAP>OC>PCB en las dos ANP. Los COP con diferencia significativa ( $p<0.05$ ) fueron: HCB en aire; el DDT, 4,4-DDE y 4,4-DDD superaron el límite máximo permisible establecido por la EPA para alimentos de consumo humano (14 ng/g).

Las conclusiones de este estudio muestran que existe presencia de aldrín, DDT, DDE, DDD, heptacloro, HCB, mirex, endosulfán, clordano y metoxicloro. También se detectó en el caso de Manantlán presencia de PCB en suelos (mediana de 25,760 ng/kg de PCB001), vegetación (mediana de 43,000 ng/kg de PCB 001), peces (mediana de 560 ng/kg de PCB 206).

---

<sup>4</sup> NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación.



## 6.5. ESTUDIOS DE MONITOREO DE COP

### 6.5.1. Estudios epidemiológicos

En el cuadro 28 se muestran los estudios epidemiológicos que cumplieron los requisitos de selección para la caracterización de la exposición de plaguicidas organoclorados obsoletos y caducos COP. Estos datos evidencian la presencia de los plaguicidas DDT, DDE, mirex, lindano, aldrín, endrín y heptacloro en sangre en diversos grupos poblacionales y ampliamente distribuidos por el país (PNUD, 2017).

Cuadro 28. Estudios epidemiológicos llevados a cabo en México 2007-2016

Autor / año	Zona	Población	Contaminante	Sangre
CEC 2009	San Luis Potosí	Mujeres	<i>p,p'</i> -DDT	28-126 ng/g lípidos
			<i>p,p'</i> -DDE	54-503 ng/g lípidos
CEC 2009	Chiapas Quintana Roo Oaxaca	Mujeres	<i>p,p'</i> -DDT	425-1323 <sup>1,a</sup> ng/g lípidos 748 <sup>1,a</sup> ng/g lípidos 335 <sup>1,a</sup> ng/g lípidos
	Chiapas Quintana Roo Oaxaca		<i>p,p'</i> -DDE	1059-3738 <sup>1,a</sup> ng/g lípidos 1271 <sup>1,a</sup> ng/g lípidos 1362 <sup>1,a</sup> ng/g lípidos
Trejo et al. 2009	9 localidades de México	Niños	<i>p,p'</i> -DDE Mirex	1701.5 <sup>a</sup> ng/g lípidos 64.0 <sup>a</sup> ng/g lípidos
Trejo et al. 2009	9 localidades de México	Niños	Lindano <i>p,p'</i> -DDT	3947.3 <sup>a</sup> ng/g lípidos 343.5 <sup>a</sup> ng/g lípidos
Blanco et al. 2010	Morelos	Hombres	<i>p,p'</i> -DDE	880.66 <sup>a</sup> ng/g lípidos
CEC, 2011	México	Mujeres	<i>p,p'</i> -DDE	335.68 (µg/kg lípidos) <sup>c</sup>
Pérez et al. 2011	4 comunidades en México	Niños	<i>p,p'</i> -DDT	3.42–12.93 (µg/L) <sup>1,a</sup>
			<i>p,p'</i> -DDE	69.58 (µg/L) <sup>1,a</sup>
Rodríguez et al. 2012	11 localidades de México	Mujeres	<i>p,p'</i> -DDT	0.06 (µg/L) <sup>a</sup>
			<i>p,p'</i> -DDE	2.67 (µg/L) <sup>a</sup>
Trejo et al. 2012	Quintana Roo	Niños	Lindano	1273.1 <sup>a</sup> ng/g lípidos
			<i>p,p'</i> -DDT	2547.8 <sup>a</sup> ng/g lípidos
			<i>p,p'</i> -DDE	39432.3 <sup>a</sup> ng/g lípidos
Trejo et al. 2013	Quintana Roo	Niños	<i>p,p'</i> -DDT	1481.9–285 <sup>1,a</sup> ng/g lípidos
			<i>p,p'</i> -DDE	5055-10,766 <sup>1,a</sup> ng/g lípidos
			Lindano	1412-1849.2 <sup>1,a</sup> ng/g lípidos
Meza, et al. 2013	Sonora	Niños	<i>p,p'</i> -DDE	1.24 (µg/L) <sup>c</sup>
			<i>p,p'</i> -DDT	0.38 (µg/L) <sup>c</sup>
			Aldrín	0.43 (µg/L) <sup>c</sup>
Orta, et al. 2014	Ciudad de México	Hombres y mujeres	<i>p,p'</i> -DDT	3.0 <sup>a</sup> ±1.2 <sup>b</sup> ng/g lípidos
			<i>p,p'</i> -DDE	8.90 <sup>a</sup> ±3.60 <sup>b</sup> ng/g lípidos
Rodríguez, et al. 2017	Yucatán	Mujeres	<i>p,p'</i> -DDT	0.008-0.01 <sup>1</sup> (mg/Kg) <sup>2</sup>
			<i>p,p'</i> -DDE	0.00044-0.01 <sup>1</sup> (mg/Kg) <sup>1</sup>
			Endrín	0.021-0.049 <sup>1</sup> (mg/Kg) <sup>1</sup>
			Aldrín	0.011 (mg/Kg) <sup>c</sup>
			Heptaclor	1.67 (mg/Kg) <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Media geométrica, <sup>b</sup> Desviación estándar, <sup>c</sup> Media aritmética, <sup>1</sup> Rangos de medias.

Fuente: (PNUD, 2017)

## 6.5.2. Estudios de monitoreo ambiental

Los estudios que cumplieron los requisitos de selección y realizados en medios abióticos se resumen en el cuadro 29.

Cuadro 29. Monitoreo ambiental de plaguicidas organoclorados en México (2007-2016)

Autor y año	Medio	Zona	Contaminante	Concentraciones
Macías et al 2008	Suelo	Valle del Yaqui, Son.	DDT	0.0651-210 ng/g
Hernández y Hansen, 2011	Sedimento	Guasave, Sinaloa.	DDT	0.001-0.010 µg/kg
			DDD	0.001-5.26 µg/kg
			DDE Lindano	0.001-4.29 µg/kg 0.001 µg/kg
Cobos et al. 2014	Agua superficial cenotes	Yucatán Chan-Hulú Sabak-há, Mono	Aldrín	436.71-650.89 ng/l
Cobos et al. 2014	Agua superficial cenotes	Celestún Chan-Hulú Alborada, Sabak-há	Clordano	498.86-1495.6 ng/l
Cobos et al 2014	Agua superficial cenotes	Yucatán Celestún, Mono Yal Ek, Noh-Hulú	HCH	838.04-2375.9 ng/l
		Yucatán Chan-Hulú Alborada Xlaká, Mono	Endrín	366.03-1805.1 ng/l
Cobos et al 2014	Agua superficial cenotes	Yucatán Celestún Chan-Hulú Alborada, Xlaká, Sabak-há, Mono	DDT	962.6-2355.6 ng/l
Rendón y Memije 2016	Sedimento	Campeche Macuspana	o,p'-DDD o,p'-DDE o,p'-DDT	1.07-8.7 ng/g 2.02-17.2 ng/g 0.25-3.2 ng/g

Fuente: (PNUD, 2017)

La mayoría de los estudios son realizados en sedimento, suelo o aguas superficiales en zonas agrícolas en donde existe un impacto a cuerpos de agua derivado de la actividad agrícola y en cenotes, en los estados de Sinaloa, Yucatán y Campeche. Los plaguicidas determinados fueron DDT, DDE, DDD, lindano, aldrín, clordano, hexaclorohexano y endrín (PNUD, 2017).

## 6.5.3. Estudios de monitoreo en alimentos

Una de las principales fuentes de exposición en la población son los alimentos de origen vegetal (frutas, verduras, cereales, leguminosas) o animal (carne

bovina porcina y sus derivados, pescado, camarones, leche, productos lácteos y huevos). Los estudios que cumplieron con los requisitos de selección en medios bióticos se resumen en el cuadro 30. Se observa la presencia de DDT, DDE, DDD, lindano, heptacloro, aldrín, clordano, dieldrín y endrín (PNUD, 2017).

Cuadro 30. Monitoreo en alimentos de plaguicidas organoclorados en México (2008-2016)

Autor y año	Zona	Alimento	Plaguicida	Concentración
Rendón y Memije 2016	Campeche (Macuspana)	Camarones	o,p'-DDD	11.1-387.2 ng/g
			o,p'-DDE	38.7-121.0 ng/g
			o,p'-DDT	6.5-55.7 ng/g
Pérez et al. 2016	Hidalgo	Xoconostle	Gamma HCH	0.18-0.23 ng/g
			Heptacloro	0.45-0.60 ng/g
			Aldrín	0.43-0.55 ng/g
			p,p'-DDE	0.19-0.72 ng/g
			Dieldrín	0.18±0.08 ng/g
			Endrín	0.16-0.25 ng/g
			p,p'-DDD	0.18±0.08 ng/g
p,p'-DDT	0.30±0.06 ng/g			

Fuente: (PNUD, 2017).

## 6.6. CONTAMINACIÓN DE PLAGUICIDAS EN MÉXICO

El INECC realizó un diagnóstico sobre la contaminación de plaguicidas en México en agua y suelo, logrando identificar 125 sitios en 23 Estados que reportan la presencia de plaguicidas en agua superficial y subterránea y en suelo. El hexaclorociclohexano (HCH), con sus diferentes isómeros (alfa-HCH, beta-HCH, delta-HCH y gama-HCH), fue el plaguicida más frecuentemente reportado; seguido del DDT, con sus diferentes isómeros (p,p'-DDT y o,p'-DDT) y sus metabolitos (DDE y DDD). También se reportó del endosulfán, con sus isómeros (endosulfán I y II) y su metabolito (endosulfán sulfato). Los Estados con mayor número de sitios con presencia de plaguicidas son:

- Campeche con 19 sitios con presencia de plaguicidas, Guerrero con 16, Sinaloa con 16, Chiapas con 11, y, Sonora con 8 sitios.

El Valle de Culiacán, Sinaloa, en un sitio con alta actividad agrícola reporta el mayor número de plaguicidas con 31 ingredientes activos. El río Atoyac, Puebla, el río La Laja, Guanajuato, y los cuerpos de agua cercanos a varias plantaciones de plátano en el Municipio de Teapa, Tabasco, reportan altas concentraciones de plaguicidas en agua. Por su parte, el predio perteneciente a la Ex-unidad Industrial de FERTIMEX (TEKCHEM), en la Ciudad de Salamanca, Guanajuato, registra las concentraciones más altas en suelo (Martínez Arroyo A., 2019).

Entre los plaguicidas reportados TEKCHEM destacan los organoclorados como: Aldrín, p,p'-DDT, DDD, DDE, Dieldrín, Heptacloro, Heptacloro epóxido, Hexaclorobenceno, Lindano, Toxafeno, Alfa-Hexaclorociclohexano y Beta-Hexaclorociclohexano. En el Río La Laja el DDD, DDE, Aldrín, Alfa-HCH, Alfa-Endosulfán, Beta-HCH, Clordano, Delta-HCH, Dieldrín, Endrín, Gama-HCH, Heptacloro, Heptacloro epóxido, Hexaclorobenceno y el PCP (Martínez Arroyo A., 2019).

En TEKCHEM operó por más de 60 años una fábrica de plaguicidas, en la que se produjeron diferentes ingredientes activos como DDT, HCH y Toxafeno. La presencia de plaguicidas no sólo afectó al suelo, sino también a las aguas subterráneas, ya que las concentraciones de algunos plaguicidas medidos en 2016 (específicamente de Hexaclorociclohexano (mezcla de isómeros), Lindano (isómera gama) y DDE rebasaron los límites máximos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127- SSA1-1994 para agua potable.

En Chiapas se registran concentraciones de 16.7 µg/g de DDT en suelo, este compuesto fue utilizado para el control de la malaria. En los Valles del Yaqui y Mayo en Sonora, la aplicación de plaguicidas ha derivado en concentraciones elevadas en suelo de Hexaclorobenceno (292.4 µg/g), Endrín (344.3 µg/g), endosulfán (124.0 µg/g), DDE (621.3 µg/g), DDD (197.3 µg/g) y DDT (679.7 µg/g). (INECC, 2019).

## 6.7. PLAN DE VIGILANCIA MUNDIAL PARA CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES

El objetivo del Plan de Vigilancia Mundial para Contaminantes Orgánicos Persistentes (PVM) es determinar los cambios en las concentraciones de los COP a lo largo del tiempo y hacer posible la identificación de tendencias a partir de su seguimiento a nivel nacional, regional y mundial para respaldar la evaluación de la eficacia del Convenio de Estocolmo.

El Proyecto UNEP/GEF “Apoyo en la Implementación del Plan de Monitoreo Global, GMP, de Contaminantes Orgánicos Persistentes, COP, en los países de América Latina y el Caribe” tiene como objetivo que los países de la región fortalezcan y mejoren sus capacidades para la generación de información sobre presencia y cambios en los niveles de los COP, contribuyendo a la integración de información comparable para la región del GRULAC.

En el marco del Proyecto GEF se realizaron mediciones aire y leche materna y en agua para dos años consecutivos, 2017 y 2018. La Universidad Autónoma de Occidente (UAdO) fue responsable del muestreo pasivo de aire y leche materna llevando a cabo los protocolos de muestreo para las matrices seleccionadas. Los resultados generales indican la presencia de sustancias que se encuentran bajo alguna restricción nacional como lo DDT, endosulfán, PeCB y PCBs.

### 6.7.1. Muestreo en aire

Desde 2004, en la región de América Latina y El Caribe, se han monitoreado más de 100 parámetros en aire con muestreadores pasivos en 106 sitios de 19 países, de los cuales seis se ubicaron en México, con los programas GAPS y AIR-GEF:

Cuadro 31. Sitios que han monitoreado COP en México en la matriz Aire

Sitio	2005	2006	2007	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2018
Los Mochis										66	71
Monte Azules, Chiapas				88	32						
Sonora					52	32	35	18	12		
Tláhuac, Ciudad de México		31	31								
Veracruz	33										
Yucatán					52	32	35	18	12		

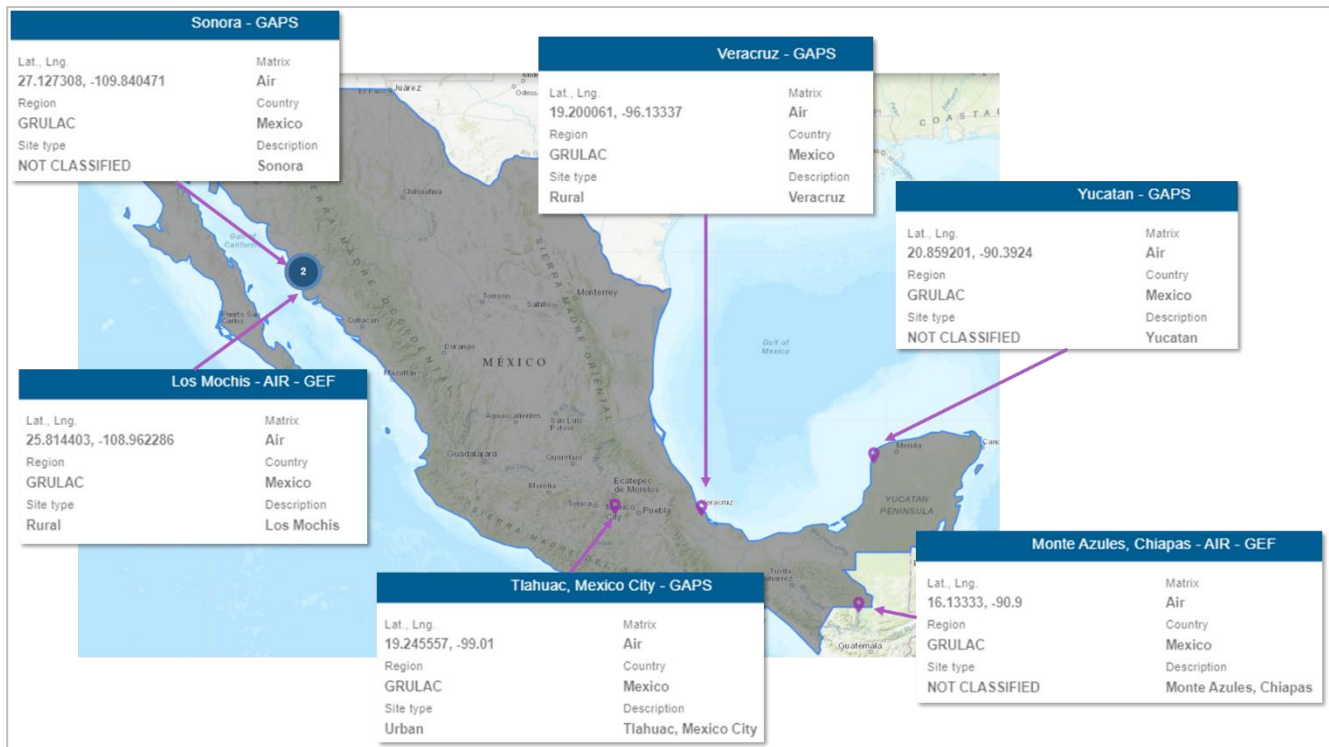


Figura 3. Ubicación de los sitios de monitoreo de la matriz Aire en México

Para llevar a cabo el monitoreo de COP en aire, se colocaron muestreadores pasivos cada uno con el disco de espuma de poliuretano (PUF polyurethane foam disc) en las instalaciones de la UAdO, esta instalación contaba con los requisitos establecidos para el muestreo en las guías del PNUMA. Las muestras fueron enviadas al laboratorio del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IDAEA CSIC) de Barcelona España, al Man-Technology-Environment Research Centre (MTM) de Örebro Suecia, al Laboratorio Nacional del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Los Mochis, Sinaloa, México para su estudio.

Las sustancias de estudio en aire fueron:

- COP básicos (OCPs - Plaguicidas organoclorados) y toxafenos)
- PFAS
- PCBs indicadores
- Compuestos similares a dioxinas (dl-PCBs, PCDDs, PCDFs)
- Compuestos bromados (PBDEs, PBB 153 y HBCD)



Los resultados de las muestras analizadas se expresaron en nanogramos por PUF (ng/PUF) para todos los compuestos, a excepción de dioxinas, furanos y dl-PCBs que se expresan en picogramo por PUF (pg/PUF).

## Resultados

Se identificaron en los muestreadores la mayoría de los compuestos analizados. Los de mayor concentración identificados durante el año 2017 fueron p,p'-DDE, PeCB, endosulfán I y II; así como la suma 6 de DDTs.

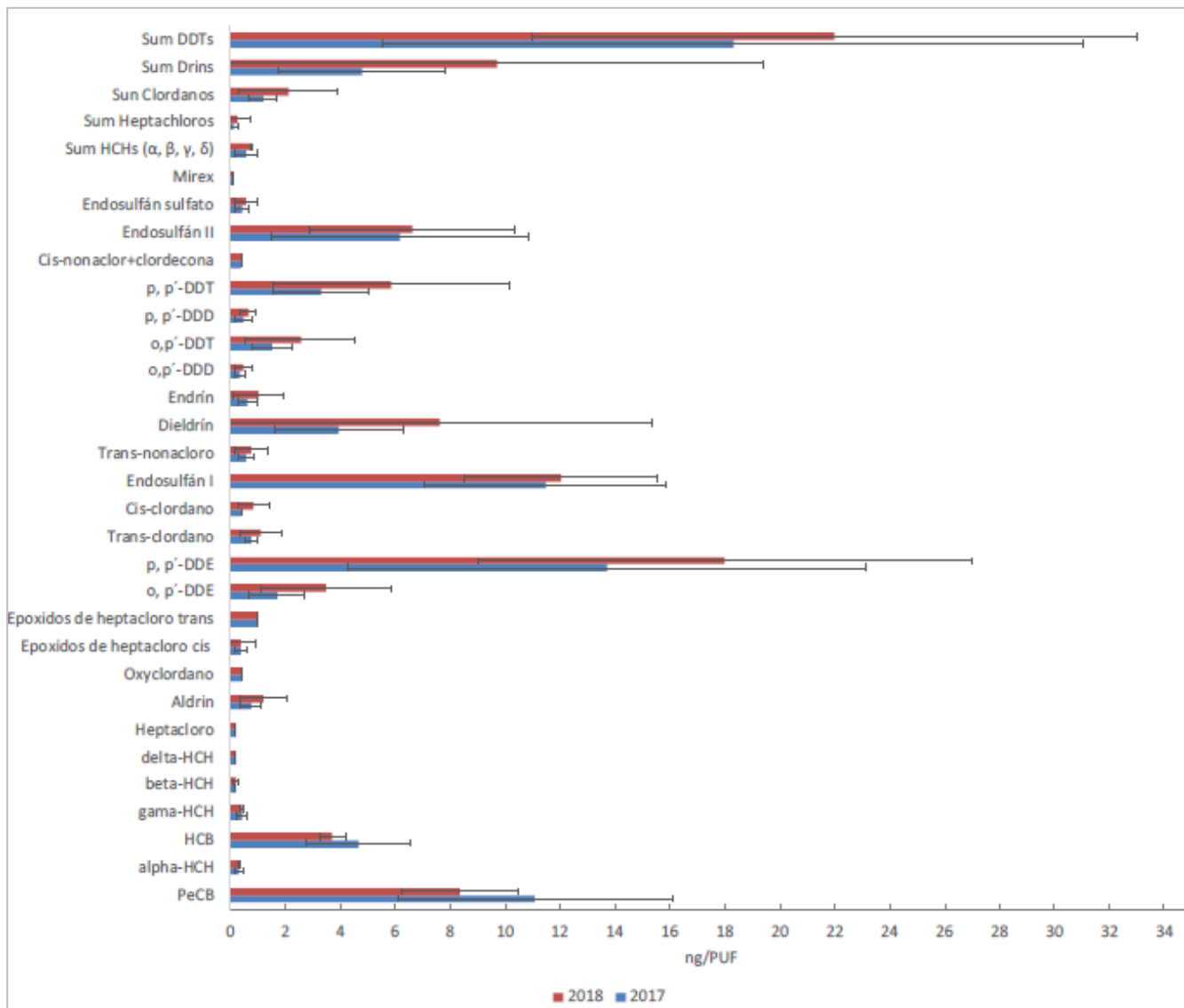


Figura 4. Resultados de COP básicos en muestras de aire en las 8 campañas llevadas a cabo entre 2017 y 2018.



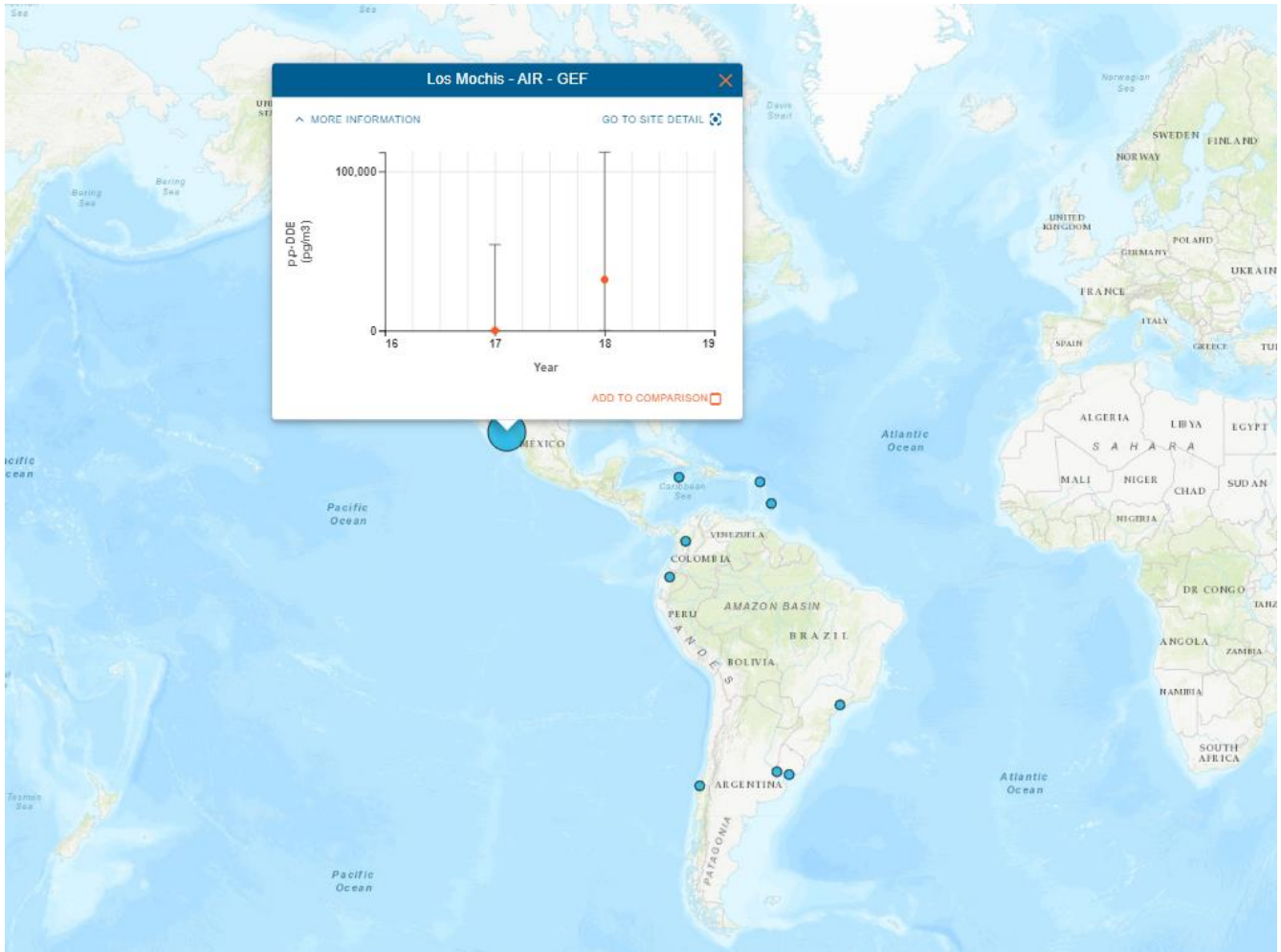


Figura 5. Concentración en la matriz Aire de p,p-DDE en México en comparación con los países GRULAC

En 2018, los mismos compuestos fueron detectados con resultados aritméticamente mayores en comparación al año anterior, con aumentos también en el resto de los indicadores. El dato más alarmante fue con relación a la suma de DDTs cuyo valor resultó mayor a lo reportado por otros países de la región GRULAC.

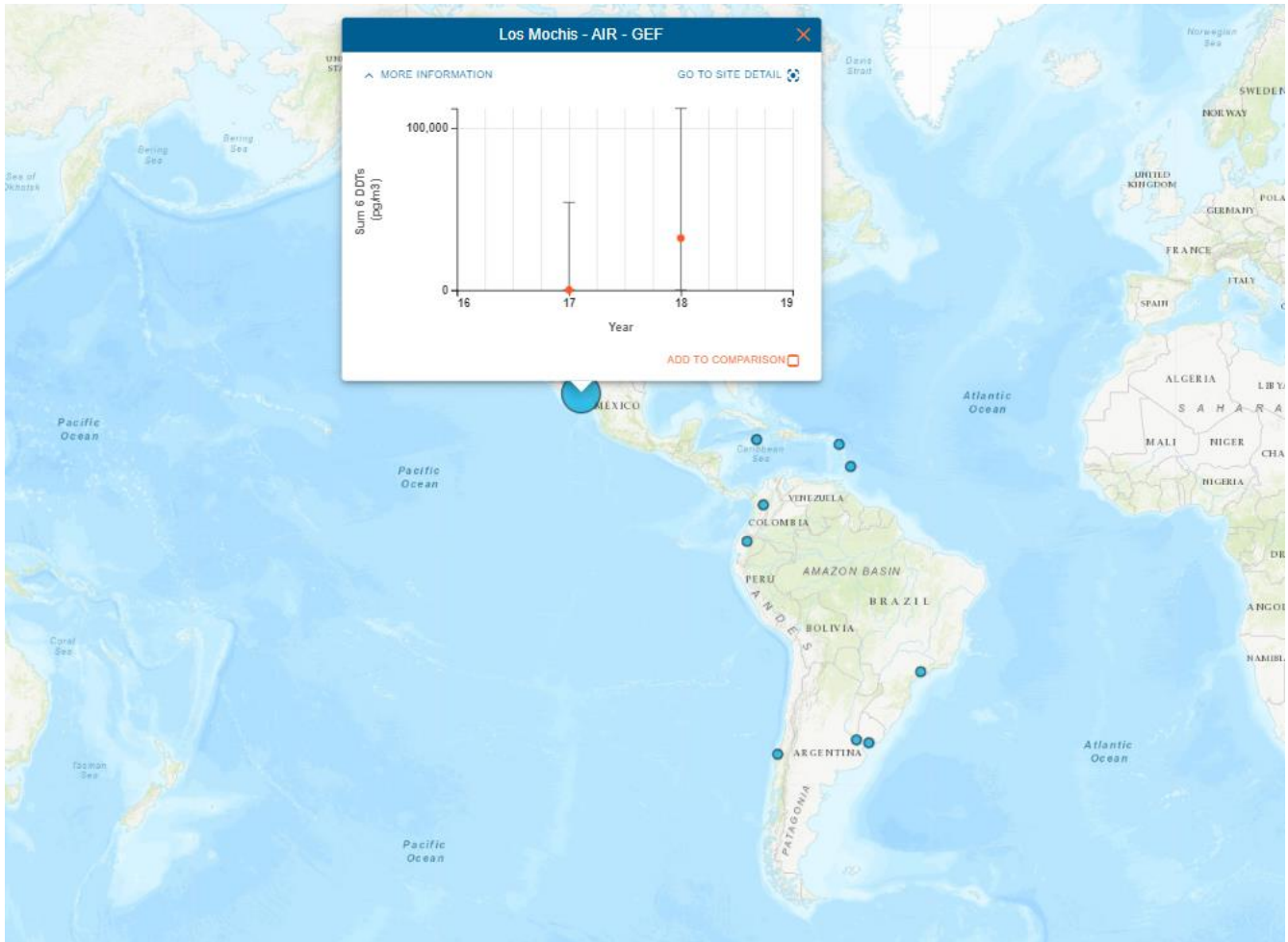


Figura 6. Concentración en Aire de la SUMA 6 DDTs en México en comparación con los países GRULAC

Los resultados para PCBs indicaron un ligero aumento en la concentración entre las campañas de 2017 y 2018. Por otro lado, los valores encontrados para PCBs similares a dioxinas en 2018 permanecieron cercanos y ligeramente menores al compararlos con el monitoreo del año 2017. La suma de PBDEs total aumentó para el año 2018 contra el año anterior.

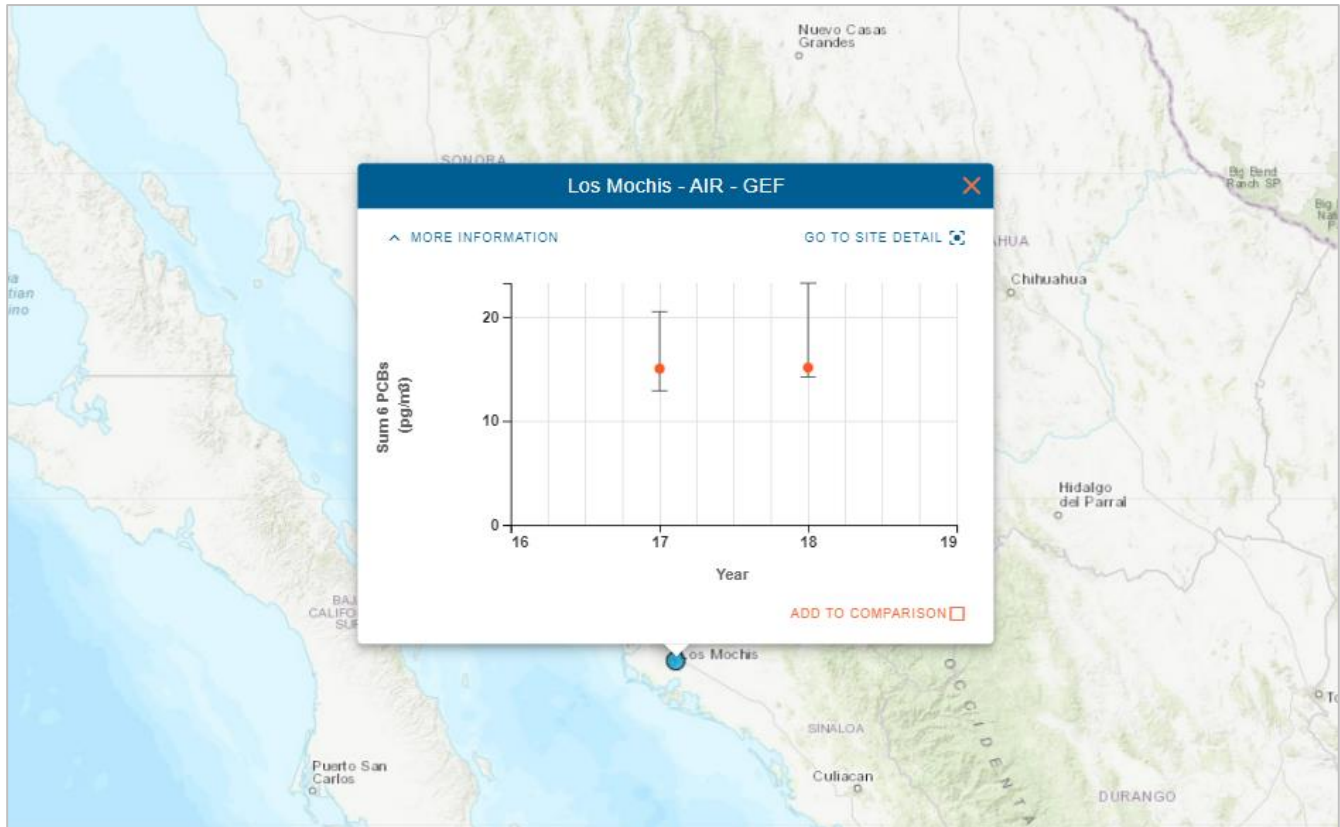


Figura 7. Concentración en Aire de la SUMA 6 PCBs en México en comparación con los países GRULAC

Para la matriz de aire es posible hacer únicamente comparaciones a manera de seguimiento, ya que no se cuenta con datos de monitoreo por más de dos años consecutivos en un mismo sitio de muestreo.

Las concentraciones encontradas fueron significativamente mayores en comparación con el resto de los países de la región GRULAC, lo que pone en consideración la evaluación a profundidad de estas sustancias y sus principales metabolitos en la zona evaluada, ya que los DDTs se encuentran bajo uso restringido en coherencia con el Anexo B del Convenio.

## 6.7.2. Muestreo en agua

Para los análisis de agua se propuso determinar los niveles de PFOS, PFOA y de algunos otros compuestos (PFHxS). Las muestras fueron enviadas al MTM y al laboratorio “Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg” (Instituto Provincial de Análisis Químico y Veterinaria de Alimentos), en Freiburg, Alemania, ya que fue designado como el laboratorio de referencia por parte de la OMS para analizar las muestras de agua de los distintos países participantes.

En comparación a los datos de 2017, los datos de las muestras de 2018 mostraron una ligera disminución en los valores promedios para PFOA y PFOS, mientras los PFHxS se mantienen en concentraciones similares. Debido a que solo se tienen dos años de muestras es difícil establecer una conclusión sobre el comportamiento, en este caso disminución de los valores encontrados.

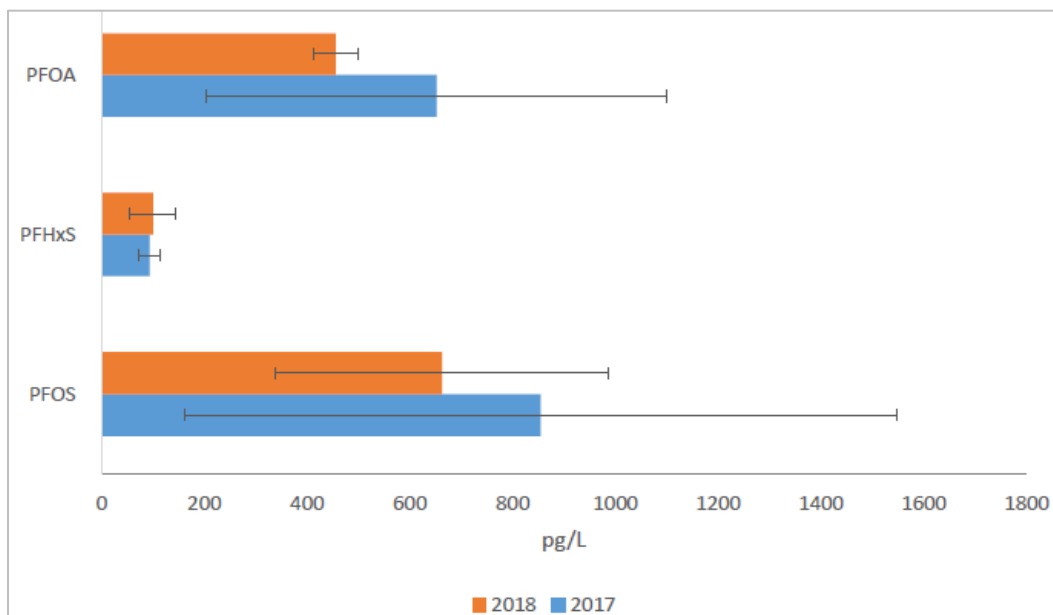


Figura 8. Concentración de PFHxS, PFOA y PFOS en agua de México 2017- 2018.

Con relación a la cantidad de datos generados para la matriz agua son aún limitados, resultan insuficientes los años de evaluación para permitir hacer análisis de tendencias. Tanto para PFOA como PFOS los niveles se mantienen similares para ambas campañas, estando en ambos casos cercanos a los límites recomendados, por lo que es deseable continuar con los monitoreos para generar mayores datos de análisis.

### 6.6.3. Muestreo en leche materna

El muestreo se realizó en los Mochis, Sinaloa y se logró el apoyo de hospitales locales para la recolección de leche materna y también se incluyeron otras madres interesadas en el proyecto que eran residentes de la zona de estudio.

Se aplicaron estrictamente los siguientes criterios de selección de las madres donantes: madres primerizas, estar sanas y que deberían estar amamantando exclusivamente a un hijo.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio del INECC, al Banco Mundial de Leche materna de la OMS y al Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Freiburg.

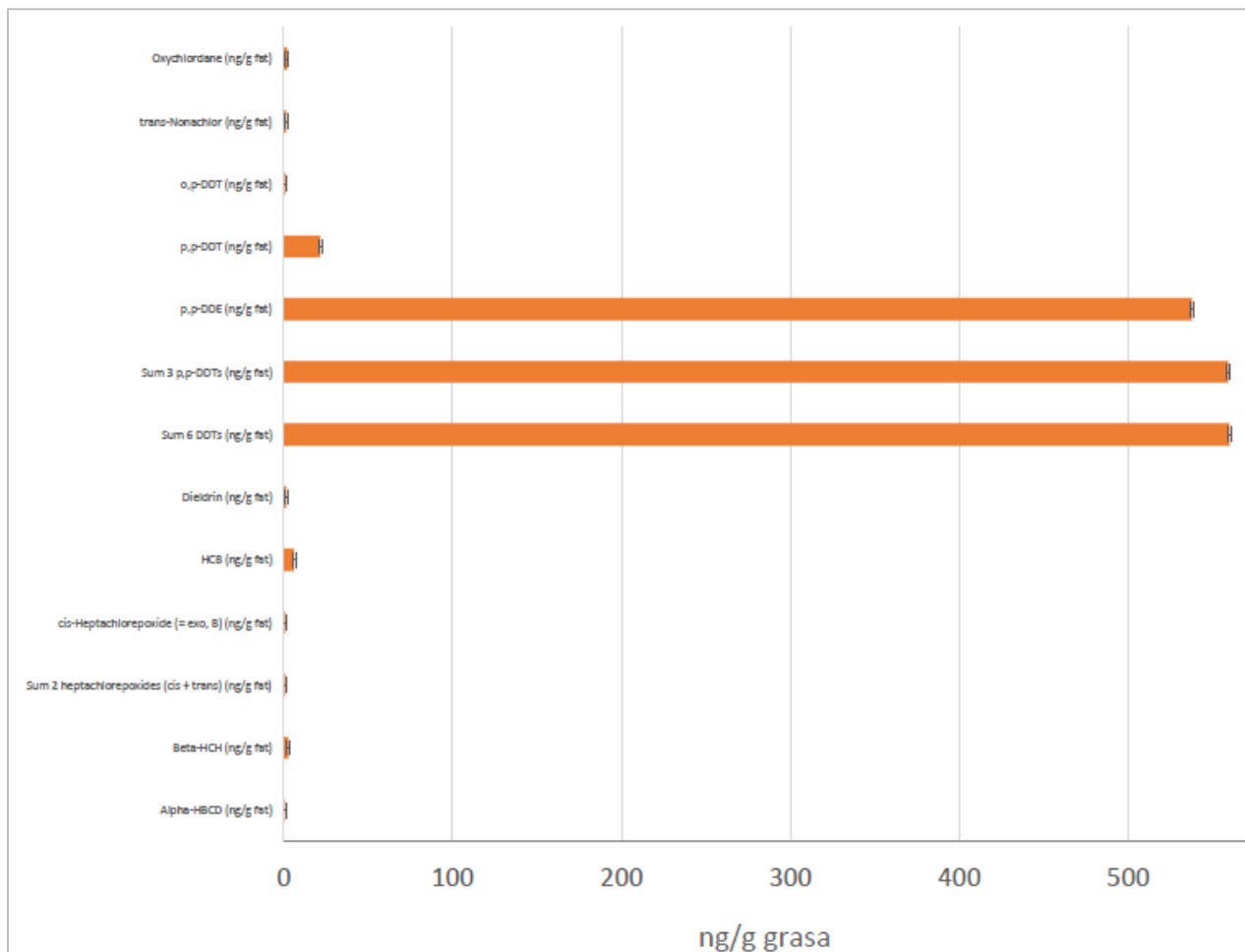


Figura 9. Resultados de COP en muestras de leche materna de México campaña 2017.

## 6.8. EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL CUMPLIMIENTO DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO

En el 2014 la UNEP publicó su informe de la evaluación de la eficacia del cumplimiento del Convenio de Estocolmo, en el cual se reportan los siguientes valores para México.

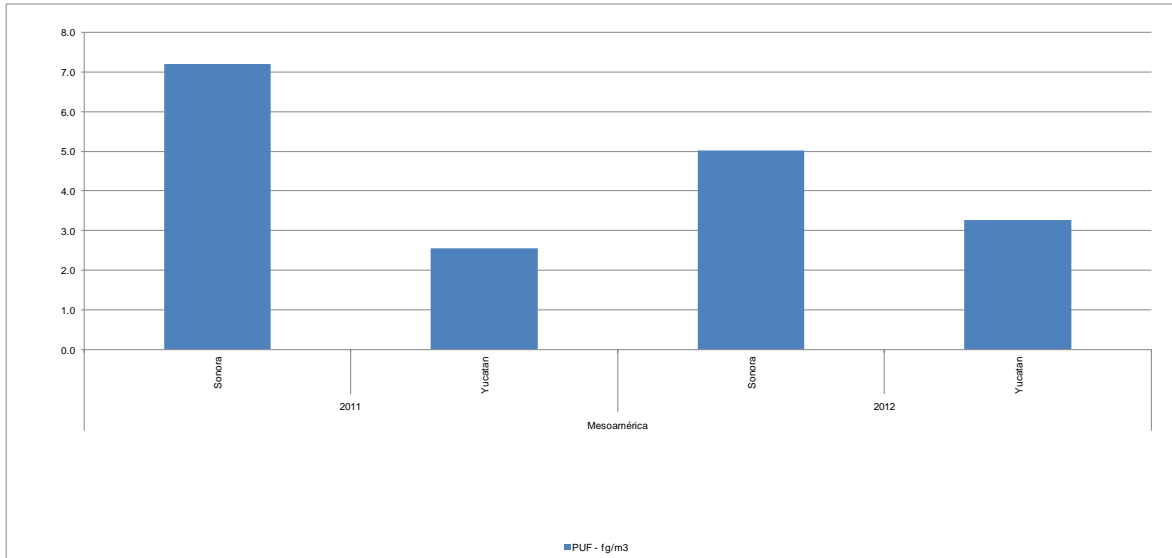


Figura 10. Concentraciones de dioxinas en aire ambiente en Sonora y Yucatán 2012 y 2013.

Fuente: UNEP, 2014

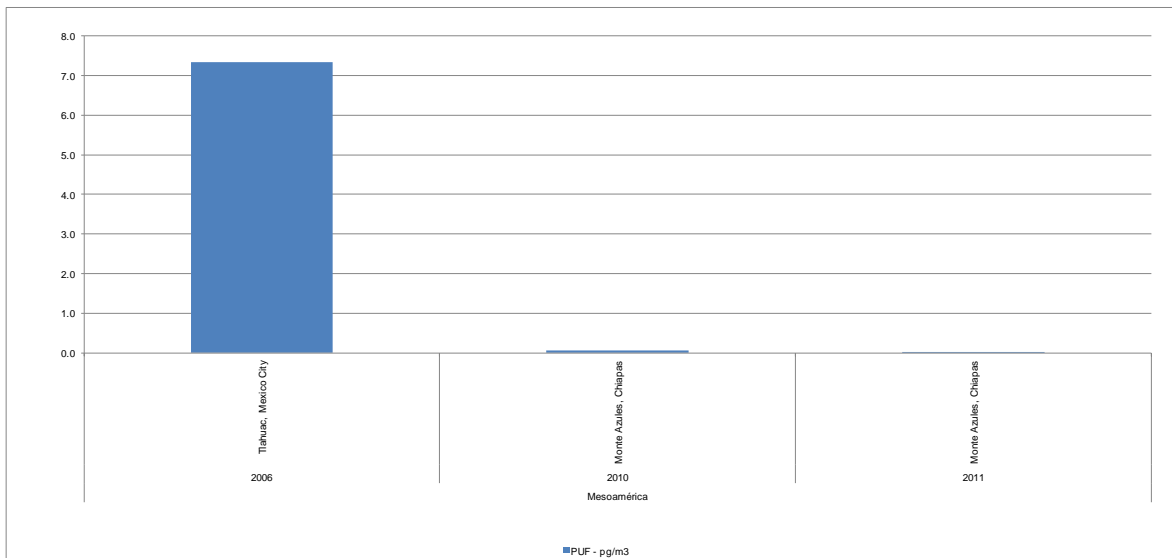


Figura 11. Concentraciones de Dieldrín en aire ambiente en Tláhuac, Ciudad de México y Montes Azules, Chiapas.

Fuente: UNEP, 2014

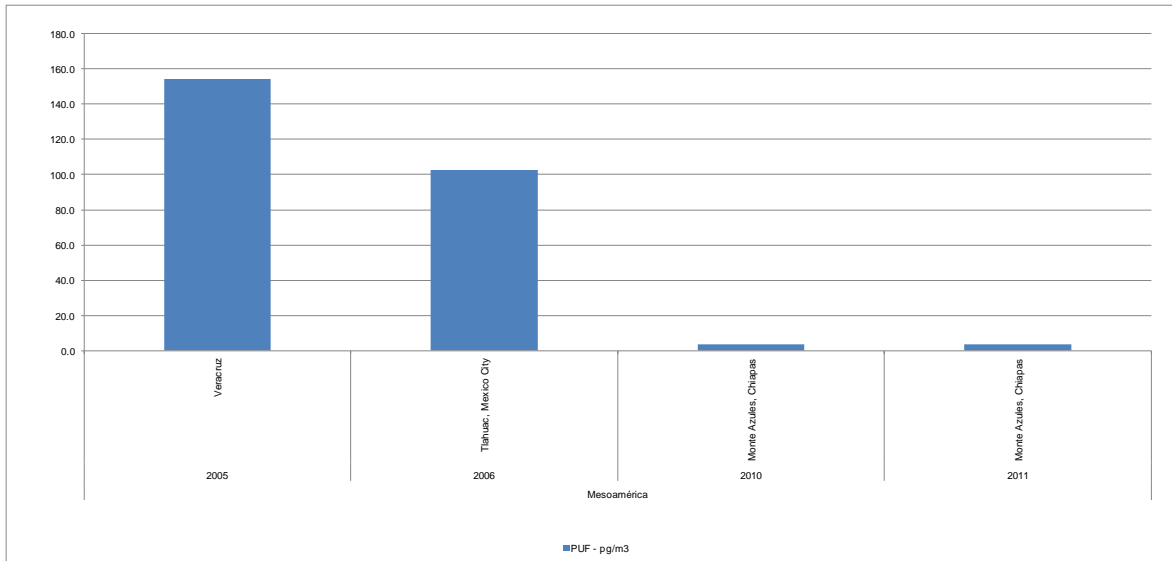


Figura 12. Concentraciones de PCB en aire ambiente en tres localidades de México.

Fuente: UNEP, 2014

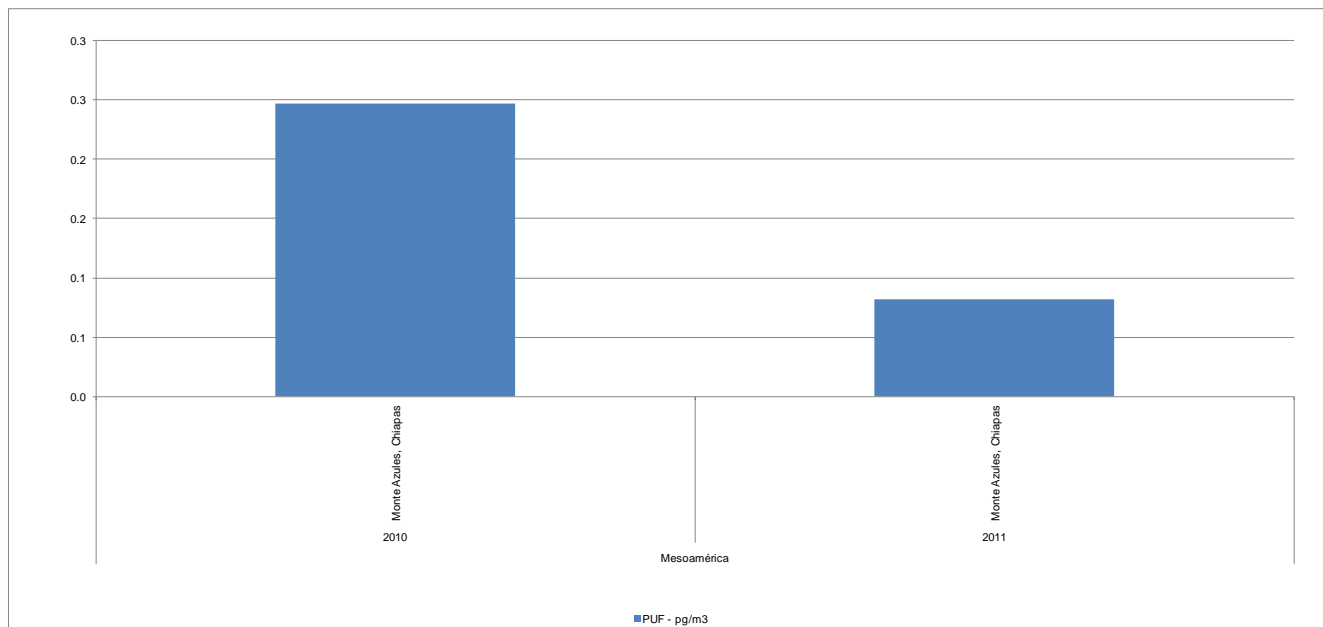


Figura 13. Concentraciones de DDT en aire ambiente en Montes Azules, Chipas en 2010 y 2011

Fuente: UNEP, 2014.



## 6.9. CONCLUSIONES

La información contenida en este perfil de país, si bien limitada a datos de calidad del aire y de los estudios realizados dentro del Plan de Monitoreo Global (GMP, por sus siglas en inglés), así como de algunos estudios de programas de monitoreo implementados por el gobierno federal y la academia, brindan elementos que permiten identificar problemas vinculados a COP y, en consecuencia, en donde se deben enfocar los esfuerzos en el diseño del Programa de Monitoreo para México.

En materia de calidad del aire, según los datos más recientes proporcionados por el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), se reporta que las ciudades más contaminadas de México en términos de calidad del aire son: Monterrey, Toluca, Ciudad de México, Salamanca, Celaya y Guadalajara. Estas ciudades tienen altos niveles de contaminación atmosférica debido a la concentración de industrias, el tráfico vehicular, el uso de combustibles fósiles y otros factores.

Los resultados de GMP, tanto del Programa de Monitoreo GAPS como AIR-GEF, que han monitoreado desde 2010 en aire, reflejan de manera general los siguientes resultados:

- A nivel de América Latina y del Caribe, en los últimos años, en México se dio el cuarto máximo de las medianas de Aldrin, pero el más alto de los percentiles 95.
- En Sonora, México, según los datos reportados con en GMP, la presencia del HCH va al alza. Este compuesto químico que se sintetiza a partir del ciclohexano, y que es un hidrocarburo aromático, produce varios isómeros de HCH, siendo el más común el llamado lindano o "gamma-HCH". En comparación con los países de América Latina y el Caribe, México presentó el primer máximo de este isómero  $\delta$ -HCH.
- México reporta los datos más alto del endosulfán II.

- Respeto al DDT, México es el país de América Latina y el Caribe, que presenta el primer máximo de la SUMA 3 DDT y SUMA 6 DDT. El DDT fue utilizado en México desde la década de 1940 hasta la década de 1990 como insecticida para el control de vectores de enfermedades y plagas agrícolas.
- La SUMA 3 DDT es la cantidad total de tres compuestos relacionados con el DDT y sus metabolitos que se encuentran en una muestra. Los tres compuestos incluidos en la suma de 3 DDT son DDT, DDE y DDD. Para conocer el comportamiento por separado de estos compuestos se registran datos en el GMP de p-p' DDE, o-p' DDE, p-p' DDD y o-p' DDD, siendo México el que tuvo, en los últimos años, el nivel más alto de estos compuestos en América Latina y el Caribe, con una tendencia al alza. Los datos de DDT obtenidos en los estudios realizados en los Mochis indican presencia relativamente reciente de DDT, lo que orienta la necesidad de continuar con los monitoreos e investigar sus fuentes.
- El PeCB (Pentaclorobenceno). En México, se ha detectado su presencia de PeCB en diferentes matrices ambientales, incluyendo suelos, sedimentos y organismos acuáticos, incluso, según los datos del GMP, en el país se dio la concentración más alta con tendencia al alza.
- Respecto al hexabromociclododecano (HBCD), en México la concentración de este compuesto presenta un ligero incremento en el ambiente. El HBCD se utiliza principalmente en espuma de poliestireno que se aplica en paneles aislantes, utilizado ampliamente en edificios y construcciones, lo que sugiere que puede estar en cualquier parte de país. En este caso es importante que se tomen muestras de los paneles utilizados en la construcción para determinar el contenido de HBCD.

Los resultados obtenidos dentro del PRONANE indican la presencia de DDT y algunos de sus metabolitos en suelo y sedimentos, mientras que en matrices biológicas se reporta la presencia de DDT, lindano, hexaclorobenceno, aldrín y BPC. También en suelo se encontró 4-bromobifenilo eter; 4,4'-dibromobifenilo eter y 2,2',4,5'-tetrabromobifenilo éter en la reserva de la biosfera de Mapimí.

ANP de Manantlán y de Valle de Bravo, se reporta la presencia de aldrín, DDT, DDE, DDD, heptacloro, HCB, mirex, endosulfán, clordano y metoxicloro. También se detectó BPC en suelos, vegetación, peces y aire. El DDT y sus metabolitos DDD y DDE, rebasan el límite máximo permisible establecido por la EPA para alimentos de consumo humano (14 ng/g). Lo anterior es una llamada de atención para continuar con monitoreos del DDT e investigar sus orígenes.

- Con relación a los estudios de leche materna realizados en 10 ciudades mexicanas a la luz de los resultados obtenidos es necesario retomar nuevamente este tipo de estudios para reducir riesgos a la salud.

## 7. PROPUESTA DE PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES PARA MÉXICO

---

La implementación de un programa de monitoreo de COP **requiere recursos (económicos y de personal) y una visión de largo plazo, por lo que no es un proceso fácil de instrumentar, por lo que debe ser altamente costo-efectivo.**

Al momento de definir un programa de monitoreo, es necesario tener claro las respuestas que se buscan. Para el caso de los COP, las preguntas siguientes, se deben tener en cuenta al momento de diseñar el programa de monitoreo.

- ¿Cuáles son las fuentes de COP?
- ¿Cómo son transportados los COP?
- ¿Cómo y dónde se acumulan?
- ¿Cuál es su persistencia en los compartimentos ambientales?
- ¿Cuáles son los efectos en la salud de los seres humanos y la biota?
- ¿Cuáles son los riesgos a su exposición?
- ¿Cuáles son los costos de la inacción?

Un programa de monitoreo debe operar a largo plazo y sus resultados deben estar vinculados al establecimiento de políticas públicas en materia de protección de la salud y los ecosistemas.

Un programa de monitoreo (POPS Monitoring Roadmap with best practices) consta de tres fases principales:

- 1) Diseño/planificación del programa, donde se establecen los objetivos, incluidos los objetivos de calidad de los datos, las características del monitoreo, parámetros a monitorear, el tipo y frecuencia de muestreo, y los responsables, personas e instituciones participantes;

- 2) Implementación, que es donde se adquieren, usan o producen los datos e incluye muestreo o monitoreo, análisis de muestras y entrega de resultados;
- 3) Evaluación de programas, uso de conocimientos técnicos y métodos estadísticos para determinar si los datos satisfacen o no las necesidades del usuario y si es necesario mejorar el diseño del programa.

Una fase adicional a la estructura del Programa de Monitoreo de COP es el uso de la información generada en el diseño de políticas públicas orientadas a proteger la salud de los seres humanos y de los ecosistemas.

Las fases del programa de monitoreo y los componentes de este, se esquematizan en las figuras 14 y 15.

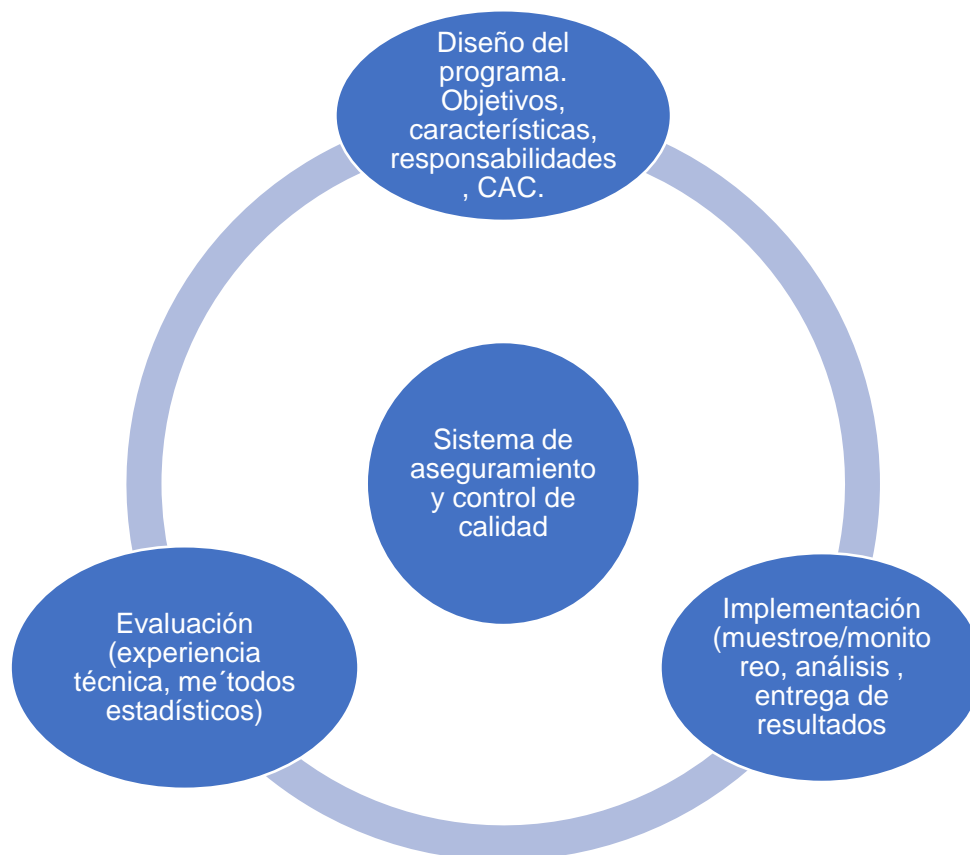


Figura 14. Fases del programa de monitoreo de COP-

Fuente: Martínez & Manuweera, 2023.

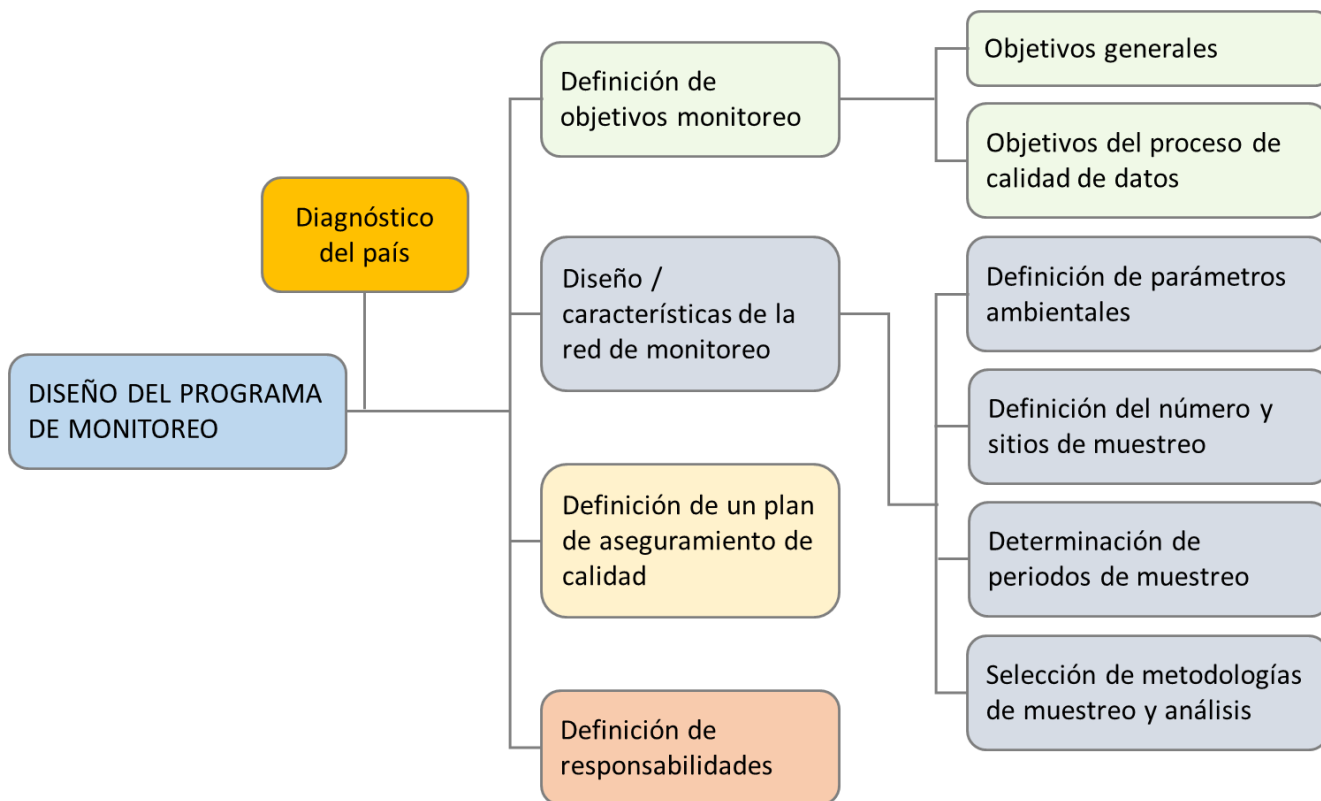


Figura 15. Componentes del programa de monitoreo de COP-

Fuente: Martínez & Manuweera, 2023.

## 7.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE COP

El diseño del programa de monitoreo de COP en México parte de un diagnóstico de la situación actual de esos compuestos en el país, que se puede consultar en la primera parte de este documento. Para la elaboración del diagnóstico, se realizó una recopilación y análisis de los estudios realizados por el sector académico e instituciones gubernamentales sobre el monitoreo o muestreo de COP en el país.

Para este análisis se revisaron informes técnicos, proyectos elaborados con el apoyo de agencias internacionales como el PNUMA y el PNUD, así como los planes nacionales de implementación e informes presentados al Convenio de Estocolmo.

Si bien se tiene información en algunas matrices, como aire y leche materna, y existen datos generados en el PRONAME que en su momento llevó a cabo el INECC, es claro que se requiere ampliar capacidades, realizar monitoreos especialmente de los nuevos COP y conocer el impacto que pueden tener en el ambiente y en la salud de los seres humanos la exposición a COP, lo que justifica la necesidad de que México nuevamente implemente un programa de monitoreo ambiental.

## 7.2. IDENTIFICACIÓN DE PROFESIONISTAS E INSTITUCIONES INVOLUCRADAS

En los estudios previamente realizados, se identificaron en México a diversas instituciones gubernamentales y académicas con capacidad para el análisis de algunos de los COP. Lo anterior es importante debido a que la implementación de un programa de monitoreo de estos compuestos podrá contar con la participación de estas instituciones.

## 7.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES

México, cuenta con laboratorios con la capacidad de analizar COP, especialmente plaguicidas COP, sin embargo, si se pretende implementar un programa de monitoreo, será necesario que instituciones como el INEEC, que es la entidad que fue responsable de operar el PRONAME, retome ese liderazgo apoyado en universidades como la de San Luis Potosí que se ha destacado por desarrollar investigaciones sobre el tema de COP en los últimos años. Sigue estando pendiente la instalación de un laboratorio con la capacidad para el análisis de dioxinas y furanos, o en su caso, seguir enviando las muestras para su análisis a otros países.



Así mismo, se debe continuar con el apoyo de la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), el realizar pruebas de intercomparación e intercalibración para fortalecer las capacidades y niveles de confiabilidad de los análisis a realizar por los laboratorios que estén dispuestos a participa en el Programa de monitoreo.

Como parte de las actividades desarrolladas en el PRONAME se elaboraron los procedimientos analíticos para los COP aplicables a las diversas matrices ambientales, aire, agua, suelo, sangre, tejidos, y productos, los cuales se pueden actualizar y aplicar para algunos de los nuevos COP (por ejemplo, el manual de métodos analíticos de los COP para las matrices prioritarias del PRONAME, el manual de requisitos generales de QA/QC de muestreo y analíticos, la guía para la implantación, validación, verificación del desempeño continuo de un método analítico, entre otros). También se desarrolló la documentación necesaria para la implementación de plan de control y aseguramiento de calidad para todo el sistema de monitoreo.

Lo anterior, indica que México ya cuenta con antecedentes importantes en materia de monitoreo que serán necesario retomar en caso de que se desarrolle un nuevo programa.

## 7.4. OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE MONITOREO

### 7.4.1. General

Que México desarrolle e implemente un programa de monitoreo y evaluación de COP, que brinde información para instrumentar y evaluar acciones para reducir los impactos y riesgos a la salud y al ambiente por la exposición a los mismos.

## 7.4.2. Específicos

- Contribuir al conocimiento de los mecanismos de transporte, rutas y acumulación de las COP seleccionados por parte de las autoridades ambientales del país y del grupo de expertos que se invite a participar en el proceso) en los ecosistemas receptores;
- Conocer y anticipar el impacto a los ecosistemas o en un ecosistema específico por las COP seleccionados;
- Conocer y anticipar la exposición humana a los COP seleccionados y sus riesgos implicados;
- Diseñar acciones para reducir la presencia de estos compuestos en el medio ambiente;
- Evaluar la efectividad de las medidas de mitigación establecidas para reducir riesgos a la salud y ecosistemas.
- Cumplir, como país signatario, con los compromisos adquiridos con el Convenio de Estocolmo

## 7.5. CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE COP

El programa de monitoreo considera, al menos; el tipo de parámetros a investigar, el número y ubicación de los sitios o estaciones de muestreo, la cantidad de muestras y el manejo estadístico de los datos.

Para asegurar la calidad de los datos generados en el programa de monitoreo, es indispensable la elaboración de un plan de control y aseguramiento de calidad (QA/QC), que defina los lineamientos a seguir para que las desviaciones o los errores de diseño y medición del muestreo se manejen, atiendan o corrijan adecuadamente y se cumpla con el desempeño o criterios de aceptación especificados en los objetivos de calidad de datos, previamente establecidos.

## 7.6. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES

De acuerdo con lo señalado en la actualización del Plan Nacional de Implementación del 2016 y otros documentos publicados por el INECC. (PNI, 2016, Martínez Arroyo 2019, 2020), en México todavía se comercializan productos con sustancias como los PFOS, naftalenos y parafinas cloradas, entre otros. Es importante mencionar, que, desde la 7ª Conferencia de las Partes, México no ha realizado diagnósticos de los COP que se han incorporado al Convenio.

Para orientar a la selección de los parámetros a medir es necesario analizar el tipo de problemática identificada en los diversos estudios realizados, incluyendo los resultados obtenidos en los monitoreos llevados a cabo por México a través del PRONAME y bajo los proyectos del GMP UNEP/GEF.

Para ello, a continuación, se resumen datos relevantes señalados en el diagnóstico del país, en capítulos anteriores.

### 7.6.1. Plaguicidas organoclorados

- De la actualización del inventario de plaguicidas 2017 se identificaron reportes a SENASICA de 34.4 L de endosulfán. Por otro lado, la aplicación de encuestas en 11 Estados del país reportó 22 litros de endosulfán y 1 litro de lindano. Respecto al endosulfán se reportó la importación de 1,422,8 ton en el periodo del 2010 al 2013. (PNUD, 2017)
- Para el caso del pentaclorofenol de 2007 a 2017 se han exportado más de 68,000 toneladas hacia Estados Unidos. Mientras que los datos de importación registran 17 toneladas provenientes de Alemania y Estados Unidos entre los años 2007 a 2013. (INECC, 2020)
- Sitios contaminados, para el 2016 se reportaban 16 sitios contaminados por plaguicidas sin especificar cuales, salvo el caso de pentaclorofenol que se reporta su presencia en sitios ubicados en Durango, Chihuahua, Oaxaca y Tlaxcala. (PNI, 2016)

## 7.6.2. COP no intencionales

El inventario de emisiones de COPNI elaborado en el 2016 con año-base 2013 indica que la Producción y Uso de Sustancias/Productos Químicos y Bienes de Consumo y los procesos de combustión a cielo abierto son las principales actividades que liberan D&F en el país en productos y al aire. (Maíz, 2016)

## 7.6.3. COP industriales

- BPC. En el intervalo con más de 50 ppm de BPC, se tiene una proyección estimada en todos los sectores a nivel nacional de **37,667 toneladas** (11,300.10 de aceite y 26,366.90 de carcasas contaminadas). En el intervalo de 5 a 49.9 ppm de BPC, se tiene una proyección estimada en todos los sectores a nivel nacional de **91,033 toneladas** (27,145 de aceite y 63,888 de carcasas contaminadas).
- Penta BDE. Su uso en vehículos hasta modelo 2004, en asientos, techos, etc. implica que en vehículos al final de su vida útil hasta de total de 1,949,93 ton. En el poliuretano (PU) de tapicerías, colchones, alfombras, muebles se puede encontrar pentaBDE pero no se tiene datos del contenido de esta sustancia en el PU.
- OctaBDE-c, los análisis realizados estiman **239.5 toneladas de OctaBDE-c** contenido en los residuos plásticos en TV, computadoras y monitores.
- Hexabromociclododecano (HBCD), se ha utilizado como aditivo en la espuma de poliestireno que se utiliza en la industria de la construcción. Su uso es muy extendido en todo el país, aunque no se tiene datos específicos de los contenidos de este compuesto. (Castro, 2016).
- PFOS, Los principales usos en México son como reductores de emisiones de humo en procesos de cromado, aditivos humectantes y uso en laboratorio. Del 2010 al 2015, se importaron 9.082.2 Kg de productos con PFOS. (INECC, 2017).
- Parafinas cloradas de cadena corta (SCCP), se tienen registros de exportación e importación de estas sustancias. Entre 2010 a 2015 se exportaron 14.21 y se importaron 13,628.45 ton. (INECC,2017).

Por lo anterior, se recomienda que el diseño del programa de monitoreo contemple por lo menos plaguicidas como endosulfán, pentaclorofenol y DDT, ya que este último reportó, en la zona agrícola de los Mochis, en el estado de Sinaloa, el valor más alto de América Latina y El Caribe en 2018, bajo los proyectos del GMP UNEP/GEF. Además, se deben considerar todos los compuestos industriales listados en el CE, tratando de enfocar esfuerzos en los compuestos que se han incorporado en los últimos años, como los PFOS, los naftalenos clorados, las parafinas cloradas de cadena corta y el dicofol.

Por supuesto que los COPNI sigue siendo de primordial interés, junto con los BPC.

## 7.7. MATRICES AMBIENTALES

Las matrices ambientales que elegir pueden ser abióticas como agua, aire, suelo y/o sedimentos; matrices bióticas como peces, aves u organismos indicadores (según el sitio y la sustancia), y biomonitoreo humano (bebés y adultos en edad reproductiva), entre otros.

Para el Programa se considera incluir las siguientes matrices:

- Aire, esta matriz es importante debido a que es un medio de transporte de COP que puede emplearse en varias escales espaciales, desde la micro a la global, permite realizar comparaciones a nivel global y evaluar tendencias con efectos regulatorios.
- Agua, si bien la mayoría de los COP son hidrofóbicos, es adecuado para medir la presencia de Perfluorados (PFOs, PFOA y PFHxS).
- Suelo, esta matriz es muy importante debido a que los COP al ser transportados por el aire, se depositan en suelos y por esa vía pueden ingresar a la cadena alimenticia. También cuando se encuentran cercanos a sitios de remediación o disposición final de residuo son un buen indicador de la presencia de compuestos orgánicos clorados.

- Leche materna, es una matriz útil para evaluar tendencias temporales de dioxinas/furanos y otros COP y riesgos en la salud. Los factores que afectan al contenido de dioxinas/furanos de la leche materna son la edad de las madres, la duración de la lactancia materna y el contenido de grasa de la leche.
- Especies bióticas significativas. Para las matrices bióticas que incluyen plantas, animales y otros organismos es necesario identificar especies emblemáticas o representativas, ya sea alguna que este ampliamente distribuida en la mayor parte del país y especies que sean representativas de un lugar, especialmente cuando se han identificado problemas o fuentes de emisión o liberación de COP. La SEMARNAT e INECC en colaboración con investigadores especializados principalmente de la academia, deberán seleccionar las especies que pueden formar parte del Programa.

El PRONAME que se aplicó en México en la primera década de este siglo (hasta el 2013), consideró las siguientes matrices ambientales: Suelo, Sedimentos, Aire, Agua, Biota (vegetal y animal [peces]), y, Humanos (sangre y leche materna).

Se estima costoso en un inicio considerar todas las matrices ambientales, de las cuales existen algunos datos publicados para sitios como Manantlán en el estado de Jalisco, Valle de Bravo en el estado de México y Mapimí en el estado de Durango, por lo que, en una primera fase, el Programa de monitoreo puede incluir el muestreo y análisis de COP en las matrices de aire, agua y leche materna, de acuerdo con lo recomendado por el CE.

Sin embargo, dado que México, con la experiencia del PRONAME, ya había generado datos en matrices como suelo y biota, vale la pena valorar si se incluyen en una primera fase este tipo de matrices. (Nava, Alma, 2017 y SLP, 2013)

## 7.8. DEFINICIÓN DE OTROS PARÁMETROS

Otros parámetros que deben considerarse en el diseño del programa de monitoreo son la velocidad y dirección del viento, el relieve, edificios o construcciones grandes, áreas agrícolas, zonas boscosas, entre otros, como elementos a considerar en la selección y ubicación de sitios

## 7.9. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

La definición de los sitios de muestreo estará en función de los objetivos del programa de monitoreo que el país seleccione y deberán ser representativa de las condiciones de una población o región específica, por lo que se recomienda considerar las escalas temporales y espaciales para estimar el número y tipo de sitios y su ubicación.

Respecto a las ubicaciones de los sitios de monitoreo de la matriz de aire la EPA (EPA, 2017) recomienda, evaluar la ubicación potencial de un sitio de aire para determinar la escala considerando lo siguiente:

- la ubicación e intensidad de las emisiones de las fuentes cercanas, especialmente las fuentes principales
- dirección predominante del viento en el área
- uniformidad del uso del suelo;
- densidad de población cercana.

Lo anterior, requiere de información detallada sobre la ubicación de las fuentes de emisión, la variabilidad geográfica de las concentraciones de contaminantes ambientales, las condiciones meteorológicas y la densidad de población. La variabilidad de las fuentes y sus intensidades de emisiones, los tipos de uso del suelo. Cada sitio debe ser estudiado individualmente, con base en la mejor evidencia disponible y en la experiencia del equipo responsable del programa de monitoreo.



Asimismo, los sitios deben clasificarse de manera estandarizada. El siguiente cuadro muestra la clasificación que recomienda la Guía GMP 2021 y los criterios de aplicación.

Tipo de sitio	Tipo de Fuente potencial (es posible más de un sitio)
<b>urbano</b>	industrial
<b>suburbano</b>	tránsito
<b>rural</b>	habitacional
<b>remoto</b>	agrícola
<b>Altitud alta</b>	Sector residuos
<b>polar</b>	ninguno, <i>i.e.</i> sitio de fondo continental
<b>marino/costero</b>	

Nota: la densidad de población se puede utilizar como una guía aproximada para la clasificación de sitios:  
 urbano = >200 000 habitantes en un radio de 10 km.  
 suburbano = entre 20 000 y 200 000 habitantes en un radio de 10 km  
 rural = entre 2000 y 20 000 habitantes en un radio de 10 km  
 remoto = relativamente deshabitado (<2000 habitantes en un radio de 10 km)  
 Fuente: GMP, 2021.

Como antecedentes a la posible selección de sitios, se menciona que, si bien, existen muchos estudios o investigaciones que se han realizado en diversos sitios del país por diversos centros de investigación como el INSP, el CINVESTAB, y la universidad de SLP, entre otros; y en colaboración con la CCA, Environment Canada y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América como es el caso del estudio en materia de dioxinas y furanos; en lo que se refiere a plaguicidas organoclorados, a nivel oficial, solo se tiene registro de un programa de monitoreo de COP con visión de largo plazo que fue el PRONAME, mismo que dejó de operar en el 2013. Dicho Programa tuvo en operación sitios de análisis multicontaminantes para el monitoreo de COP:

- Tres sitios de referencia o índice; la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (hasta el 2012) y la Reserva de la Biósfera Ría Celestún (hasta el 2011) y la Reserva de la Biósfera de Mapimí (hasta el 2013).
- Un sitio satélite con impacto agrícola, el Valle del Yaqui (hasta el 2010) y
- Un sitio urbano turístico, Valle de Bravo.

En esos sitios se evaluaron:

- Plaguicidas organoclorados
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos
- Bifenilos policlorados
- Además de metales pesados como; As, Cd, Hg, Pb, Be, Cr, Li, B, Al, Sb, Mn, Ba, Cu, Ag, Zn, Ni, Fe, V, Ta, Mg, Mo, Co, Se, Na.

El Valle del Yaqui, se seleccionó debido a la importante actividad agrícola y en consecuencia al intenso uso de plaguicidas que se lleva a cabo en la región, lo que ha motivado a la realización de diversos estudios sobre COP, tanto en suelo como en agua y en biota además de suero y leche materna. Lo que lo convierte en unas de las zonas más estudiadas en el país.

Asimismo, con el apoyo de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA) se llevó a cabo un estudio trinacional (Canadá, Estados Unidos y México) sobre la concentración en sangre de COP y metales pesados en madres primerizas. En el caso de México las muestras se tomaron en 10 ciudades.

Otro esfuerzo de monitoreo fue la colaboración de México con Environment Canada, donde como parte del proyecto GAPS se operaron algunos sitios de medición de COP en aire, en Celestún, Yucatán, Tláhuac, Ciudad de México y Montes Azules en Chiapas.

En el 2017, se llevó a cabo también un muestreo de leche materna en la población de los Mochis en el estado de Sinaloa.

Toda esta experiencia en monitoreo de COP en México apoya el proceso de selección de sitios en el diseño del programa de monitoreo de COP. Se sugiere por lo tanto que el Programa de Monitoreo de COP en México, contemple en una primera fase, los siguientes sitios por matriz ambiental.

### 7.9.1. Matriz aire

Como ya se ha mencionado, México desarrolló en años anteriores un programa de monitoreo de sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables a través del PRONAME, además de que ha participado en los proyectos de monitoreo del GMP PNUMA/GEF y otras agencias ya mencionadas, con base en los resultados obtenidos en esos estudios se sugiere los siguientes sitios, en el entendido que la SEMARNAT deberá precisar, en colaboración con otras áreas del gobierno y la academia, los sitios más adecuados de acuerdo a sus prioridades y capacidades.

En general, se recomiendan dos tipos de sitios, los orientados a fuentes y los de referencia. Para sitios orientados a fuente, es importante considerar sitios con actividad agrícola, industrial o urbana que el diagnóstico haya identificado con vinculación al manejo de productos y sus residuos que pueden contener COP.

### 7.9.2. Sitios urbanos

México tiene varias ciudades con problemas de calidad del aire, algunas con los automóviles como la principal fuente de emisión y otras donde la industria tiene un papel predominante, Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey son un ejemplo del primer caso y Salamanca y Coatzacoalcos son un ejemplo del segundo. La Ciudad de México ya tuvo una estación del Programa Global de Monitoreo en la alcaldía de Tláhuac, la cual podría reactivarse para seguir generando datos en ese sitio.

Todas estas ciudades o algunas de ellas podrían seleccionarse como sitios enfocados a fuentes, ya que se caracterizan por tener una alta concentración urbana y actividad industrial importante. Coatzacoalcos por ser un área urbana con datos COP derivados de distintos estudios y Tláhuac por formar parte del GMP, pueden ser las ciudades para seleccionar.

### 7.9.3. Sitio de referencia

Es importante seleccionar un sitio de referencia que puede ser un área natural protegida (ANP), también México tiene experiencia en la operación de estaciones de monitoreo en tres ANP, la de Mapimí en Durango, la de Manantlán en Jalisco, y Montes azules, Chiapas, se puede considerar la instalación de un sitio de monitoreo en alguno o en los tres sitios. Se sugiere Manantlán por los antecedentes en estudios previos realizados en la zona.

### 7.9.4. Matriz agua

Para la matriz de agua, la Guía GMP 2021 recomienda preferentemente los ríos, aunque se pueden utilizar los datos de otros sitios.

Como ya se ha mencionado, los perfluorados son COP que por sus características químicas se pueden detectar en la matriz agua, por lo tanto, es de interés su inclusión en un programa de monitoreo. En ese sentido, la SEMARNAT en coordinación con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el INECC y grupos de investigación deberá seleccionar los sitios que puedan ser adecuados para identificar la presencia de estos compuestos.

Como sugerencia para un sitio de referencia, se puede considerar la ANP de Manantlán, el cual ya fue operado como sitio de referencia en años anteriores.

### 7.9.5. Suelos o sedimentos

Para el muestreo de suelos y sedimentos, la SEMARNAT con el apoyo del INECC y la academia podrá seleccionar los sitios adecuados para tal fin. Nuevamente se sugiere considerar los sitios previamente operados como las ANP de Manantlán y Mapimí para sitios de referencia. Para sitios impactados por la actividad humana, el Valle del Yaqui puede ser una opción dentro de los sitios a evaluar o alguno de los 16 sitios contaminados por plaguicidas que ya fueron identificados.

### 7.9.6. Matriz leche materna

De acuerdo con los estudios realizados en años anteriores, como una primera fase, se propone la toma de muestras de leche materna en las 10 ciudades en las cuales se llevó a cabo el estudio en colaboración con la CCA. Y en una segunda fase ampliarlo a otras ciudades del resto del país de acuerdo con los datos que se obtengan de la primera fase.

### 7.9.7. Productos

Se recomienda tomar muestras de productos reportados con posible contenido de COP Como los PFOS, parafinas cloradas de cadena corta, naftalenos clorados, entre otros. Los productos pueden ser abrillantadores, alfombras, espumas contra incendios, cajas para alimentos, surfactantes y detergentes y semiconductores, cuero tratado, agentes de grabado, cloruro férrico, fluidos hidráulicos de aviación, insecticidas, retardantes de llama, ventiladores, planchas, poliestireno expandido, entre otros.

### 7.9.8. Determinación de periodos de muestreo

Los períodos de muestreo incluyen la duración del programa, la frecuencia de muestreo y el tiempo de muestreo. La frecuencia de muestreo y el tiempo de muestreo dependen principalmente de los equipos seleccionados para cumplir con los objetivos de monitoreo; mientras que la duración del programa esta principalmente relacionada con la calidad de datos que se pretenden recolectar. Como ya se ha mencionado, un programa de monitoreo debe tener una visión de largo plazo y ser constante a lo largo del mismo, para poder determinar tendencias y sustentar la toma de decisiones.

La Guía GMP 2021 recomienda para la **matriz de aire**, cuatro muestreos pasivos con espumas de poliuretano (PUF) con tres meses de implementación para cada PUF, cubriendo un año calendario completo o con muestreadores XAD con implementación anual.

Para la **matriz agua** se recomienda el muestreo en cada sitio seleccionado 4 veces al año (mismo sitio y con el mismo método) (PNUMA; 2021). El tiempo de muestreo se puede determinar en función de las concentraciones esperadas de contaminantes y del equipo de muestreo a utilizar y puede ser de horas como en el caso del muestreo activo, meses como en el caso del muestreo pasivo con PUF o hasta un año como en el caso de muestreo pasivo con resinas XAD.

En el caso de México para la matriz de aire se recomienda un año completo de muestreo pasivo con resinas XAD en el o los sitios de referencia seleccionados.

Para los sitios urbanos o industriales seleccionados se recomienda un muestreo pasivo trimestral con PUF, para observar y evaluar cambios estacionales.

Para la matriz agua, se sugiere cuatro muestreos anuales en los cuerpos de agua seleccionados.

En el caso de los productos, se recomienda tomar muestras por una ocasión para tener un primer reporte de la posible presencia de COP en esos productos.

Para la matriz de **leche humana** se sugiere realizar un estudio, como se mencionó, en las 10 ciudades donde se llevó a cabo el estudio en colaboración con la CCA y repetirlo en 5 años.

## 7.10. SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS DE MUESTREO Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

La selección de la metodología de muestreo y de los procedimientos analíticos dependen del tipo de sustancia y de la matriz seleccionada en el programa de monitoreo.

Entre otros, los métodos de muestreo consideran el muestreo pasivo simple, el muestreo activo como el monitoreo semicontinuo y continuo y el biomonitoreo. Las muestras colectadas son sometidas a un análisis con equipo especializado en laboratorio para determinar su concentración y caracterización.

La selección de la metodología de muestreo, el tipo equipo y las técnicas analíticas están en función de los objetivos establecidos, la calidad de los datos necesarios para alcanzarlos y el presupuesto. Los factores importantes para considerar son la precisión del equipo y de las técnicas analíticas, y las capacidades técnicas y financieras locales (Martínez & Manuweera, 2023).

Para el análisis de las muestras colectadas, se necesita la participación de laboratorios acreditados en las técnicas de muestreo y análisis. Por lo general los laboratorios se acreditan en técnicas que permiten cumplir con alguna disposición normativa, debido a que ese tipo de directivas crean una demanda en el mercado. Si los parámetros incluidos en el programa de monitoreo no tienen alguna norma que exija su medición, será difícil que se tenga un laboratorio acreditado. En México existen laboratorios acreditados para la mayoría de los plaguicidas; sin embargo, para los COP industriales que se han incorporado al CE en los últimos años, no se tuvo acceso a información para identificar cuántos se han acreditado en las técnicas analíticas que permitan determinar su composición.

Por lo anterior, es importante que, como uno de los primeros pasos a implementar dentro del programa de monitoreo, se desarrolle una estrategia de acreditación de laboratorios para los métodos analíticos específicos de las sustancias incorporadas en el CE.



Ejemplos de técnicas de laboratorio y de los equipos adecuados para el análisis se muestran en el siguiente Cuadro:

Cuadro 32. Técnicas de laboratorio por tipo de contaminantes persistentes

Parámetro	Técnica
Dibenzo (p) dioxinas y furanos (PCDD/F) policloradas	HRGC/HRMS
Dibenzo (p) dioxinas y furanos (PBDD/F) polibromadas	HRGC/HRMS
Mezcla de halogenados. Dibenzo (p) dioxinas y furanos (PBCDD/F) polibromados/clorados	HRGC/HRMS
Retardantes de flama bromados (PBDE, PBB, HBCD, TBBPA)	HRGC/LRMS
Cloroparafinas (C <sub>10</sub> -C <sub>17</sub> )	HRGC/NCI MS
Compuestos perfluorados (PFCs). PFOA, PFOS	LC/MS-MS
Clorobenzenos (PCBz) and clorofenoles (PCPh)	HRGC/LRMS
Bifenilos policlorados (PCB incl. WHO-PCB)	HRGC/HRMS
Plaguicidas organoclorados	HRGC/ECD

HRGC/HRMS =Cromatografía de gases de alta resolución/Espectrometría de masas de alta resolución  
 HRGC/LRMS = Cromatografía de gases de alta resolución/Espectrometría de masas de baja resolución  
 HRGC/NCIMS = Cromatografía de gases de alta resolución / Espectrometría de masas con ionización química negativa.

LC/MS-MS = Cromatografía de líquidos/ espectrometría de masas-masas

HRGC/ECD = Cromatografía de gases de alta resolución/detector de captura de electrones

Fuente: Gutierrez Avedoy Victor. 2016. Fortalecimiento de capacidades analíticas en el marco de la actualización del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo en México. ONUDI-SEMARNAT. 31 pp.

Las guías GMP 2007 y 2021 (PNUMA, 2007 y 2021) describen en detalle el diseño de muestreo, la preparación y el análisis de muestras, QA/QC en medios básicos para COP heredados, y su capítulo 5 cubre la mayoría de los aspectos de los métodos analíticos, incluidos otros medios. El capítulo 4 de la GMP Guidance 2021 cubre el muestreo de agua y recomienda documentos con métodos y guías para varias matrices como las de AMAP 2015, 2016b, 2017, EMEP 2001 y OSPAR 2013, entre otras (Martínez & Manuweera, 2023).

## ACRÓNIMOS

---

$\gamma$ -HCH	Gamma-hexaclorociclohexano
ANIQ	Asociación Nacional de la Industria Química
CCA	Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte
CE	Convenio de Estocolmo
CFE	Comisión Federal de Electricidad
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios
CENICA	Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Azufre
CO <sub>2e</sub>	Dióxido de Azufre equivalente
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes
COPNI	Compuestos Orgánicos Persistentes No Intencionales
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
Deca-BDE	Éter de decabromodifenilo
DWH	Almacén de datos de GMP (DWH, por sus siglas en inglés)
EQT	Concentración de Equivalentes Tóxicos (EQT, por sus siglas en inglés)
GEF	Fondo Mundial para el Medio Ambiente
GEF	Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés)
GMP	Plan de Vigilancia Mundial (Convenio de Estocolmo)
GRULAC	Grupo Regional de América Latina y el Caribe

HBB	Hexabromobifenilo
HBCD	Hexabromociclododecano
HCB	Hexaclorobenceno
HCBD	Hexaclorobutadieno
HIPS	Poliestireno de alto impacto
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
NOM	Norma Oficial Mexicana
OCPs	Plaguicidas organoclorados
PBDE	Éter de hexabromodifenilo y éter de heptabromodifenilo
PBDE	Éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo
PCB	Bifenilos policlorados
PCCC	Parafinas cloradas de cadena corta
PCDD	Dibenzo-para-dioxinas policloradas
PCDF	Dibenzofuranos policlorados
PCN	Naftalenos policlorados
PCP	Pentaclorofenol, sus sales y ésteres
PeCB	Pentaclorobenceno
PEMEX	Petróleo Mexicano
PFAS	Perfluoroalquiladas y Polifluoroalquiladas
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PFHxS	Ácido perfluorohexano sulfónico, sus sales y compuestos relacionados
PFOA	Ácido perfluorooctanoico

PFOS	Ácido perfluorooctano sulfónico
PNI	Planes Nacionales de Implementación
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PO	Plaguicidas obsoletos
PRONAME	Programa Nacional de Monitoreo y Evaluación Ambiental
PVC	Policloruro de Vinilo
PyMEs	Pequeña y mediana empresa
PUF	Muestras pasivos con espumas de poliuretano
QA/QC	Aseguramiento y control de la calidad
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SCCPs	Parafinas cloradas de cadena corta
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENASICA	Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria
SER	Secretaría de Relaciones Exteriores
SISCO	Sistema de Información de Sitios Contaminados
SISCOP	Sistema de información sobre COP
UAdO	Universidad Autónoma de Occidente
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés)
WHO	Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés)

XAD	Resina de copolímero estireno-divinilbenceno (XAD, por sus siglas en inglés)
$\alpha$ -HCH	Alfa-hexaclorociclohexano
$\beta$ -HCH	Beta-hexaclorociclohexano

## REFERENCIAS

---

Banco Mundial (2023). Obtenido de México:

<https://datos.bancomundial.org/pais/mexico?view=chart>

Castro, J. D. (2016). Inventario Preliminar de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) de uso industrial en el Marco de la Actualización del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo.

CONABIO (s.f.). Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México: [http://www.conabio.gob.mx/institucion/estudio\\_pais/CAP1.PDF](http://www.conabio.gob.mx/institucion/estudio_pais/CAP1.PDF)

Cortinas, D. M. (2016). Evaluación de los efectos de los COP en la salud y el ambiente, así como de sus implicaciones socioeconómicas en el marco de la Actualización del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Gutiérrez, A. V. (2016). Fortalecimiento de Capacidades Analíticas en el Marco de la Actualización del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo en México. SEMARNAT.

INECC (2013). Monitoreo de sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables en la Reserva de la Biosfera Mapimí, Durango, México, en el marco del Programa Nacional de Monitoreo y Evaluación Ambiental (PRONAME).

Comisión para la Cooperación Ambiental. Obtenido de

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/191438/2013\\_Monitoreo\\_de\\_sustancias.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/191438/2013_Monitoreo_de_sustancias.pdf)

INECC (2017). Diagnostico Nacional del uso de nuevos Contaminantes Orgánicos Persistentes en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio

Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México, México.

INECC (2018). Generación de capacidades para la adopción de alternativas más seguras al uso de pentaclorofenol. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México, México.

INECC (2019). Diagnóstico sobre la Contaminación por Plaguicidas en Agua Superficial, Agua Subterránea y Suelo. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México, México.

INECC (2020). Estrategia Nacional para Evitar los Riesgos al Ambiente por los Plaguicidas en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México, México.

INECC (2020). Perspectivas de las importaciones y Exportaciones de Plaguicidas en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

INEGI (2020). Obtenido de Derecho habiencia. Demografía y Sociedad. Instituto Nacional de Estadística y Geografía:

<https://www.inegi.org.mx/temas/derechohabiencia/>

INEGI (2022). Obtenido de Anuario Estadístico y Geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2021. Instituto Nacional de Estadística y Geografía:

<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463904359#:~:text=El%20Anuario%20estad%C3%ADstico%20y%20geogr%C3%A1fico,al%20pa%C3%ADs%20en%20su%20conjunto>



Maíz, P. L. (2016). Inventario de liberaciones de dioxinas y furanos del plan nacional de implementación del Convenio de Estocolmo en México. año base 2013. SEMARNAT, México.

Nava, M, A, (2017). Diagnóstico ambiental de contaminantes orgánicos persistentes en dos áreas naturales protegidas federales durante el periodo 2010-2012. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias ambientales en Universidad Simón Bolívar. 214 pp.

PNUD (2017). Inventario nacional actualizado de plaguicidas obsoletos que contienen contaminantes orgánicos persistentes y residuos contaminados asociados. México.

Ramos, J. A. (2016). Evaluación de la Situación Actual de los Plaguicidas COP en el marco de la Actualización del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Romero Torres, Teresita, et al.(2009). Diagnóstico Nacional sobre la Situación Actual de los Contaminantes Orgánicos Persistentes en México. Instituto Nacional de Ecología. México. 344 pp.

SEMARNAT (s.f.). Obtenido de Diversidad de ecosistemas. Biodiversidad. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia\\_mce/html/RECUADROS\\_INT\\_GLOS/D3\\_BIODIVERSIDAD/D3\\_BIODIVERSIDAD\\_01/D3\\_R\\_BIODIV01\\_01.htm](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/RECUADROS_INT_GLOS/D3_BIODIVERSIDAD/D3_BIODIVERSIDAD_01/D3_R_BIODIV01_01.htm)

SEMARNAT (s.f.). Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html#tema1>

SEMARNAT (s.f.). Obtenido de Superficie sembrada, cosechada y valor de la producción agrícola. Agricultura y Ganadería. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México:

[http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D2\\_AGRIGAN03\\_01&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_AGRIGAN03_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREANIO=*)

SEMARNAT (s.f.). Obtenido de Precipitación media histórica por entidad federativa. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México:

[http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_AGUA01\\_01&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREENTIDAD=\\*&NOMBREANIO=\\*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AGUA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*&NOMBREANIO=*)

SEMARNAT (2007). Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo. SEMARNAT, México. Obtenido de <http://cristinacortinas.org/sustentabilidad/download/libros/PNI-DE-IMPLEMENTACION-PLAN-NACIONAL-DEL-CONVENIO-DE-ESTOCOLMO.pdf>

SEMARNAT (2016). Actualización del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo. SEMARNAT, México.

SEMARNAT (Mayo de 2020). Obtenido de Diagnostico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México:

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

SEMARNAT (abril de 2021). Obtenido de Diversidad de especies. Biodiversidad. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia\\_mce/html/RECUADROS\\_INT\\_GLOS/D3\\_BIODIVERSIDAD/D3\\_BIODIVERSIDAD\\_02/D3\\_R\\_BIODIV02\\_01.htm](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/RECUADROS_INT_GLOS/D3_BIODIVERSIDAD/D3_BIODIVERSIDAD_02/D3_R_BIODIV02_01.htm)

SRE (2013). Obtenido de Información General sobre México. Secretaría de Relaciones Exteriores. Gobierno de México:

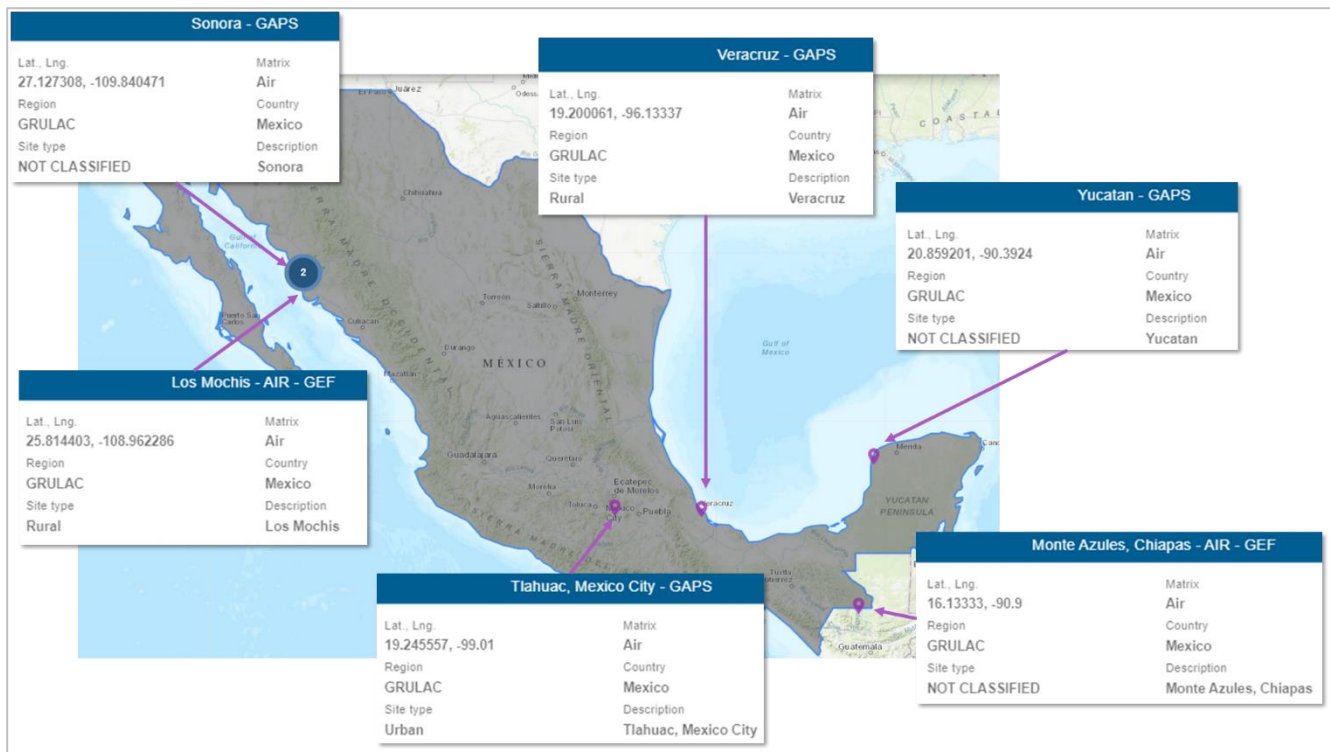
<https://embamex.sre.gob.mx/republicadominicana/index.php/avisos/2-uncategorised/127-informacion-general-sobre-mexico#:~:text=Es%20un%20pa%C3%ADs%20situado%20en,poniente%20con%20el%20Oc%C3%A9ano%20Pac%C3%ADfico>

# ANEXOS

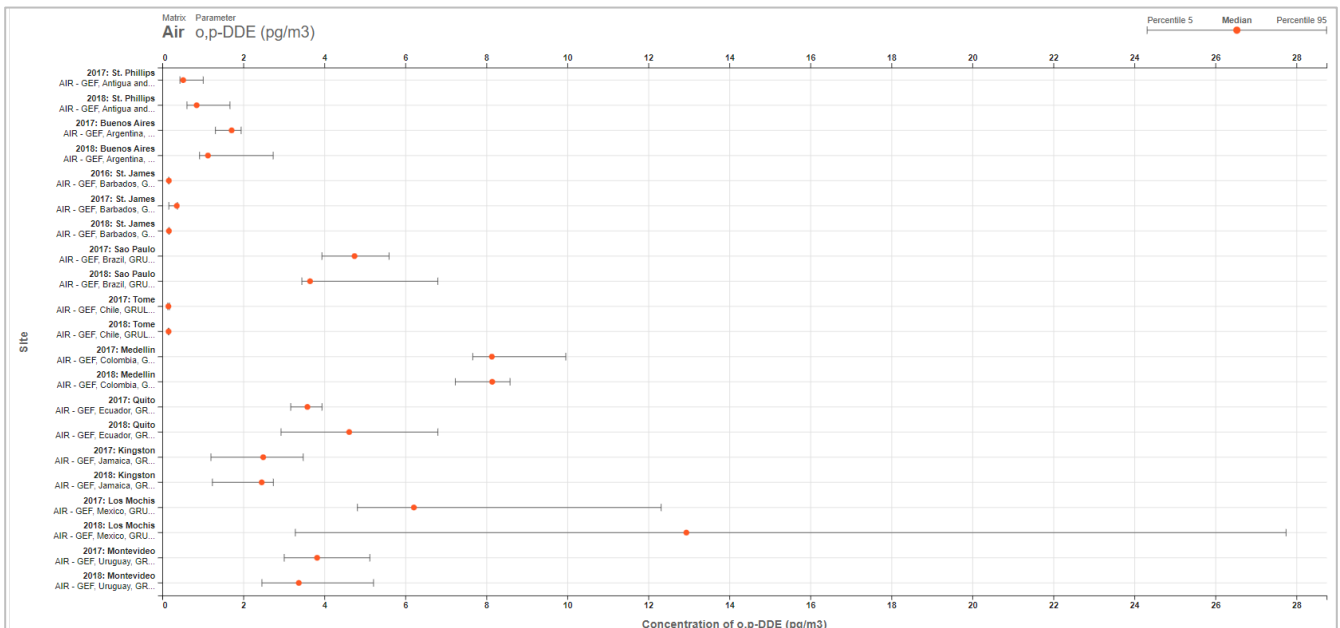
## ANEXO 1. EJEMPLO DE GRÁFICOS DEL ALMACÉN DE DATOS DE GMP

### Matriz Aire

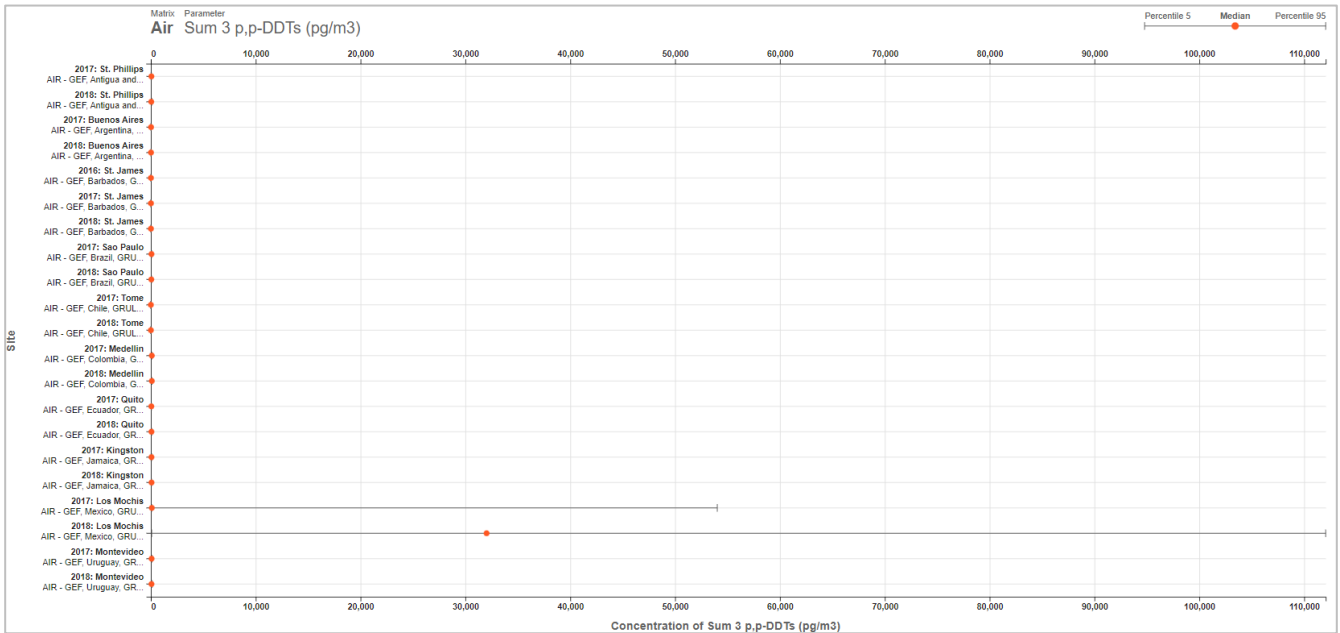
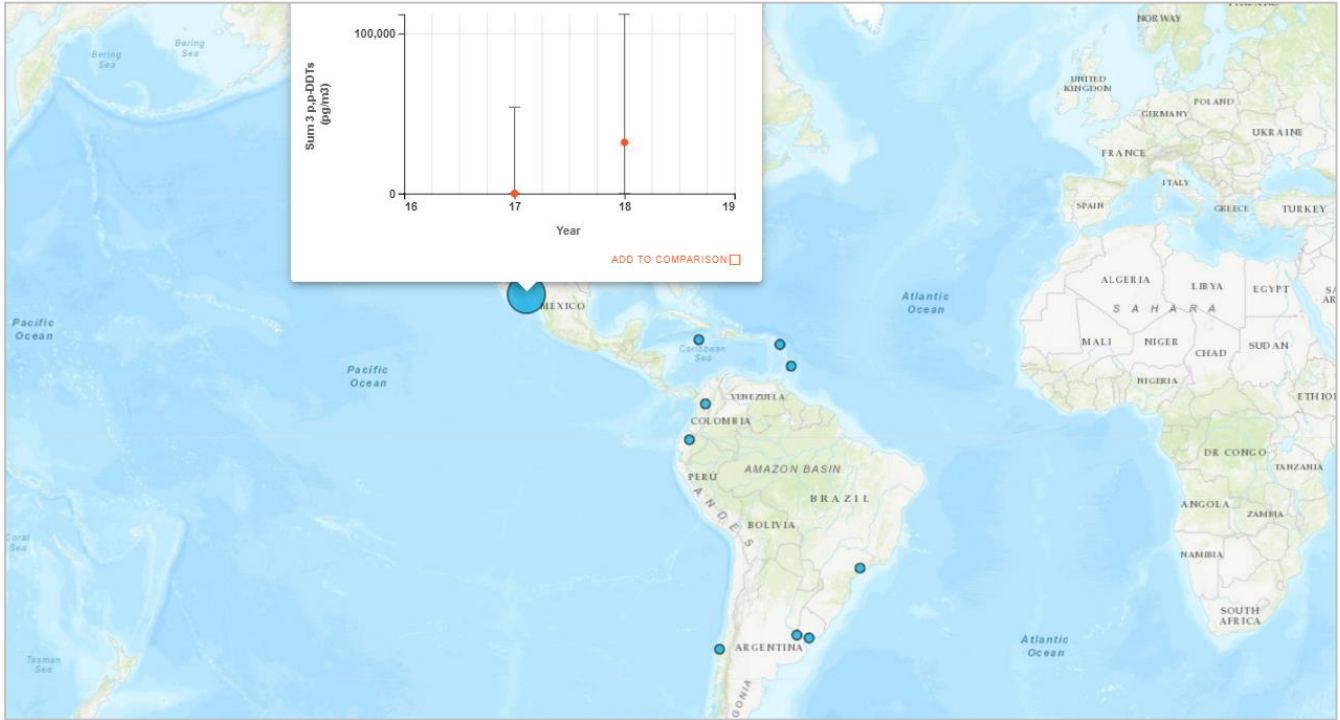
#### Ubicación de las estaciones de monitoreo en la Matriz Aire



México tuvo el primer máximo de las concentraciones p,p-DDE en los últimos años entre los países GRULAC.



México tuvo el primer máximo de las concentraciones la SUMA 3 de DDT en los últimos años entre los países GRULAC.





## ANEXO 2. PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Para asegurar la calidad de los datos generados a lo largo del proceso de monitoreo de COP, es fundamental establecer un programa de aseguramiento de la calidad, que consiste en documentar todas las actividades que aseguren la calidad de los datos producidos. (APM 2023. GMP, 2021). Los principales pasos para desarrollar un Plan de Proyecto de Garantía de Calidad son los siguientes (EPA, 2002a):

- 1) Investigar los pasos a seguir, en función de las características del sitio.
- 2) Integrar un equipo de proyecto con la experiencia necesaria.
- 3) Planificar los pasos para obtener datos de calidad que respalden las decisiones que se tomarán o las preguntas del estudio que se responderán.
- 4) Escribir el plan del proyecto de control de calidad.
- 5) Presentar el plan del proyecto de garantía de la calidad para revisión por pares, aportes y aprobación, revisándolo según sea necesario.
- 6) Distribuir el Plan de Proyecto de Aseguramiento de Calidad aprobado a todas las personas pertinentes involucradas en el proyecto.
- 7) Comenzar a trabajar mientras se implementa el plan.
- 8) Documentar cualquier cambio en el plan del proyecto de control de calidad.
- 9) Obtener una nueva aprobación antes de iniciar el cambio.
- 10) Distribuir la versión actualizada.

Los elementos del Plan del Proyecto de GC se resumen en la tabla 20. Estos elementos básicos definen y describen lo siguiente (EPA, 2002a):

- Quién utilizará los datos;
- Cuáles son las metas/objetivos/preguntas o problemas del proyecto;
- Qué decisión(es) se tomarán a partir de la información obtenida;
- Cómo, cuándo y dónde se adquirirá o generará la información del proyecto;
- Qué posibles problemas pueden surgir y qué acciones se pueden tomar para mitigarlos;



- Impacto en el proyecto;
- Qué tipo, cantidad y calidad de datos se especifican;
- Cuál “buenos” deben ser esos datos para respaldar la decisión a tomar; y
- Cómo se analizarán, evaluarán e informarán los datos.

Cuadro 33. Lista de elementos de un Plan de QA

Grupo A. Administración del proyecto	Grupo B. Adquisición y generación de datos	Grupo C. Evaluación y supervisión
A1 Hoja de título y aprobación	B1 Diseño del muestreo (diseño experimental)	C1 Acciones de evaluación y respuesta
A2 tabla de contenido	B2 Métodos de muestreo	C2 Reportes a la administración
A3 Lista de distribución	B3 Cadena de custodia y manejo de las muestras	
A4 organización y tareas del proyecto	B4 Métodos analíticos	Grupo D Validación y uso de datos
A5 Antecedentes y definición del problema	B5 Control de calidad	D1 Revisión, verificación y validación de datos
A6 Descripción del proyecto y tareas	B6 Inspección, mantenimiento y pruebas del equipo e instrumentos	D2 Verificación y validación de métodos
A7 Criterios y objetivos de calidad	B7 Frecuencia de calibración de los equipos	D3 reconciliación con los requerimientos del usuario
A8 capacitación y certificaciones	B8 Inspección de suministros y consumibles	
A9 Registros y documentación	B9 Mediciones indirectas	
	B10 manejo de datos	

Fuente: EPA, 2002<sup>a</sup>.

El programa de control y aseguramiento de calidad analítica debe observar los siguientes pasos:

- Todos los procedimientos de laboratorio deben estar escritos, con el mayor detalle posible, en la forma de Procedimientos Estándares de Operación.
- Todos los procedimientos que se hagan para cada muestra o muestra de control de calidad, debe estar documentados en una libreta, donde deberán estar escritos con tinta, y firmados por el técnico analista. Todas las operaciones necesarias para llegar al resultado final de la concentración deben estar reportadas en la libreta.

- Llevar un registro de las calibraciones de todos los equipos, así como de todos los estándares analíticos o subrogados. Se debe especificar la fecha de preparación, quien los preparó, cómo se preparó y cuál fue el proveedor.
- Antes de iniciar el análisis de cualquier lote de muestras, se debe hacer una corrida analítica en el cromatógrafo de gases, sin inyectar nada, usando el mismo programa de inyección y temperatura del horno que el que se usa para las muestras. No deben aparecer picos con los mismos tiempos de retención que los analitos a analizar. Si aparecen, hay que limpiar el inyector o la columna, hasta que no parezcan dichos picos.
- El instrumento se debe calibrar con por lo menos cuatro puntos, y el coeficiente de correlación debe ser  $>0.990$ .
- Debe verificarse que la degradación térmica de los compuestos termolábiles sea menor al 15 %.
- La recuperación de los estándares subrogados debe estar entre 60 y 120%.
- No más de tres analitos deben estar por arriba de tres veces el límite de detección del método en los blancos operacionales.
- Se deben analizar al azar por duplicado el 10 % de las muestras. La desviación estándar relativa para las muestras duplicadas debe ser menor al 20%, para los analitos cuyas concentraciones están por arriba de 10 veces el límite de detección del método.
- La recuperación de los estándares añadidos a los blancos enriquecidos (“spiked blanks”) debe estar entre 60 y 120 % para el 80 % de los estándares.
- Se deben analizar Materiales Certificados de Referencia, y las concentraciones obtenidas deben estar dentro de un intervalo de  $\pm 35$  % del rango de las concentraciones certificadas para el 80 % de los analitos cuyas concentraciones están por arriba de 10 veces el límite de detección del método.

Cada laboratorio que participe en el programa de control y aseguramiento de calidad deberá estar sujetos a auditorías de sus procedimientos analíticos. Se muestra a continuación una lista de verificación que puede emplearse fines.

## LISTA DE VERIFICACIÓN

Laboratorio	
Persona que proporciona la información (Nombre y puesto)	
Fecha de revisión	

ACTIVIDADES	SI	NO	OBSERVACIONES
<b>¿Qué matrices ambientales analizan?</b>			
Aire Ambiente			
Aguas marinas			
Aguas estuarinas			
Agua de lagunas costeras			
Aguas superficiales epicontinentales			
Aguas subterráneas			
Suelos			
Sedimentos marinos			
Sedimentos epicontinentales			
Sangre, leche materna, tejido			
<b>¿Qué analitos determinan?</b>			
Plaguicidas organoclorados (POCs)			
Bifenilos policlorados (PCBs)			
Clordecona, Pentaclorobenceno, pentaclorofenol			
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿Se utilizan métodos normalizados?</b>			
Plaguicidas organoclorados (POCs)			
Bifenilos policlorados (PCBs)			
Clordecona, Pentaclorobenceno, pentaclorofenol			

ACTIVIDADES	SI	NO	OBSERVACIONES
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿Cuentan con acreditación?</b>			
Plaguicidas organoclorados (POCs)			
Bifenilos policlorados (PCBs)			
Clordecona, pentaclorobenceno, pentaclorofenol			
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿De los métodos que no están normalizados son métodos propios o métodos de otra organización?</b>			
Plaguicidas Organoclorados (POCs)			
Bifenilos Policlorados (PCBs)			
Clordecon, entaclorobenceno, pentaclorofenol			
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales,			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿Fueron validados?</b>			
Plaguicidas organoclorados (POCs)			
Bifenilos policlorados (PCBs)			
Clordecona, pentaclorobenceno, pentaclorofenol			
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales,			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿Qué parámetros se utilizaron en la validación?</b>			

ACTIVIDADES	SI	NO	OBSERVACIONES
Recuperación			
Sensibilidad			
<i>Selectividad / Especificidad</i>			
<i>Robustez</i>			
Límite de detección			
Límite de cuantificación			
Intervalo lineal y de trabajo			
Reproducibilidad			
Repetitividad			
Sesgo (En algunos casos evaluado a partir de la Recuperación)			
Incertidumbre inicial			

ACTIVIDADES (QA/QC)	SI	NO	OBSERVACIONES
<b>¿Cuentan con un programa de QA/QC para los analitos?</b>			
<b>¿Cuenta con los siguientes requerimientos específicos para cada método de prueba?</b>			
Muestras de evaluación de aptitud			
Muestras de control de calidad			
Curvas de calibración			
Verificación de la calibración			
Blancos			
Matriz adicionada			
Cartas control			
Demostración inicial de desempeño			
Cuantificación en análisis multicomponentes			
Cálculo periódico del límite de detección de método			
Límite de cuantificación del método			
Identificación cualitativa			
<b>¿Cuenta con un criterio o política para la conservación de la información?</b>			

ACTIVIDADES (QA/QC)	SI	NO	OBSERVACIONES
<b>¿Durante cuánto tiempo conserva la información?</b>			años
<b>¿Qué registros son los que se conservan?</b>			
Registros de muestreo			
Registros analíticos bitácora			
Registros del personal			
<b>Visita de instalaciones</b>			
Cuenta con los instrumentos y Equipo necesario para los métodos analíticos que realiza			
Están disponibles los procedimientos analíticos en las áreas			
<b>Solicitud y revisión de documentos</b>			
Métodos escritos			
Una validación o confirmación de método			
Acreditaciones			
Una prueba inicial de desempeño			
Registro de entrenamiento y capacitación del personal			
Programa de QA/QC			

## NOTAS


Se recomienda consultar para más información:

- El Manual de aseguramiento de Calidad de la USEPA. <https://www.epa.gov/quality/agency-wide-quality-program-documents>.
- Manual de Garantía de Calidad para Sistemas de Medición de la Contaminación del Aire Volumen II del Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire Ambiental (EPA, 2017).

# APOYO TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL DE COP EN ECUADOR

Hoja de ruta preliminar  
para el diseño del programa de monitoreo de plaguicidas COP en Ecuador con  
resultados de la base de datos

Julio, 2023.





## **Autoría**

### ***AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática***

Ana Patricia Martínez

Víctor Javier Gutiérrez Avedoy

Jorge Martínez Castillejos

Martha Ramírez Islas

## **Supervisión**

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Gobierno del Ecuador

PNUMA – Oficina para América Latina y el Caribe.

Centro Coordinador del Convenio de Basilea-Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe.

## Contenido

<u>Acrónimos</u> .....	5
<u>Introducción</u> .....	6
<u>Componente 1. Diagnóstico del país</u> .....	7
<u>Componente 2. Objetivos de monitoreo</u> .....	11
<u>Objetivo general</u> .....	11
<u>Objetivos de calidad de los datos</u> .....	11
<u>Paso 1. Planteamiento del Problema:</u> .....	12
<u>Paso 2. Identificación de la meta:</u> .....	17
<u>Paso 3. Identificación de información:</u> .....	18
<u>Paso 4. Definición de los límites:</u> .....	21
<u>Paso 5. Desarrollo del enfoque analítico:</u> .....	22
<u>Paso 6. Criterios de funcionamiento o aceptación:</u> .....	25
<u>Paso 7. Plan de obtención de datos:</u> .....	27
<u>Componente 3. Características del Plan de Monitoreo (Diseño preliminar)</u> .....	28
a) <u>Parámetros ambientales.</u> .....	28
b) <u>Número y sitios de muestreo</u> .....	29
c) <u>Determinación de tiempos de muestreo</u> .....	32
d) <u>Selección de metodologías</u> .....	33
<u>Componente 4. Plan de aseguramiento de calidad.</u> .....	37
<u>Componente 5. Responsables</u> .....	37
<u>Referencias</u> .....	39
<u>Anexos</u> .....	40
<u>Anexo 1. Gráficas de concentraciones de plaguicidas COP en aire y leche materna</u> .....	40
<u>Anexo 2. Mapas generados con para ubicación de sitios de monitoreo.</u> .....	48
<u>Anexo 3. Fichas de ejemplos del criterio estadístico para decidir si se sigue muestreando en el sitio de monitoreo Quito</u> .....	52

## Tablas

<u>Tabla 1. Comparación de la presencia de Plaguicidas COP detectados en aire durante dos periodos de monitoreo</u> .....	19
<u>Tabla 2. Plaguicidas COP detectados en leche materna durante 2019 arriba del límite de cuantificación</u> .....	20
<u>Tabla 3. Técnicas analíticas</u> .....	34
<u>Tabla 4. Costo análisis de laboratorio de plaguicidas COP por muestra</u> .....	34

<u>Tabla 5. El costo total para 10 sitios es de aproximadamente:</u> .....	35
--	----

## Figuras

<u>Figura 1. Fases de un programa de monitoreo.</u> .....	6
<u>Figura 2. Componentes de la fase de Diseño del Programa de Monitoreo.</u> .....	7
<u>Figura 3. Provincias de Ecuador.</u> .....	8
<u>Figura 4. Línea de tiempo de la participación de Ecuador en el Convenio de Estocolmo</u> .....	9
<u>Figura 5. Repositorio del GMP DWH</u> .....	10
<u>Figura 6. Diagrama del proceso de objetivos de calidad de los datos (DQO, por sus siglas en inglés).</u> .....	11
<u>Figura 7. Modelo Conceptual del monitoreo de presencia de plaguicidas COP</u> .....	15
<u>Figura 8. Árbol de decisión.</u> .....	24
<u>Figura 9. Cuadrícula de 100 km<sup>2</sup> con referencia al territorio de Ecuador</u> .....	29
<u>Figura 10. Cuadrícula de 150 km<sup>2</sup> con referencia al territorio de Ecuador</u> .....	30
<u>Figura 11. Sitios para muestreo en una cuadrícula de 100 km<sup>2</sup> con referencia al territorio de Ecuador</u> .....	31
<u>Figura 12. Sitios para muestreo en una cuadrícula de 150 km<sup>2</sup> con referencia al territorio de Ecuador</u> .....	32
<u>Figura 1A. Comparación regional (GRULAC) de Suma 6 DDTs en leche materna</u> .....	41
<u>Figura 2A. Comparación regional (GRULAC) de p,p-DDD en leche materna</u> .....	41
<u>Figura 3A. Presencia de Plaguicidas Organoclorados en leche materna.</u> .....	42
<u>Figura 4A. Comparación regional (GRULAC) de Gama-HCH en aire</u> .....	43
<u>Figura 5A. Comparación regional (GRULAC) de PeCB en aire.</u> .....	43
<u>Figura 6A. Comparación regional (GRULAC) de HCB en aire.</u> .....	44
<u>Figura 7A. Comparación regional (GRULAC) de p,p-DDT en aire.</u> .....	44
<u>Figura 7A. Comparación regional (GRULAC) de o,p-DDT en aire.</u> .....	45
<u>Figura 8A. Presencia de p,p-DDE en aire en los años 2017 y 2018.</u> .....	45
<u>Figura 9A. Presencia de Plaguicidas COP en aire (2009-2011) por arriba del límite de cuantificación</u> .....	46
<u>Figura 10A. Presencia de Plaguicidas COP en aire (2017-2019) por arriba del límite de cuantificación</u> .....	47

## ACRÓNIMOS

---

CE	Convenio de Estocolmo
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes
COP_NIs	Compuestos Orgánicos Persistentes No Intencionales
DQO	Objetivos de Calidad de los Datos ( <i>Data Quality Objectives</i> )
DDT	Dicloro Difenil Tricloroetano
DDD	Dicloro Difenil Dicloroetano
DDE	Dicloro Difenil Dicloroetileno
EPA	Agencia de Protección Ambiental ( <i>Environmental Protection Agency</i> )
GAPS	Muestreo Pasivo Atmosférico Mundial ( <i>Global Atmospheric Passive Sampling</i> )
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial ( <i>Global Environmental Facility</i> )
GMP	Programa de Monitoreo Global ( <i>Global Monitoring Programme</i> )
GRULAC	Grupo Latinoamérica y el Caribe
HCB	Hexaclorobenceno
HCH	Hexaclorociclohexano
INIAP	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
INSP	Instituto Nacional de Salud Pública
LD	Límite de Detección
LC	Límite de Cuantificación
MAAE	Ministerio del Ambiente y Agua
MAATE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
MSP	Ministerio de Salud Pública
PeCB	Pentaclorobenceno
PFOS	Ácido perfluorooctano sulfónico
PNA	Plan Nacional de Aplicación
PUF	Espumas de poliuretano ( <i>Polyurethane foam</i> )
PVM	Plan de Vigilancia Mundial
QA/QC	plan de control y aseguramiento de calidad
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ( <i>United Nations Environment Programme</i> )
WHO	Organización Mundial de la Salud ( <i>World Health Organisation</i> )

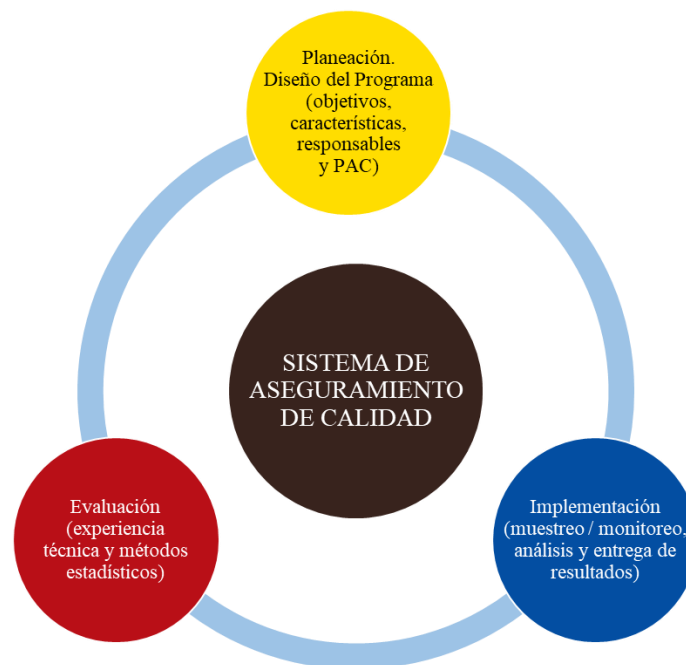
# HOJA DE RUTA PARA EL DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MONITOREO DE PLAGUICIDAS COP EN ECUADOR

## INTRODUCCIÓN

El presente documento describe una propuesta de hoja de ruta preliminar para el diseño y planificación de un Programa de Monitoreo de contaminantes orgánicos persistentes a corto plazo en el Ecuador. La metodología utilizada para desarrollar la hoja de ruta es la que se propone en el documento “*Roadmap for the Design of National POPs Monitoring Programs*” (Martinez y Manuweera, 2023) que se basa en la Guía EPA QA/G-4 del 2006 (*Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process*).

De donde se toma, que un programa de monitoreo se compone de tres fases vinculadas a un sistema de aseguramiento y control de calidad. La planificación del programa incluye el diseño de este y es la primera de las fases que comprende el programa, las otras son las de implementación y evaluación. (Figura 1).

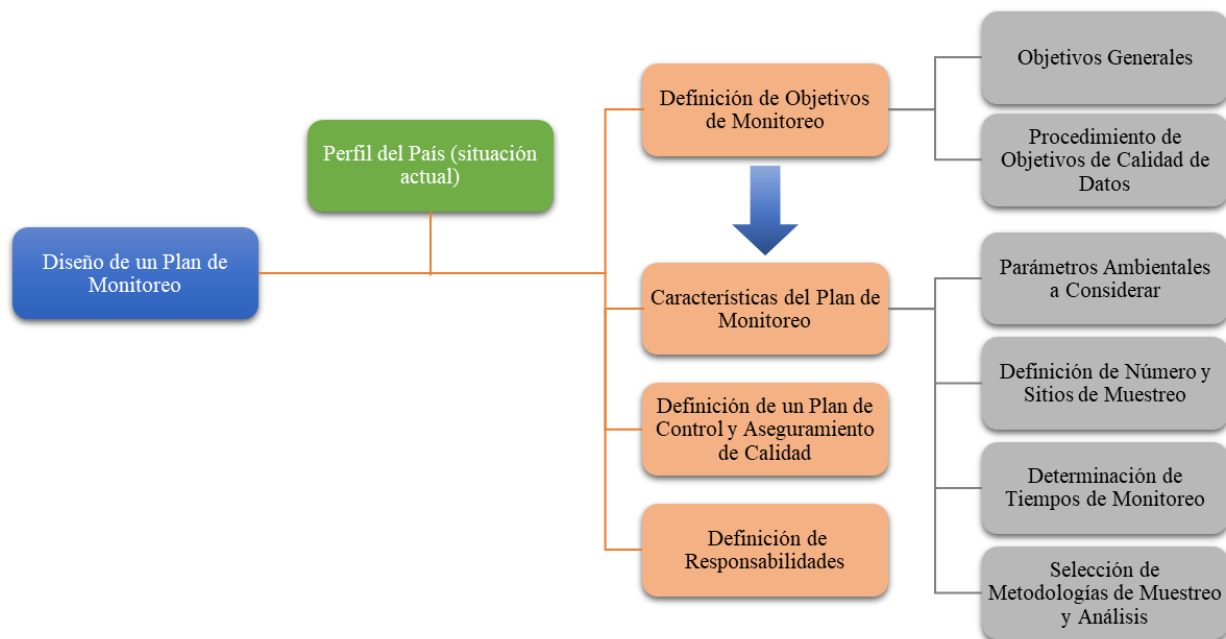
Figura 1. Fases de un programa de monitoreo.



Fuente: Martinez y Manuweera, 2023.

Asimismo, el diseño del programa de monitoreo se conforma de 5 componentes los cuales se muestran en la Figura 2.

Figura 2. Componentes de la fase de Diseño del Programa de Monitoreo.



Fuente: Martínez y Manuweera, 2023.

Es importante mencionar, que este documento presenta los elementos básicos para la implementación de un programa de monitoreo con visión de largo plazo, que tendrá como objetivo contribuir a la eliminación de los plaguicidas COP del ambiente y con ello reducir los riesgos a la salud. En este sentido, en esta primera etapa los esfuerzos se enfocan a elaborar una hoja de ruta para diseño del programa de monitoreo e implementar una base datos con información sobre la presencia de plaguicidas COP a nivel nacional, en aire y leche materna.

## COMPONENTE 1. DIAGNÓSTICO DEL PAÍS

Del perfil del país (BCCC-SCRC-AMBIENS, 2023) se obtuvo la siguiente información que es relevante para el desarrollo de la hoja de ruta. La República de Ecuador, con una superficie territorial de 256.370 km<sup>2</sup> y cuatro regiones: Amazonía, Costa del Pacífico, Sierra de Los Andes y Galápagos, se ubica en la región noroccidental de América del Sur y está dividida en 24 provincias. La capital del país es Quito y se alberga en la provincia de Pichincha (Figura 3).



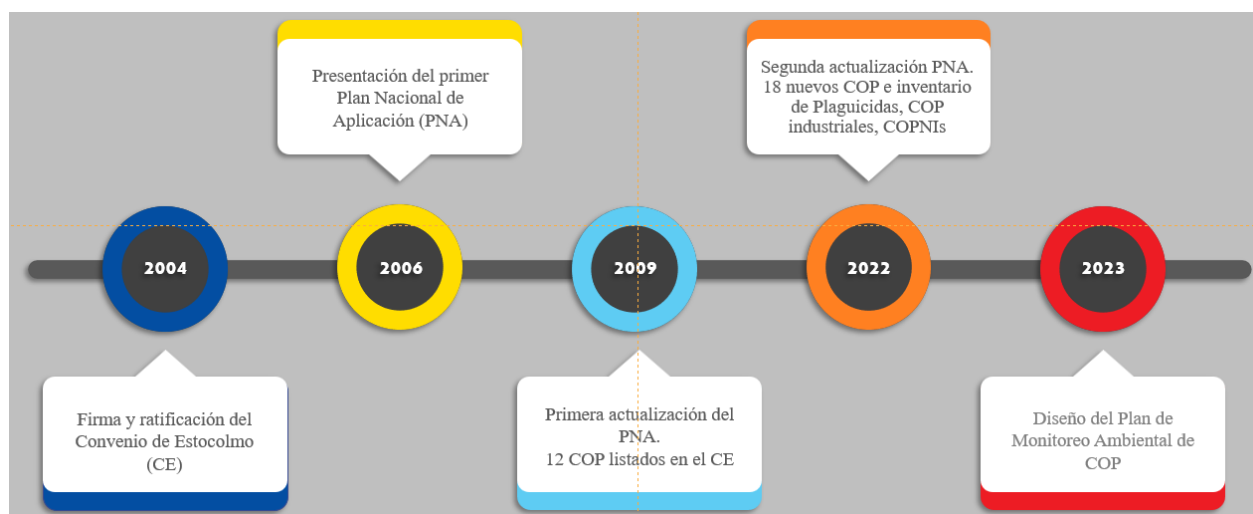


En Ecuador la contaminación del aire, suelo y agua se debe principalmente a la deforestación, la minería, la industria del petróleo, la agricultura y la disposición final de residuos. El consumo y exportación de banano y palma africana ha originado la deforestación de grandes áreas de bosques tropicales y la pérdida de biodiversidad en la región Amazónica, además de que, en el caso del banano, se requiere la aplicación de grandes cantidades de plaguicidas. (MAATE, 2022)

La contaminación del aire se origina por las emisiones de vehículos y la industria, afectando principalmente a las zonas urbanas de Quito y Guayaquil. Las zonas rurales por su parte carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales, y las descargas domésticas e industriales son utilizadas en la agricultura.

En materia de compuestos orgánicos persistentes (COP), Ecuador firmó y ratificó el Convenio de Estocolmo (CE) en el año 2004, y presentó su primer Plan Nacional de Aplicación (PNA) en septiembre de 2006, la primera actualización en el año 2009 y la última en el 2022. En el PNA de 2009 se incorporaron estrategias y acciones para los 12 compuestos inicialmente listados en el CE. En la última actualización (2022) se incluyeron los 18 nuevos COP y se presentaron los resultados de los inventarios de plaguicidas COP, COP industriales, COPNI y de productos que contienen estas sustancias (Figura 4).

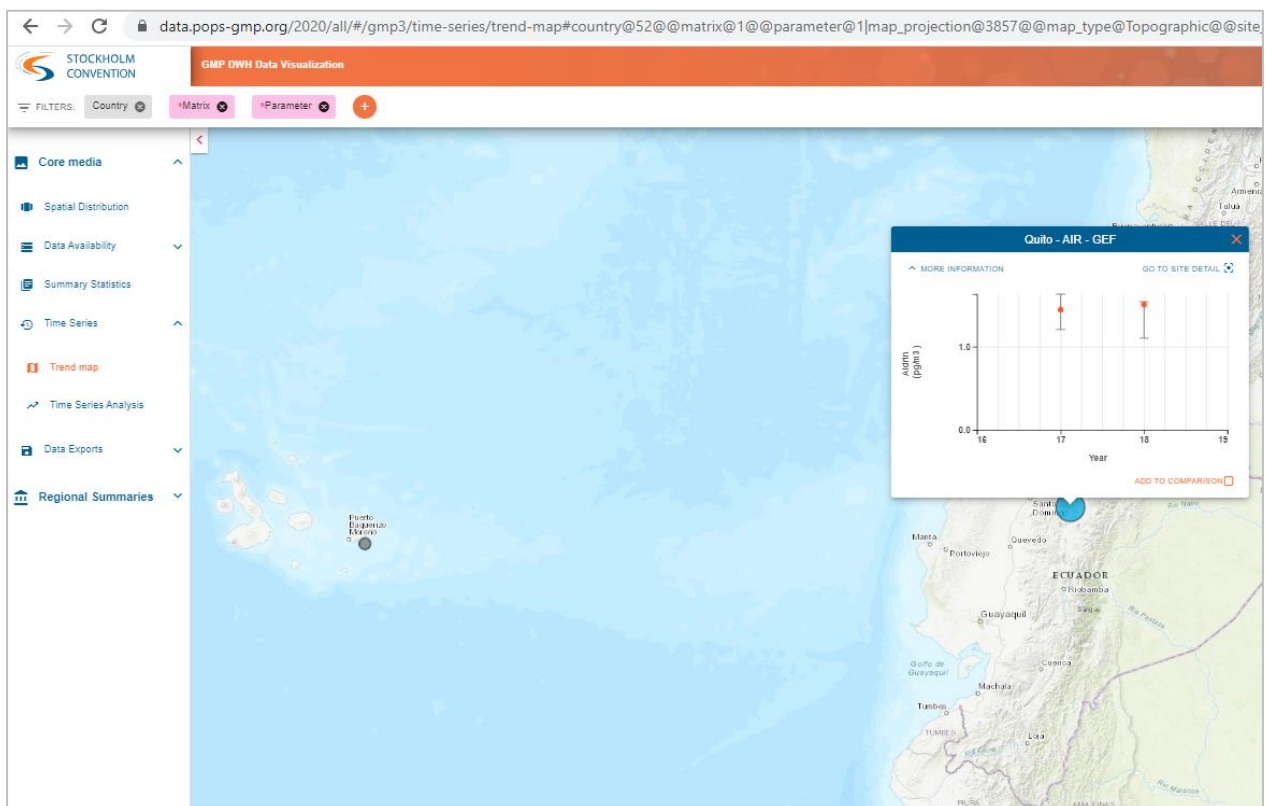
Figura 4. Línea de tiempo de la participación de Ecuador en el Convenio de Estocolmo



Durante el periodo 2010-2020, el MAATE participó en proyectos e iniciativas desarrolladas con fondos de cooperación internacional, relacionados a la implementación del Convenio de Estocolmo, dentro de las cuales se encuentra el Plan de Vigilancia Mundial (PVM) de Contaminantes Orgánicos Persistentes en la Región de América Latina y el Caribe y el proyecto GAPS (Global Atmospheric Passive Sampling) de Environment Canadá. Dentro de los cuales se realizó el monitoreo de COP en distintas matrices: aire, agua, leche materna y otras matrices de interés nacional.

Los datos generados dentro del PVM se pueden consultar en el repositorio del GMP DWH (<https://data.pops-gmp.org/2020/>) (Figura 5). Con la información disponible para el país se implementó una base de datos para analizar la concentración de los plaguicidas.

Figura 5. Repositorio del GMP DWH



## COMPONENTE 2. OBJETIVOS DE MONITOREO

En el componente 2 se describe el objetivo general del programa de monitoreo y los objetivos de calidad de los datos.

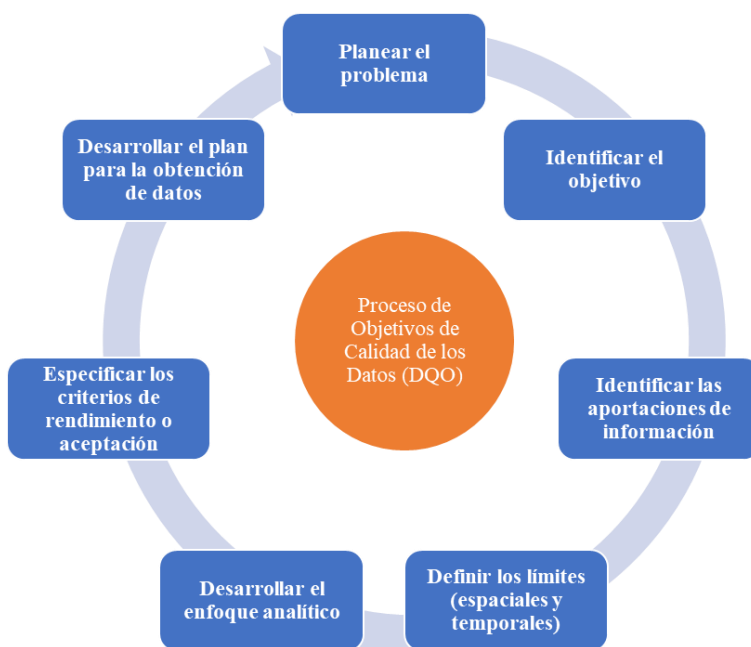
### Objetivo general

El principal objetivo del programa de monitoreo es contar con una base de datos que permita establecer la presencia de plaguicidas COP a nivel nacional, en aire y leche materna.

### Objetivos de calidad de los datos

Para establecer una planificación sistemática del programa de monitoreo se propone aplicar el procedimiento de planeación estratégica conocido como Objetivos de Calidad de los Datos propuesto por la EPA (2006). El procedimiento consta de siete pasos que se detallan a continuación (Figura 6):

Figura 6. Diagrama del proceso de objetivos de calidad de los datos (DQO, por sus siglas en inglés)



Fuente: EPA, 2006.

## ***Paso 1. Planteamiento del Problema:***

En este primer paso se define el problema que hace necesario el estudio o el programa de monitoreo; se incluye un modelo conceptual que describe la problemática; se reconocen y proponen instituciones que pudieran integrar un equipo de planeación, así como una lista de grupos interesados. También se examina el presupuesto, los recursos disponibles y los plazos relacionados con la planificación, implementación y la evaluación de datos.

### ***Problema:***

En Ecuador el desarrollo de los inventarios en materia de COP (plaguicidas, COP\_NI) ha permitido identificar la situación actual sobre esos compuestos y establecer políticas e instrumentos normativos para su control y eliminación.

De acuerdo con el inventario de plaguicidas COP (2022), en el país no se comercializan ni utilizan aldrin, clordano, dieldrin, endrin, heptacloro, hexaclorobenceno, pentaclorobenceno, mirex, toxafeno, clordecona, alfa hexaclorociclohexano, beta hexaclorociclohexano. Sin embargo, los estudios realizados reportan existencias de DDT, lindano, pentaclorofenol, sulfuramida y dicofol (MAATE, 2022).

Así mismo, bajo el Plan de Vigilancia Mundial de Contaminantes Orgánicos Persistentes se evaluó la presencia de COP en aire, agua y leche materna a través del proyecto “Apoyo a la Implementación del Plan de Vigilancia Mundial de COP en América Latina y el Caribe”. En dicho proyecto se determinó la concentración de 32 COP a nivel regional que incluyen los compuestos listados en los anexos del Convenio de Estocolmo en las distintas matrices objetivo, aire, agua y leche materna.

Los resultados del Plan de Vigilancia Mundial reportados en la base de datos del Convenio de Estocolmo muestran que Ecuador a nivel regional (GRULAC) presenta, en leche materna, el segundo máximo para la suma de 6 DDTs (mayor a 300 ng/g grasa) y valores para p,p-DDD de 1.4 ng/g grasa (Figuras 1A y 2A del anexo) (<https://data.pops-gmp.org/2020/>). También se detectó presencia de p,p-DDT, p,p-

DDE, Dieldrin, trans-Nonacloro, Oxiclordano, beta-HCH y HCB (Figura 3A del anexo).

En aire, bajo el programa GAPS, en Quito en 2011 se observó la presencia de Alfa-HCH y Gama-HCH, Endosulfán I y II (alfa y beta) y Endosulfán SO<sub>4</sub>. En tanto que en la Isla Santa Cruz en el 2009 se detectó Dieldrin, Endosulfán I (alfa), p,p-DDT, Suma 3 p,p-DDTs y Suma 6 DDTs. También, bajo AIR-GEF en el repositorio de datos del Plan de Vigilancia Mundial se observó durante 2010 al 2011 la presencia de Aldrin, Dieldrin, Endrin, HCB, Heptacloro, trans-Heptacloroepoxido, Suma 2 Heptacloroepoxidos (cis + trans), Mirex, Alpha-HCH, Gama-HCH, cis-Clordano, cis-Nonacloro, trans-Nonacloro, o,p-DDT, o,p-DDD, p,p-DDT, p,p-DDE, Suma 3 p,p-DDTs, Suma 6 DDTs (Figura 9A en anexo).

Posteriormente bajo el proyecto UNEP/GEF II en los años 2017 al 2019, en la ciudad de Quito se reportaron concentraciones por arriba de 50 pg/m<sup>3</sup> de lindano (Gama-HCH), los valores más altos de la región GRULAC (Figura 4A del anexo), así como una mediana de pentaclorobenceno arriba de 500 pg/m<sup>3</sup>, 2do valor máximo en la región (Figura 5A del anexo), y para hexaclorobenceno valores de 31.07 pg/m<sup>3</sup> arriba de la mediana regional (Figura 6A del anexo). Asimismo, se observaron valores de p,p-DDT entre 20 y 25 pg/m<sup>3</sup>, de o,p-DDT entre 12 y 16 pg/m<sup>3</sup> y de p,p-DDE de 30 pg/m<sup>3</sup> (Figuras 7A, 8A, 9A del anexo) (<https://data.pops-gmp.org/2020/>). También en Quito se detectó la presencia de Aldrin, Dieldrin, Endosulfán I y II (alfa y beta), Endosulfán SO<sub>4</sub>, trans-Clordano, trans-Nonacloro, o,p-DDD, o,p-DDE, p,p-DDD, Suma 3 p,p-DDTs, Suma 6 DDTs, Alpha-HCH, Beta-HCH y PFOS (Figura 10A en anexo).

Debido a que se ha identificado la presencia de Plaguicidas COP en dos regiones del país por las mediciones realizadas bajo los proyectos UNEP/GEF GMP y el programa global GAPS, se requiere información adicional para conocer el estado que guardan estos contaminantes en las demás regiones del país priorizando regiones agrícolas y el Oriente Ecuatoriano donde no se cuenta con información alguna.

### ***Modelo conceptual:***

Los Plaguicidas COP son sustancias que se utilizan en la agricultura como insecticidas, herbicidas, fungicidas, así como en el control de ectoparásitos como es el caso de lindano. En la mayoría de los casos se aplican mediante dispersión en los cultivos agrícolas (UN Environment, 2017). Estos compuestos presentan características de persistencia ya que son resistentes a la degradación, se bioacumulan, biomagnifican y son transportados por el aire, el agua y las especies migratorias a través de las fronteras internacionales, se depositan lejos del lugar de su liberación, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos (CE, 2019).

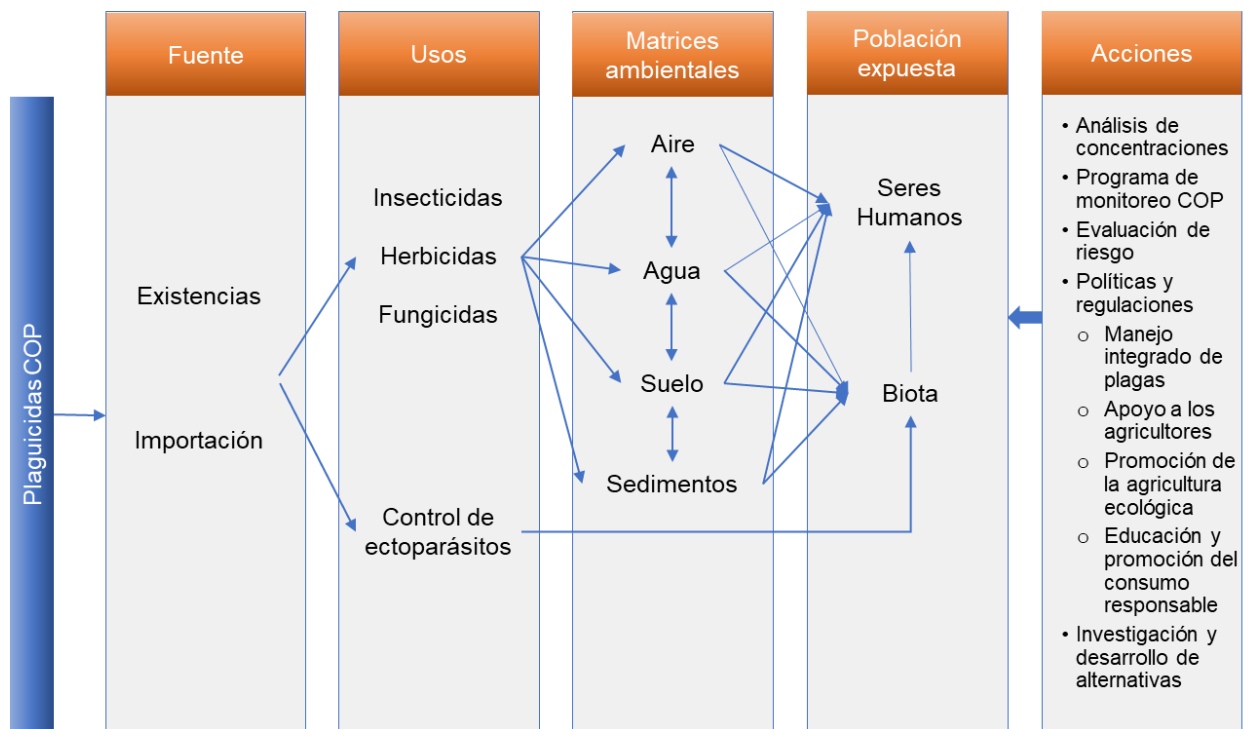
En el modelo conceptual que se presenta en la figura siguiente (Figura 7) se observa que el suministro de los plaguicidas COP en el Ecuador es por la vía de la importación, así como por el uso de los compuestos ya existentes, almacenados en el país, ya que no se reporta producción nacional. El uso de los plaguicidas en zonas agrícolas impacta en los diferentes compartimentos ambientales: aire, agua, suelo y sedimentos, los compuestos pueden moverse con facilidad entre las matrices; en tanto el uso para el control de ectoparásitos impacta directamente en animales y en los seres humanos. La población y los animales están expuestos a estos compuestos a través de diferentes vías de exposición con las matrices impactadas, como es inhalación del aire, ingesta de agua, partículas de suelo y sedimentos, ingesta a través de la cadena trófica y contacto dérmico con el compuesto.

El aire, por lo tanto, es un medio ambiental candidato a ser monitoreado y recomendado por el CE para medir la presencia, transporte y tendencias de los COP; ya que en él se dispersan y transportan la mayoría de los COP emitidos, entre ellos los plaguicidas organoclorados.

Como se mencionó anteriormente la población se expone a dichos compuestos por diferentes vías de exposición, las mujeres son un grupo de gran interés ya que a través de ellas las sustancias se trasladan a las siguientes generaciones durante el embarazo y la lactancia (PNUMA, 2010). Por lo anterior, la leche materna ha sido otro medio recomendado por el CE para medir la presencia y tendencias de los COP.

Para determinar el impacto que ha tenido y tiene el uso de plaguicidas COP es importante identificar acciones como el análisis de las concentraciones medidas en estudios previos y establecer programas de monitoreo. La detección de los plaguicidas en concentraciones que exceden estándares nacionales o internacionales requiere establecer acciones de evaluación de riesgos, el establecimiento de política y regulaciones, así como realizar investigación y desarrollo de alternativas.

Figura 7. Modelo Conceptual del monitoreo de presencia de plaguicidas COP



Fuente: Elaboración propia

### ***Miembros del equipo de planeación:***

Se sugiere integrar un equipo de planeación para diseñar el programa de monitoreo integrado por miembros de las principales instituciones de gobierno involucradas en el tema de COP. Se han identificado las siguientes Instituciones:

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE)
  - Subsecretaría de Calidad Ambiental
- Ministerio de Salud Pública (MSP)



- Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI)
- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (AGROCALIDAD)

Asimismo, se podrían incluir en el equipo otras instituciones u organizaciones interesados que podrían aportar información o beneficios a la planeación y ejecución del programa.

A continuación, se listan grupos de posibles interesados:

- Otras Instituciones Gubernamentales, Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE), Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP) por ejemplo.
- Organizaciones No Gubernamentales
- Asociaciones de agricultores
- Distribuidores de plaguicidas
- Academia y Centros de Investigación
- Laboratorios Analíticos

### ***Recursos Económicos:***

La disponibilidad de los recursos, fuentes de financiamiento y posibles acuerdos con organismos nacionales e internacionales deberán ser discutidos entre los miembros del equipo de planeación para establecer los fondos y recursos con que contará el programa.

### ***Plazos de Ejecución:***

Los tiempos relacionados con la planificación, implementación y la evaluación de datos deberán ser establecidos por el equipo de planeación. Se recomienda en base al objetivo establecido que la implementación tenga una duración de 1 a 2 años.

## *Paso 2. Identificación de la meta:*

Para alcanzar con mayor certeza el objetivo planteado es importante indicar cómo se utilizarán los datos para cumplir con dicho objetivo. Para ello se identifican preguntas clave que permiten hacer declaraciones sobre el problema de decisión o estimación a partir del cual se hará referencia a supuestos, y métodos. En relación con el objetivo establecido, se proponen las siguientes 3 preguntas como opciones:

- ¿Hay presencia de plaguicidas COP en aire y leche materna a nivel nacional?
- ¿Las concentraciones de los plaguicidas COP en aire y leche materna son mayores a los límites de cuantificación?
- ¿La concentración de los plaguicidas COP en aire y leche materna exceden estándares nacionales o internacionales?

Para responder a las preguntas y alcanzar el objetivo planteado sobre el establecimiento de la presencia de plaguicidas COP en distintos compartimientos ambientales será necesario realizar mediciones de la concentración de los diferentes compuestos de interés en las matrices ambientales seleccionadas durante un periodo de tiempo determinado.

Es recomendable que después de concluir sobre la presencia de los compuestos también se determinen niveles aceptables o niveles que exceden límites máximos, por lo que se sugiere comparar las concentraciones obtenidas con estándares establecidos en alguna normatividad nacional, regional, de otro país o de guías internacionales como las de la OMS.

Es posible encontrar presencia de plaguicidas COP en leche materna en poblaciones ubicadas en zonas agrícolas donde se hayan aplicado dichos compuestos o en los sitios de almacenamiento o venta, las concentraciones podrían exceder límites permisibles lo cual podría representar problemas de salud pública, por lo cual es importante identificar las zonas agrícolas principalmente de banano y palma en donde se han aplicado plaguicidas en cantidades importantes.

Si se determina la presencia de plaguicidas COP en aire y leche materna es recomendable identificar acciones para enfrentar la problemática, a continuación, se listan algunas de ellas:

- Comparar concentraciones con estándares internacionales, Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés), entre otros, o de no contar con ellos con concentraciones de la región o de otras regiones.
- Diseñar un programa de monitoreo a largo plazo enfocado a la región o población afectada en caso de que los valores de las concentraciones excedan límites normados o estén arriba del percentil 75 de las concentraciones de los otros países de la región.
- Determinar y atender los efectos a la salud de la población afectada.
- Determinar los riesgos a la salud por la exposición de los plaguicidas COP en aire.
- Evaluar la presencia y concentración en otras matrices ambientales.

### *Paso 3. Identificación de información:*

En este paso se identifica la información específica que permitirá detallar y profundizar en el diseño del programa. A continuación, se recomiendan documentos o información que será de importancia revisar.

- Nuestra principal fuente de información para confirmar la presencia de plaguicidas COP y la necesidad de su estudio, son los datos que se tienen de tres puntos de monitoreo ubicados en los alrededores de la ciudad de Quito y de un sitio de monitoreo ubicado en la Isla Santa Cruz. Datos que se obtuvieron bajo los proyectos del PVM y del programa GAPS como se mencionó. Estos datos muestran la presencia de 28 plaguicidas en las campañas de monitoreo de aire llevadas a cabo durante 2009-2011 y 2017-2019, ver tabla 1.

Tabla 1. Comparación de la presencia de Plaguicidas COP detectados en aire durante dos periodos de monitoreo

Grupo Químico	Compuesto	Periodo 2009-2011 (Air-GEF/GAPS)	Periodo 2017-2019 (Air-GEF)
Aldrin	Aldrin	√	√
Clordano	Cis-Clordano	√	
	Trans-Clordano		√
	Cis-Nonacloro	√	
	Trans-Nonacloro	√	√
Dieldrin	Dieldrin	√	√
Endrin	Endrin	√	
Endosulfán	Endosulfán I (alfa)	√	√
	Endosulfán II (beta)	√	√
	Endosulfán SO4	√	√
Hexaclorociclohexano (HCH)	Alfa-HCH	√	√
	Beta-HCH		√
	Gama-HCH (Lindano)	√	√
Dicloro difenil tricloroetano (DDT)	o,p-DDT	√	√
	o,p-DDD	√	√
	o,p-DDE		√
	p,p-DDT	√	√
	p,p-DDD		√
	p,p-DDE	√	√
	Suma 3 p,p-DDTs	√	√
	Suma 6 DDTs	√	√
Hexaclorobenceno (HCB)	HCB	√	√
Heptacloro	Heptacloro	√	
	Trans-Heptacloroepóxido	√	
	Suma 2 Heptacloroepóxido	√	
Mirex	Mirex	√	
Pentaclorobenceno (PeCB)	PeCB		√
Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS)*	PFOS		√

Nota: se incluye PFOS porque una parte podría provenir de la biotransformación de la Sulfuramida.

Como se puede observar en la tabla 1 la mayoría (15) de los plaguicidas presentan presencia de una campaña a otra y 6 presentan presencia solamente en la campaña más reciente, por lo que se tendrá que evaluar si es significativa su presencia para ver si es recomendable medirlos o no.

De la misma manera la base de datos de leche materna que proviene de la participación de Ecuador en la sexta ronda del estudio de la OMS fue evaluada mostrando la presencia de los compuestos que se presentan en Tabla 2.

Tabla 2. Plaguicidas COP detectados en leche materna durante 2019 arriba del límite de cuantificación

Grupo Químico	Compuesto	Año 2019
Clordano	Oxi-Clordano	√
	Trans-Nonacloro	√
Dieldrín	Dieldrín	√
Hexaclorociclohexano (HCH)	Beta-HCH	√
Dicloro difenil tricloroetano (DDT)	p,p-DDT	√
	p,p-DDD	√
	p,p-DDE	√
	Suma 3 p,p-DDTs	√
	Suma 6 DDTs	√
Hexaclorobenceno (HCB)	HCB	√

Se recomienda verificar si existen otros estudios de COP en otras regiones del país y otras matrices ambientales.

- Estándares o normatividad ambiental nacional o de otros países (USA, EU) que establezcan límites máximos permisibles de COP y guías de la OMS, entre otros.
- Documentos de otros países que reporten criterios para el diseño de programas de monitoreo de plaguicidas COP que incluyan monitoreo en aire y muestreo en leche materna.
- Actualmente se ha revisado la información disponible relacionada con las instituciones gubernamentales y académicas que tienen capacidad para el análisis de los COP de interés, así como laboratorios particulares certificados en el análisis de COP; sin embargo, será necesario revisar la sensibilidad de los métodos utilizados, si cuentan con los estándares requeridos y el desempeño de dichos laboratorios.

#### ***Paso 4. Definición de los límites:***

El paso 4 incluye la definición de la población objetivo tanto para aire como leche materna, y los límites espaciales y temporales, se mencionan también el tipo de limitaciones prácticas.

#### ***Población objetivo:***

Para el monitoreo de aire, la población objetivo es la cantidad de unidades de muestreo de aire instaladas y obtenidas en los sitios de monitoreo. La cantidad dependerá del tipo de muestreador utilizado (PUF o XAD) y de los parámetros de control de calidad seleccionados.

Para el caso de monitoreo en leche materna la población objetivo es la cantidad de mujeres en etapa de lactancia de las cuales se obtengan las muestras de leche o la cantidad de muestras de leche obtenidas de los bancos de leche materna, siempre y cuando se siga el mismo protocolo.

#### ***Límites Espaciales:***

Con la finalidad de tener un panorama del país, se recomienda que el programa de monitoreo se realice a escala nacional con prioridad en el Oriente Ecuatoriano, y tomando en consideración la ubicación de las regiones agrícolas. También será importante ubicar lugares prístinos que sirvan de puntos o zonas de referencia (Galápagos, Isla Santa Cruz).

#### ***Límites Temporales:***

Debido a que el objetivo es establecer presencia de plaguicidas COP, la duración del programa se puede fijar entre 1 y 2 años en función del presupuesto.

#### ***Limitaciones prácticas:***

Existen diferentes tipos de limitaciones prácticas en cada una de las fases de plan de monitoreo ambiental que tendrán que evaluarse. Entre ellas se han identificado la falta de información de recursos, de socios que puedan aportar recursos financieros,

analíticos o de personal al programa, de concentraciones ambientales, de estándares o normativas, y de capacidades de laboratorios, entre otros.

Con el equipo de planeación se deberán identificar de forma detallada las limitaciones prácticas para llevar a cabo el Programa de Monitoreo COP.

### ***Paso 5. Desarrollo del enfoque analítico:***

El paso 5 del proceso consiste en desarrollar un enfoque analítico que guíe el análisis de los resultados y el establecimiento de las conclusiones a partir de los datos. Incluye el parámetro poblacional, los niveles de acción y las reglas de decisión.

#### ***Parámetro poblacional:***

Las concentraciones de los compuestos de interés son los principales parámetros de medición; con base en el análisis estadístico de las concentraciones de cada muestra se podrán obtener conclusiones sobre la presencia de los plaguicidas COP, así como niveles de concentración comparados con límites máximos permisibles.

Se recomienda, en base a la experiencia del Plan de Vigilancia Mundial, utilizar la mediana como parámetro para el análisis estadístico de los datos obtenidos para cada COP cuantificado en cada una de las dos matrices (aire y leche materna).

La cantidad de sitios de muestreo y su ubicación, así como la cantidad de muestras obtenidas serán condiciones específicas para determinar si las medianas obtenidas para cada compuesto representan valores de presencia a escala nacional y si muestran representatividad estadística.

#### ***Niveles de acción:***

Para el programa de monitoreo que se propone, los niveles de acción son los propios límites de cuantificación del análisis de cada compuesto para cada matriz, ya que solamente se definirá presencia en cada una de las muestras.



Se considera límite de cuantificación (LC) a la concentración más baja que puede determinarse cuantitativamente dentro de límites especificados de precisión y exactitud y es considerada como tres veces mayor que el límite de detección (LD).

Se considera límite de detección (LD) a la concentración más baja a la que se puede detectar un compuesto y que puede distinguirse del ruido; se define como aquella que corresponde a una señal tres veces mayor que el ruido y depende de la sensibilidad del instrumento utilizado en los análisis.

### ***Regla de decisión:***

Si la mediana anual de las concentraciones de los compuestos excede los límites de cuantificación entonces se concluye presencia en las matrices monitoreadas a nivel nacional.

Por otro lado, si la mediana anual de las concentraciones de los compuestos se encuentra por debajo de los límites de cuantificación entonces se concluye no presencia o ausencia.

En caso de que se determine presencia de los compuestos se recomienda comparar con estándares de seguridad internacionales o regionales o de límites máximos permisibles para la salud y biota, que si bien no existen para todas las sustancias ni para todas las matrices, se pueden consultar en fuentes como la OMS (Organización Mundial de la Salud) la ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades), la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), EAC (Agencia de Medio Ambiente de Canadá), entre otras. También, se pueden comparar los resultados obtenidos con valores reportados en otros países con métodos de muestreo y análisis semejantes. Si las concentraciones exceden los estándares, es recomendable continuar el monitoreo e implementar acciones para reducir o eliminar riesgos.

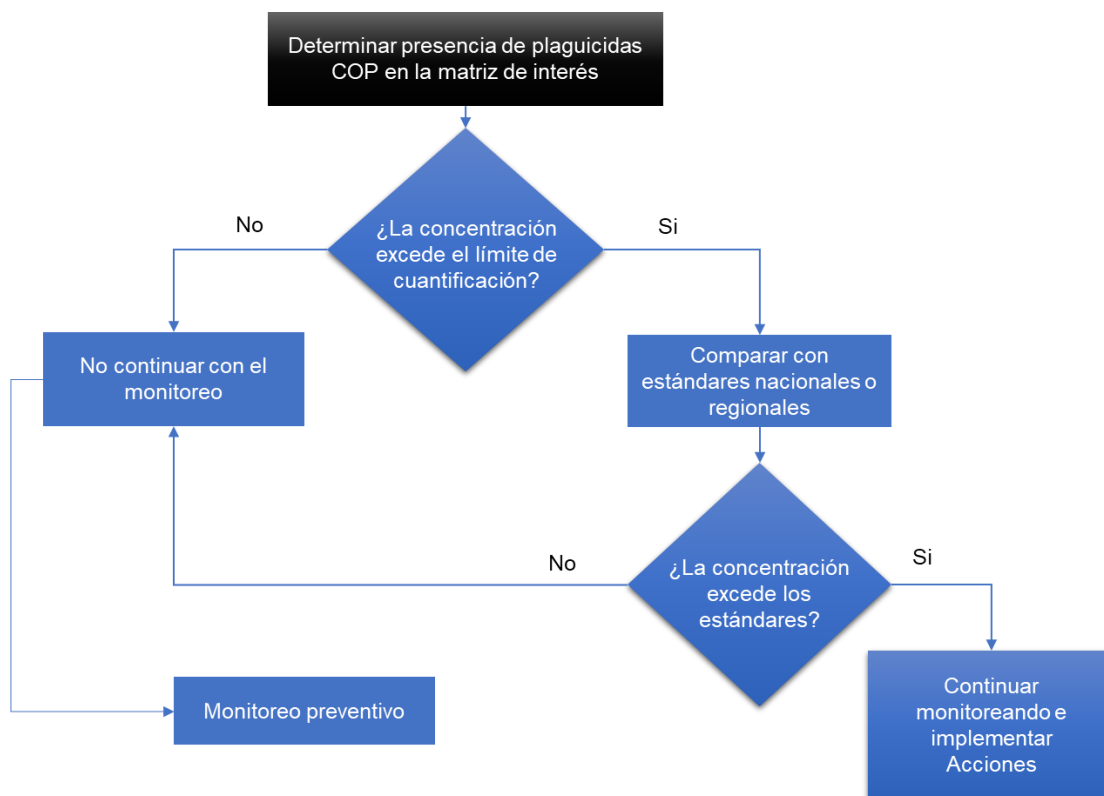
Si las concentraciones de los plaguicidas COP se encuentran por debajo del límite de cuantificación y no exceden los estándares, se sugiere no seguir monitoreando, sin embargo, es recomendable establecer monitoreos puntuales o preventivos para estos compuestos, con la finalidad de seguir confirmando su ausencia en la matriz ambiental (figura 8).

Es importante considerar que, para inferir y concluir sobre la presencia de los compuestos a nivel nacional, los sitios de monitoreo de aire y los lugares de toma de muestra de leche materna necesitarán cubrir el país o las zonas de interés nacional que no han sido estudiadas. Por lo anterior, el número de sitios que se seleccionen y su distribución deberán cumplir con este criterio.

Si se cuenta con información de otros parámetros se podría realizar inferencia en los resultados. En el caso de contar con información meteorológica se permitiría inferir de manera preliminar en la matriz de aire ambiente sobre transporte, variaciones estacionales o efectos por cambios de temperatura, entre otros.

Para leche materna la obtención de datos como edad y peso permitirá hacer inferencia preliminar sobre exposición o riesgos en la salud. Sin embargo, es importante mencionar que la obtención de estos parámetros no son una limitación para concluir sobre la presencia de los compuestos en las matrices monitoreadas.

Figura 8. Árbol de decisión.



Fuente: Elaboración propia

## *Paso 6. Criterios de funcionamiento o aceptación:*

A continuación, se presentan los criterios estadísticos de aceptación que deben cumplir los datos recopilados para minimizar la posibilidad de llegar a conclusiones erróneas. Las hipótesis que se proponen toman en consideración las reglas de decisión mencionadas en el paso 5.

- a) **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación.
- b) **Hipótesis alternativa (H<sub>a</sub>):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

Compuestos encontrados entre los niveles de LD y LC, pueden ser reportados como presentes, o, posiblemente presentes en una concentración estimada, pero a pesar de que el compuesto pudo ser detectado, el nivel de confianza es menor a 95% y la incertidumbre es superior a la aceptada (5 %).

Los límites de cuantificación que se utilizarán para el análisis estadístico se obtendrán del promedio de los valores por debajo de los límites de detección que se presentan en el repositorio de datos del PVM de la campaña de monitoreo 2017-2019.

Un ejemplo del criterio estadístico para decidir si se sigue muestreando **trans-Clordano** (= **gamma**) (**pg/m<sup>3</sup>**) en el sitio de monitoreo Quito es el siguiente:

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación.

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

En este caso se toma el nivel de significancia del 5%, por lo que el nivel de confianza es:

$$NC = 1 - 0.05 = 0.95, \text{ o sea } 95\%.$$

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z == \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV} \left( 0.95 + \frac{0.05}{2} \right) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera: (1.959964- 1.959964)

A continuación, se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para trans-clordano (= gamma) (pg/m<sup>3</sup>) en el sitio Quito.

$$\mu = 0.795504925 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 1.821054875 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 0.781720898 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Desviación estándar tipificada. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.781720898}{\sqrt{4}} = 0.391$$

b) Valor de Z tipificado. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{1.821054875 - 0.795504925}{0.391} = 2.624$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo se concluye que la Hipótesis nula es falsa, por lo que el Ho se anula, entonces se acepta el Ha.

d) Así que, la media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación entonces **se tiene que seguir midiendo** el trans-clordano en el sitio Quito.

### ***Límites de probabilidad***

Con base a la Guía del Plan de Vigilancia Mundial del 2021 se recomienda una potencia estadística del 80% con un nivel de significancia del 5%.

### ***Paso 7. Plan de obtención de datos:***

En el paso 7 se deberá presentar el plan para desarrollar el diseño de muestreo y cuantificación de los plaguicidas COP en aire y leche materna a lo largo del territorio ecuatoriano. El diseño tomará en consideración los criterios de aceptación y toda la información detallada en los pasos anteriores 1 a 6 del procedimiento Objetivos de Calidad de Datos, así como las prácticas adecuadas de control y aseguramiento de calidad que se propondrán en el Plan de Aseguramiento de Calidad.

Para diseñar el plan de muestreo se recomiendan utilizar la Guía de la EPA “*Guidance for Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection (EPA QA/G-5S)*” que contiene información detallada de seis diseños de muestreo y protocolos para la obtención de los de datos medioambientales y la a Guía “*EPA’s Data Quality Assessment: Statistical Tools for Practitioners (EPA QA/G-9S)*” que se utiliza para calcular tamaños de muestras, así como otros parámetros estadísticos.

El diseño del plan de muestreo generará la siguiente información:

- Número de muestras
- Tipo de muestras (compuestas o simples)
- Tipo de muestreo (pasivo o activo)
- Características físicas de la muestra (cantidad de muestra)
- Soporte de la muestra (superficie o cantidad que representa)
- Ubicación
- Calendario de muestreo, análisis
- Métodos analíticos
- Plan de muestreo estadístico

El siguiente componente incluye una propuesta de características para el diseño del plan de muestreo de presencia de plaguicidas COP en Ecuador de acuerdo con la información analizada.

## COMPONENTE 3. CARACTERÍSTICAS DEL PLAN DE MONITOREO (DISEÑO PRELIMINAR)

### a) Parámetros ambientales.

#### *Matrices:*

Es recomendable que el programa de monitoreo en una primera fase se oriente a la cuantificación de los plaguicidas COP en las siguientes dos matrices:

- a) Aire
- b) Leche Materna

#### *Compuestos:*

De la comparación de los datos de monitoreo reportados y detectados por arriba de los límites de detección en las bases de datos de los proyectos GEF y el programa global GAPS durante los periodos del 2009-2011 y 2017-2019 (Tabla 1), se recomienda que el programa de monitoreo de plaguicidas se oriente en una primera fase a los siguientes plaguicidas COP para la matriz aire, dichos compuestos se detectaron en ambos periodos y en algunos casos solo en el último periodo:

- |               |         |
|---------------|---------|
| 1) Aldrin     | 6) HCH  |
| 2) Clordano   | 7) HCB  |
| 3) Dieldrin   | 8) PeCB |
| 4) DDT        | 9) PFOS |
| 5) Endosulfán |         |

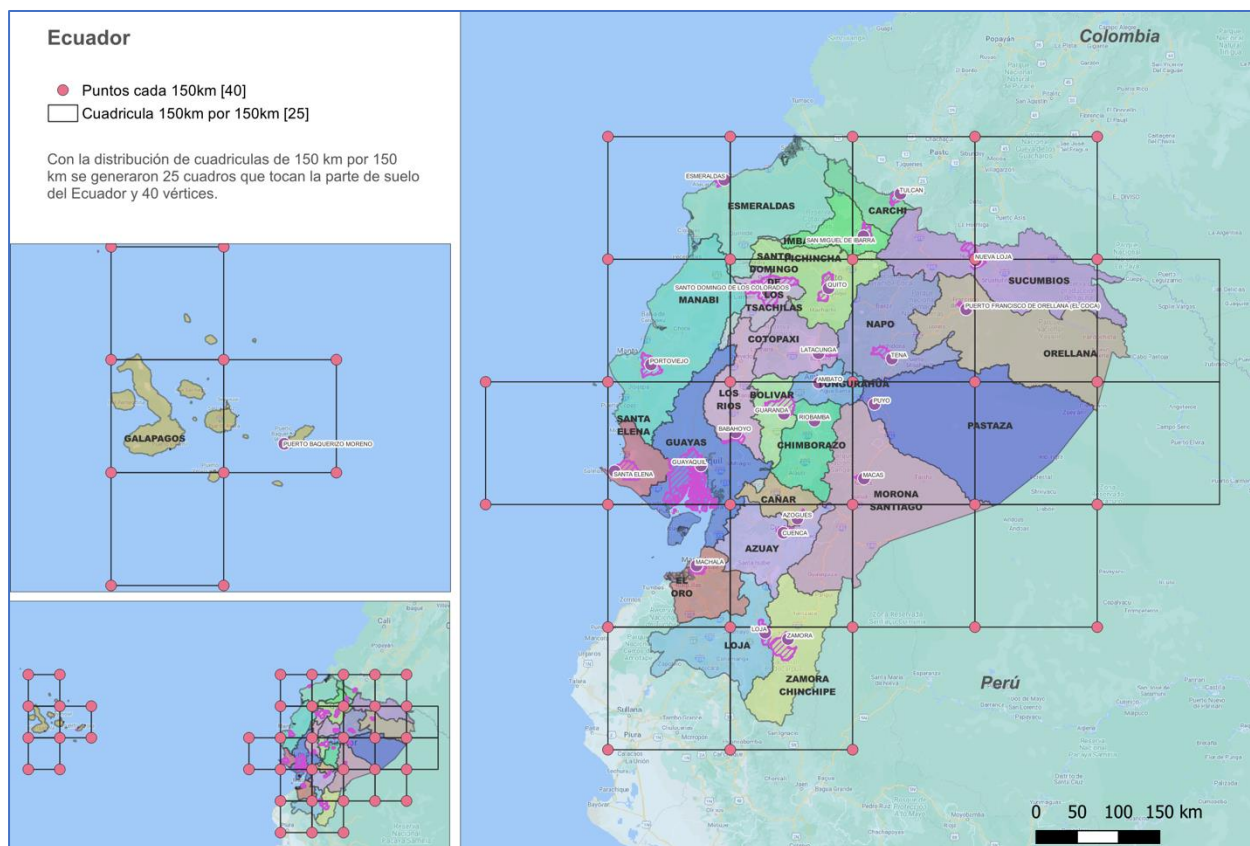
Para el caso de leche materna se recomienda continuar con el monitoreo de los plaguicidas COP identificados con presencia durante el 2019.

- |             |        |
|-------------|--------|
| 1) Clordano | 4) HCH |
| 2) Dieldrin | 5) HCB |
| 3) DDT      |        |





Figura 10. Cuadrícula de 150 km<sup>2</sup> con referencia al territorio de Ecuador



A continuación se presenta un ejercicio de ajuste de retícula para ambos escenarios, 100 y 150 km<sup>2</sup>. Al eliminar aquellos puntos que cayeron fuera del país mostrados en la figura 9 (rejillas de 100 m<sup>2</sup>) y figura 10 (rejillas de 150 m<sup>2</sup>), se obtienen, respectivamente, 30 y 16 puntos para posibles sitios de muestreo. Las pruebas estadísticas se realizaron aplicando la fórmula de cálculo de tamaño de muestra:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * P * Q}{e^2 * (n - 1) + Z_{\alpha}^2 * P * Q}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra (es decir, número de sitios a monitorear)

N = Tamaño de población (es decir, número de sitios obtenidos de las rejillas)

z = Parámetro estadístico que depende del Nivel de Confianza

e = Margen de error

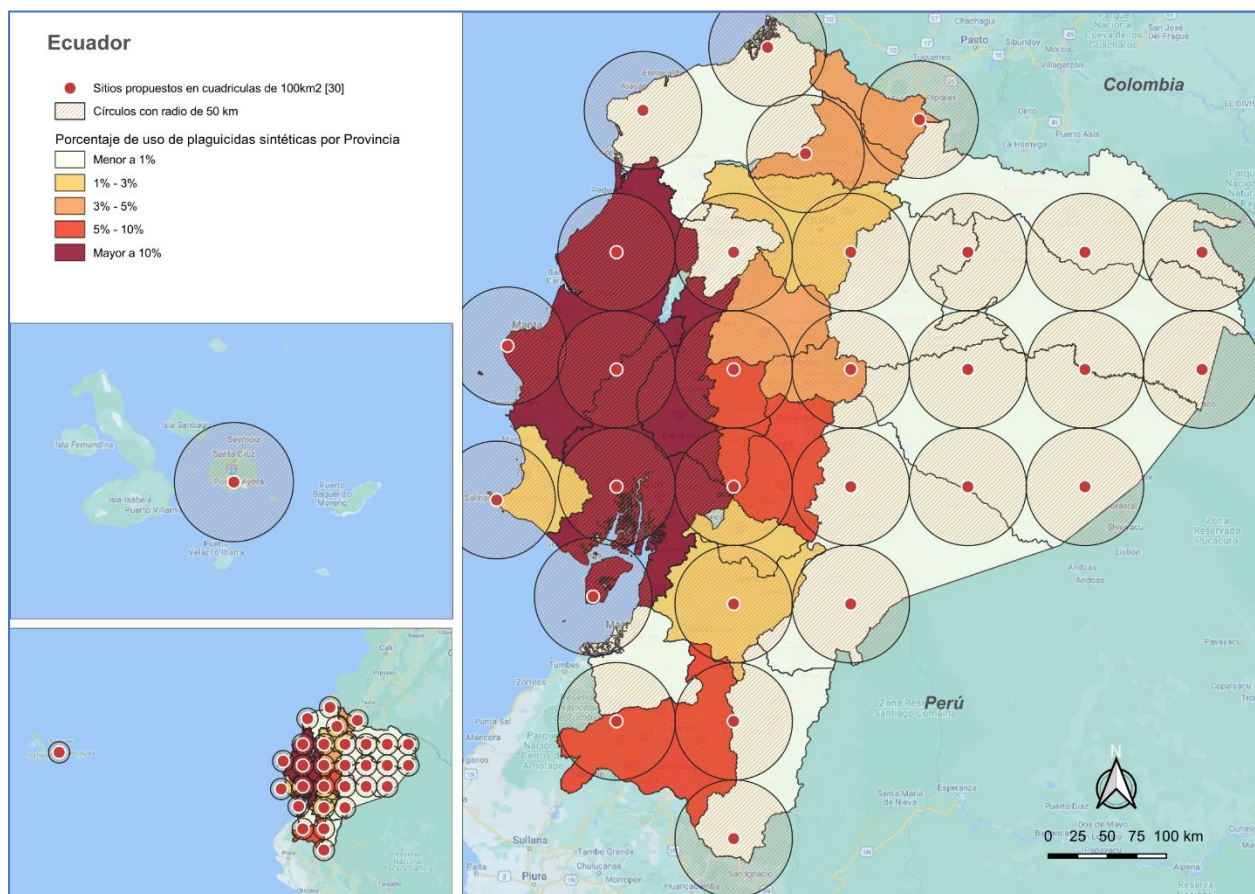
p = Probabilidad de que ocurra el evento (es decir, que exista presencia de COP)

q = (1-p) probabilidad de que no ocurra el evento.

Se presentan los siguientes resultados:

- a) Como se observa en el mapa de la Figura 11, se tienen 30 puntos posibles para ubicar los sitios de monitoreo dentro de las retículas de 100 m<sup>2</sup>. Al aplicar la estadística con un margen de error del 5%, un nivel de confianza del 95%, y con la probabilidad de que haya presencia de COP en 50% (es decir,  $p = 0.5$ ), se infiere que se debe monitorear en 29 sitios en todo el país.

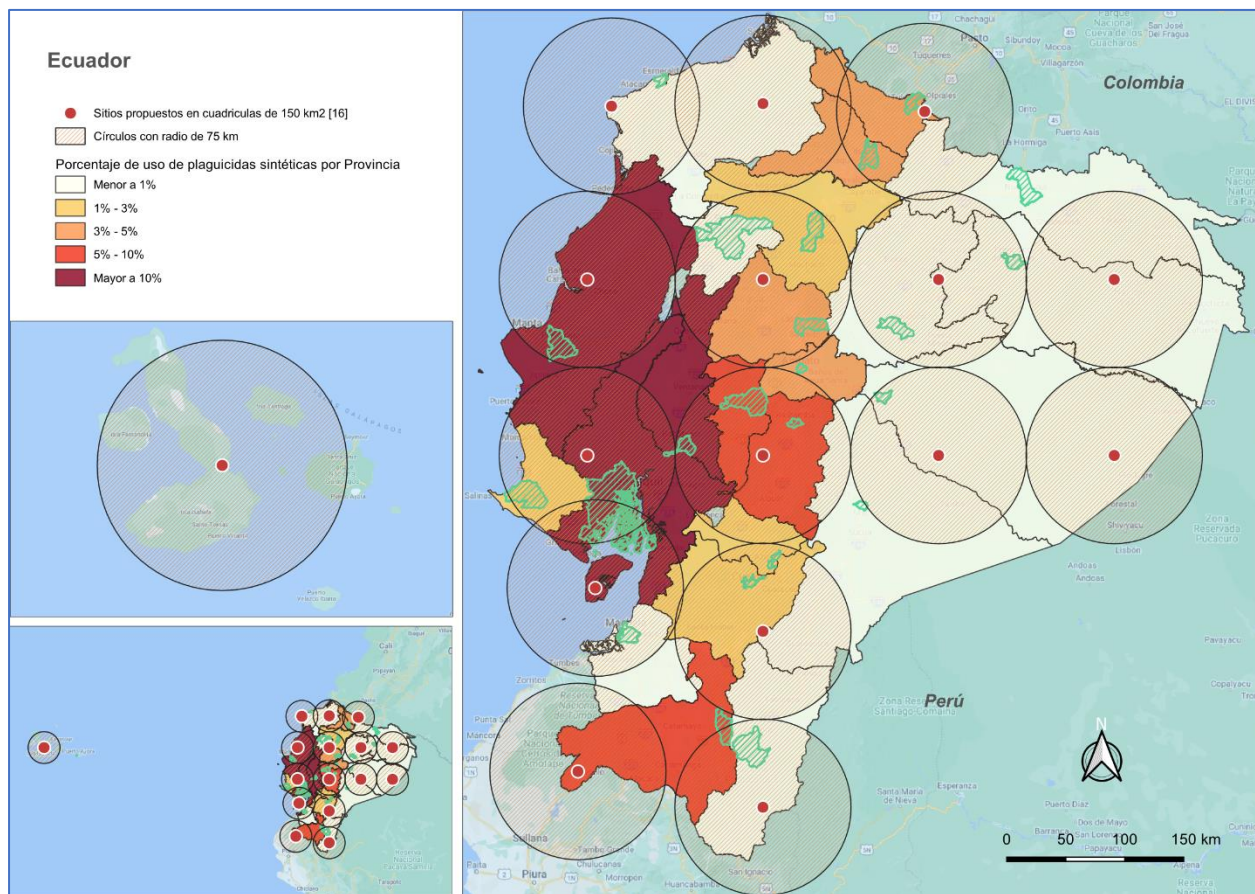
Figura 11. Sitios para muestreo en una cuadrícula de 100 km<sup>2</sup> con referencia al territorio de Ecuador



- b) Al considerar la cuadrícula de 150 m<sup>2</sup> indicada en el mapa de la Figura 12, se observa que se tienen 16 sitios posibles para monitoreo. Al aplicar la estadística con un margen de error del 5%, un nivel de confianza del 95%, y con la probabilidad de que haya presencia de COP en 50% (es decir,  $p = 0.5$ ), se infiere que se debe monitorear en los 16 sitios para que sea representativo en todo el país.



Figura 12. Sitios para muestreo en una cuadrícula de 150 km<sup>2</sup> con referencia al territorio de Ecuador



La selección del tamaño de retícula dependerá de la precisión que se requiera alcanzar y del presupuesto con que se cuenta para implementar el estudio.

En el caso de leche materna, si el país cuenta con suficientes recursos se podrían realizar muestreos siguiendo el protocolo de WHO/UNEP que se ha manejado dentro del Convenio de Estocolmo en las regiones donde no se cuenta con información. O participar en el siguiente estudio de la OMS que se lleve a cabo bajo el PVM del CE.

### c) Determinación de tiempos de muestreo

#### *Duración del programa:*

Con base en el objetivo establecido se recomienda que la duración del programa en su primera etapa de monitoreo sea entre 1 a 2 años. Con la información generada en estos años, seleccionar los sitios para monitoreo a largo plazo.

### ***Frecuencia de muestreo:***

La frecuencia de muestreo se define en función de la metodología seleccionada, la cual dependerá de la capacidad analítica disponible. Si se utiliza espuma de poliuretano (PUF) la frecuencia de muestreo debe ser cada tres meses, para un total de 4 muestreos en un año.

### ***Tiempo de muestreo:***

El tiempo de muestreo también está en función de la metodología seleccionada. Para la aplicación de PUF la exposición debe ser por tres meses.

## **d) Selección de metodologías**

### ***Metodología de muestreo:***

La selección de la metodología de muestreo estará en función del presupuesto. Existen dos opciones, muestreo pasivo y activo. El muestreo pasivo incluye el uso de espumas de poliuretano (PUF) o de resinas XAD (copolímero hidrofóbico de estireno divinil benceno). Para el muestreo activo se requiere una mayor cantidad de recursos y se usa con mayor frecuencia para regular.

Para el sitio de referencia se podría utilizar un año completo de muestreo pasivo con resinas XAD, siempre y cuando se corrieran muestras espejo en otro(s) sitio(s) con PUF para poder realizar correlaciones entre ambos tipos de muestreo. Para el resto de los sitios se recomienda un muestreo pasivo trimestral con PUF.

### ***Técnicas analíticas:***

Las técnicas analíticas propuestas para la cuantificación de los compuestos de interés se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Técnicas analíticas

PARÁMETRO	TÉCNICA
Plaguicidas organoclorados	GC/ECD
Clorobenceno	GC/MS
Sulfuramida	LC/MS-MS

GC/MS = Cromatografía de gases / espectrometría de masas

LC/MS-MS = Cromatografía de líquidos / espectrometría de masas-masas

GC/ECD = Cromatografía de gases / detector de captura de electrones

### *Costos preliminares de un programa de monitoreo de plaguicidas clorados para el Ecuador*

Costos monitor activo de partículas con filtros PUF de 12,520 USD (HiVol de PM<sub>10</sub>) a 13,120 USD (PM<sub>2,5</sub>)

Los costos de un monitoreo pasivo son mucho más bajos que los de un monitoreo activo, el análisis de laboratorio es el componente que cuesta más de este proceso, dado que las resinas XAD y PUF son muy económicas.

Tabla 4. Costo análisis de laboratorio de plaguicidas COP por muestra

Técnica analítica		Precio unitario en US dólares*
Plaguicidas organoclorados	Método EPA 8081B CG/ECD**	250
Clorobenceno	Método EPA 8260B VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS BY GAS CHROMATOGRAPHY/ MASS SPECTROMETRY (GC/MS)	250
Sulfuramida	Método 537 Determinación de ácido de alquil perfluorinados ácidos por extracción en fase sólida y LC/MS/MS***	400

\*Confirmar costos con laboratorios ecuatorianos

\*\*cromatografía de gases con detector de captura de electrones

\*\*\* Cromatografía de líquidos con espectrometría de masas-masas

Tabla 5. El costo total para 10 sitios es de aproximadamente:

	Técnica analítica	Precio unitario en US dólares*	Número de sitios	Número de muestras	Costo total
Plaguicidas organoclorados	Método EPA 8081B CG/ECD**	250	10	40	10,000
Clorobenceno	Método EPA 8260B***	250	10	40	10,000
Sulfloramida	Método 537 Determinación de ácido de alquil perfluorinados ácidos por extracción en fase sólida y LC/MS/MS***	400	10	40	16,000
				Subtotal	36,000
		Costo por Equipo	13,200	<b>10 equipos</b>	132,000
				TOTAL	168,000

\*Los costos de muestreo podrán formar parte de los costos operativos de MAATE

\*\*Método EPA 8081B. Determinación de plaguicidas organoclorados por cromatografía de gases.

Este método se puede utilizar para determinar las concentraciones de varios plaguicidas organoclorados en extractos de matrices sólidas y líquidas, utilizando columnas capilares tubulares abiertas de sílice fundida con detectores de captura de electrones (ECD) o detectores de conductividad electrolítica (ELCD).

Compuesto:

- 1) Aldrin
- 2)  $\alpha$ -BHC
- 3)  $\beta$ -BHC
- 4)  $\gamma$ -BHC (Lindano)
- 5)  $\delta$ -BHC
- 6) *cis*-Clordano

- 7) *trans*-Clordano
- 8) Clordano
- 9) Clorobecilato
- 10) 1,2-Dibromo-3-cloropropano (DBCP)
- 11) 4,4'-DDD
- 12) 4,4'-DDE
- 13) 4,4'-DDT
- 14) Dialato
- 15) Dieldrín
- 16) Endosulfán I
- 17) Endosulfán II
- 18) Endosulfán sulfato
- 19) Endrín
- 20) Endrin aldehido
- 21) Endrin cetona
- 22) Heptacloro
- 23) Heptacloro epoxido
- 24) Hexaclorobenceno
- 25) Hexaclorociclopentadieno
- 26) Isodrin
- 27) Metoxycloro
- 28) Toxafeno
- 29) Dicofol
- 30) Mirex

\*\*\*Método EPA 8260B Determinación de compuestos orgánicos volátiles por cromatografía de gases /espectrometría de masas (GC/MS)

\*\*\*\*Método EPA 537 Determinación de ácido de alquil perfluorinados ácidos por extracción en fase sólida y LC/MS/MS



---

## COMPONENTE 4. PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.

Para asegurar la calidad de los datos generados en el programa de monitoreo, es indispensable la elaboración de un plan de control y aseguramiento de calidad (QA/QC) que defina los lineamientos a seguir para que las desviaciones o los errores de diseño y medición del muestreo se manejen, atiendan o corrijan adecuadamente y se cumpla con el desempeño o criterios de aceptación especificados en los objetivos de calidad de datos, previamente establecidos.

También se debe garantizar que las metodologías empleadas sean la mismas y que se tengan protocolos estandarizados en cada sitio, por ejemplo, deben georreferenciarse y estar acompañados con registros fotográficos para ubicar con precisión cada sitio.

En el diseño del plan de muestreo, se debe considerar la prevalencia de las condiciones en la ubicación de estaciones, la completud de las mediciones, el uso de blancos de campo y de laboratorio, y duplicados de muestras, entre otros, para garantizar la calidad de las mediciones en la implementación del programa.

El plan de aseguramiento de calidad será desarrollado con detalle en una etapa posterior.

---

## COMPONENTE 5. RESPONSABLES

Es recomendable que el programa de monitoreo se establezca y diseñe con el acompañamiento de representantes de Instituciones Públicas que se encuentren involucrados con el tema del Convenio de Estocolmo. A continuación, se proponen algunas instituciones:

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE), ya que es responsable de verificar el monitoreo de la calidad del aire, el agua y el suelo en todo el país.

- La Subsecretaría de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), por ser punto focal del Convenio de Estocolmo y responsable de la actualización del PNA.
- Ministerio de Salud Pública (MSP).
- Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI)
- MAG-AGROCALIDAD.- La Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario – AGROCALIDAD es la encargada de la regulación y control de la sanidad del sector agropecuario y la inocuidad de los alimentos en la producción primaria, impulsando la productividad y competitividad para el desarrollo del sector y mejorar la calidad de vida de los productores agropecuarios mediante la implementación de planes, programas y proyectos de sanidad y bienestar animal, sanidad vegetal y la inocuidad de los alimentos con el fin de garantizar la calidad e inocuidad de la producción agropecuaria del país.

## REFERENCIAS

---

Banco Mundial, 2023.

<https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?locations=EC>.

BCCC-SCRC-AMBIENS, 2023. Elementos para el diseño del Programa de Monitoreo Ecuatoriano de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) incluidos en el Convenio de Estocolmo.

CE, 2019. Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP). Texto y Anexos. ONU Programa para el Medio Ambiente. Revisado en 2019.

EPA QA/G-4, 2006. Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objectives Process. U.S. EPA.

MAATE (2022). Actualización del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de la República del Ecuador.

Martínez Bolívar Ana Patricia y Manuweera Gamini, 2023. Roadmap for the Design of National POPs Monitoring Programs. Basel Convention Coordinating Centre, Stockholm Convention Regional Centre, for Latin America and the Caribbean (BCCC-SCRC).

PNUMA. 2010. Eliminando los COP del mundo: guía del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes. Secretaria del Convenio de Estocolmo / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Ginebra, Suiza.

UN Environment, 2017. The 16 New POPs. An introduction to the chemicals added to the Stockholm Convention as Persistent Organic Pollutants by the Conference of the Parties. Stockholm Convention Secretariat. Ginebra, Suiza.

## ANEXOS

### ANEXO 1. GRÁFICAS DE CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS COP EN AIRE Y LECHE MATERNA

Gráficas generadas con información del repositorio de datos de PVM. (<https://data.pops-gmp.org/2020/>) y de las bases de datos desarrollados en Excel.

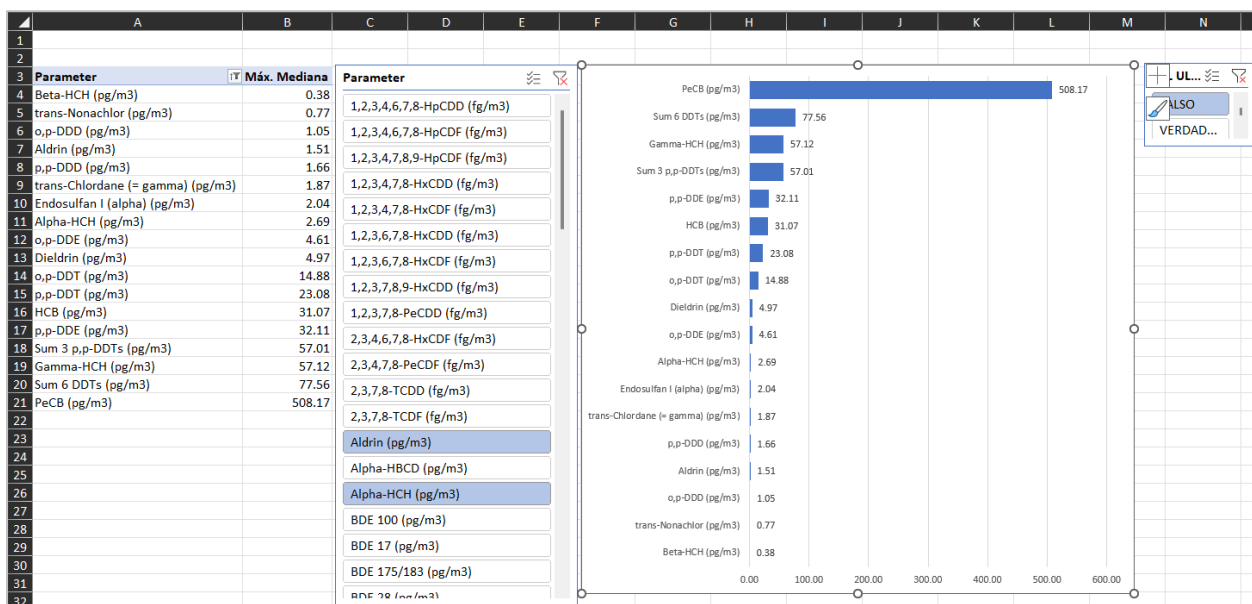
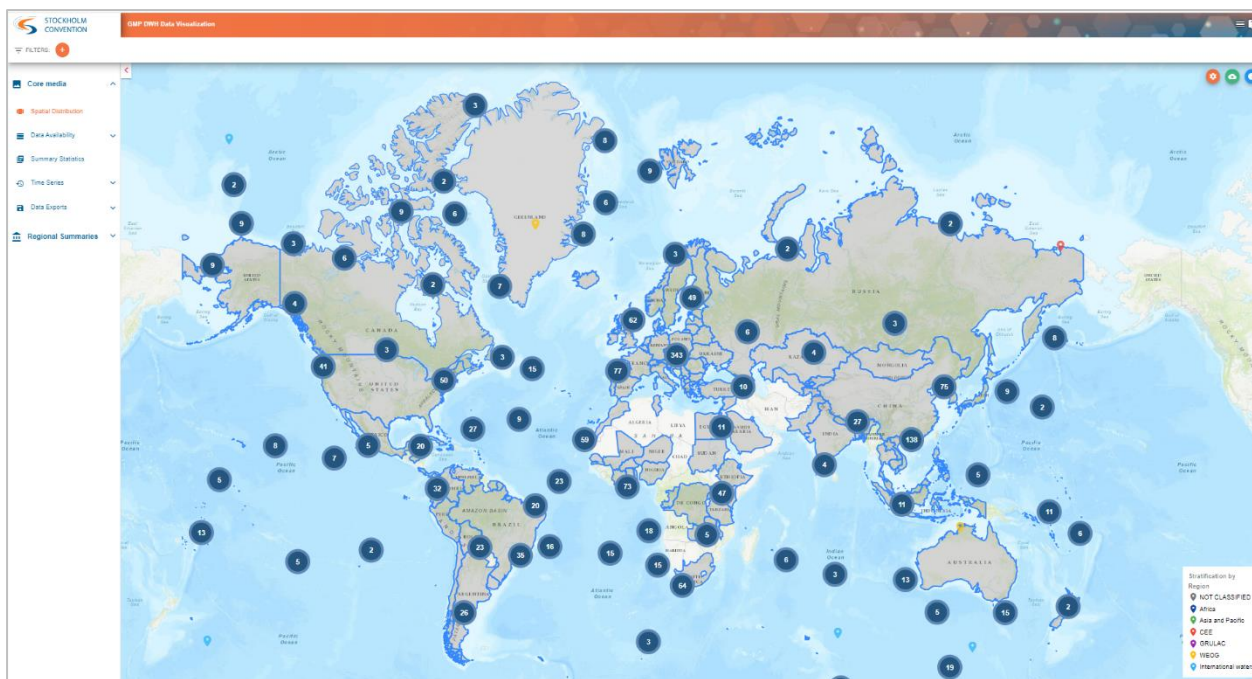


Figura 1A. Comparación regional (GRULAC) de Suma 6 DDTs en leche materna

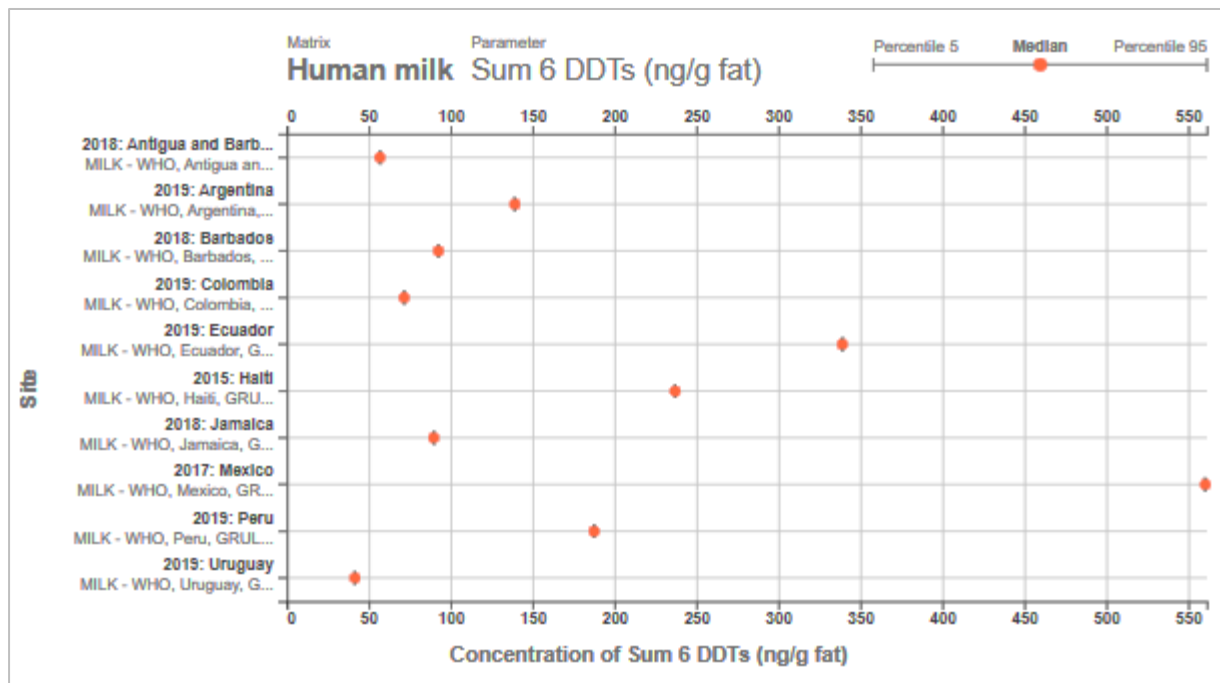


Figura 2A. Comparación regional (GRULAC) de p,p-DDD en leche materna

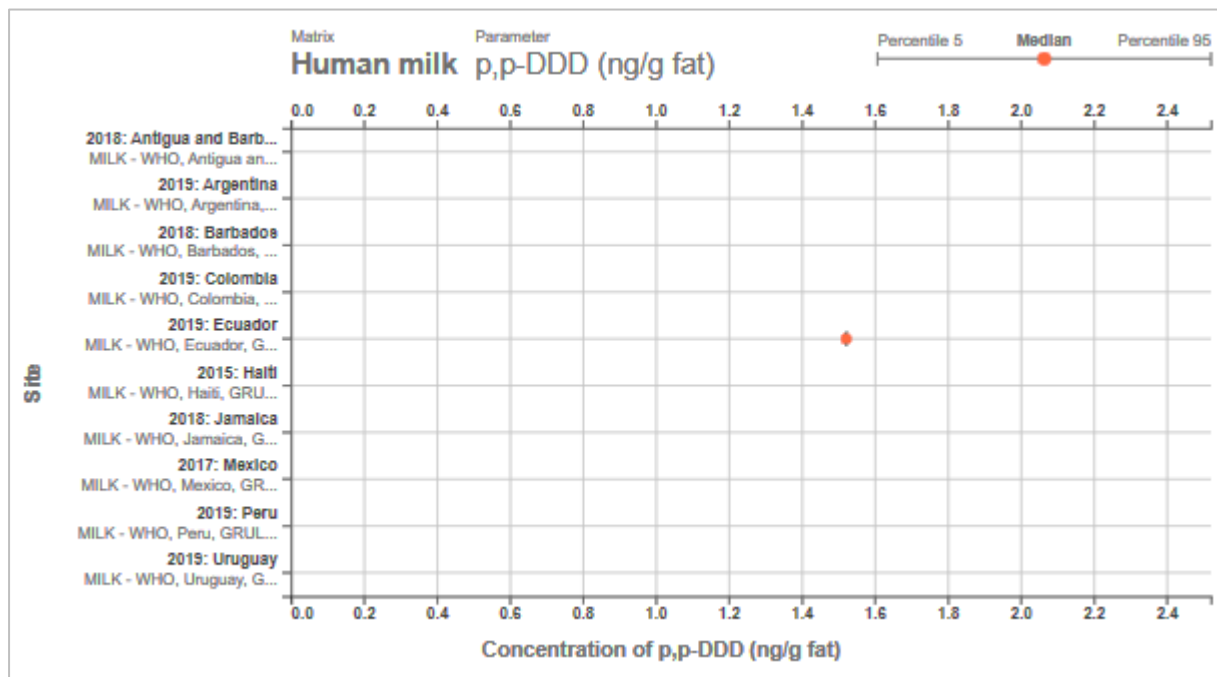


Figura 3A. Presencia de Plaguicidas Organoclorados en leche materna.

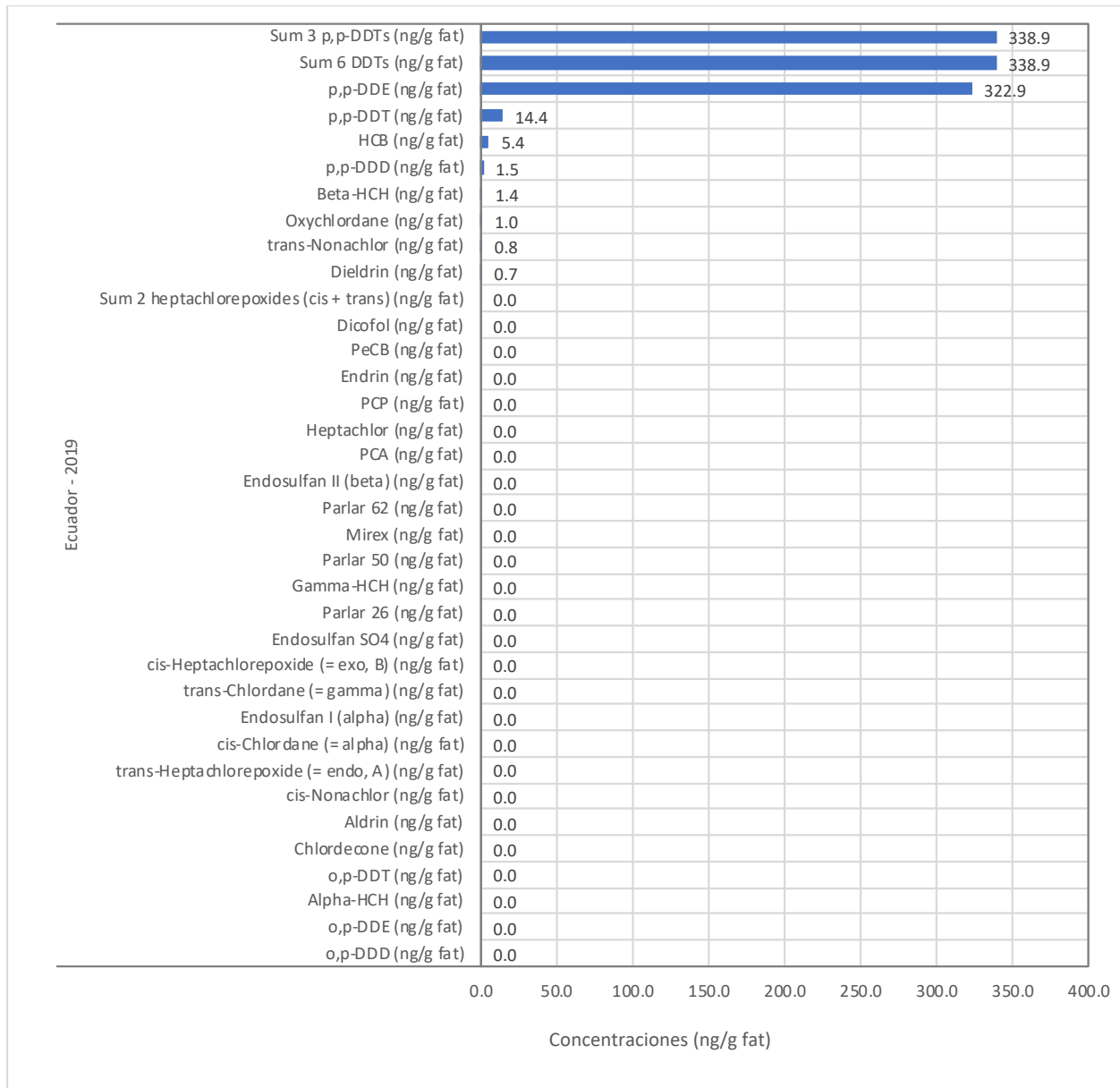


Figura 4A. Comparación regional (GRULAC) de Gama-HCH en aire

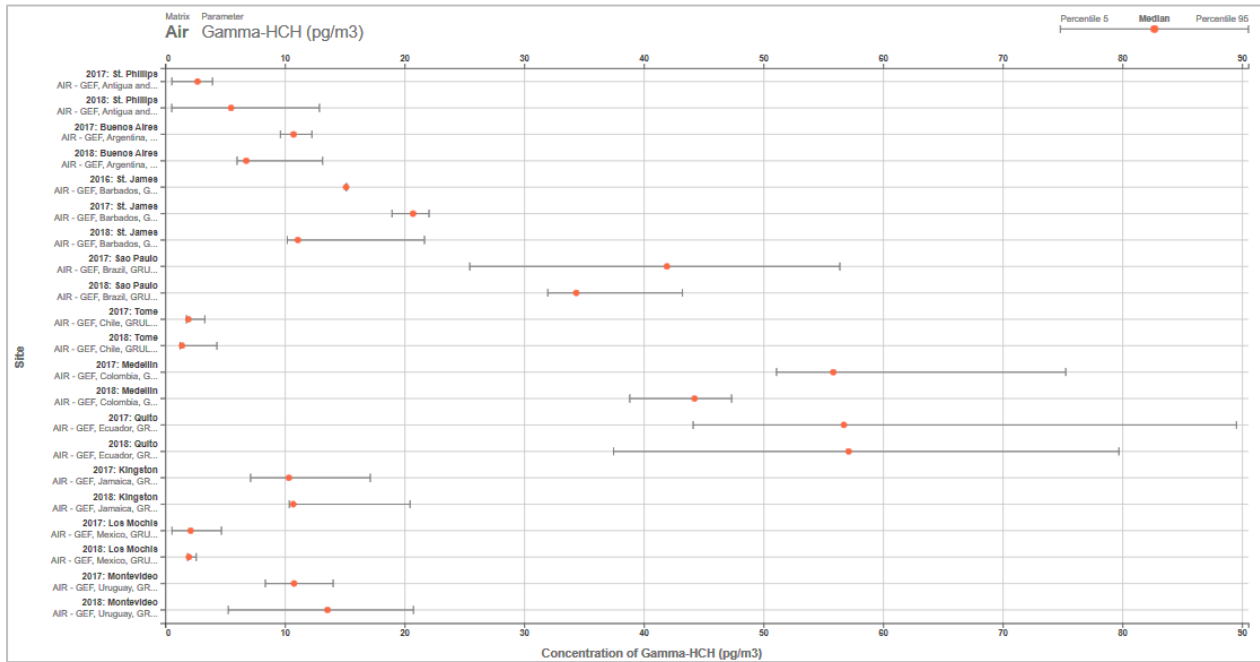


Figura 5A. Comparación regional (GRULAC) de PeCB en aire.

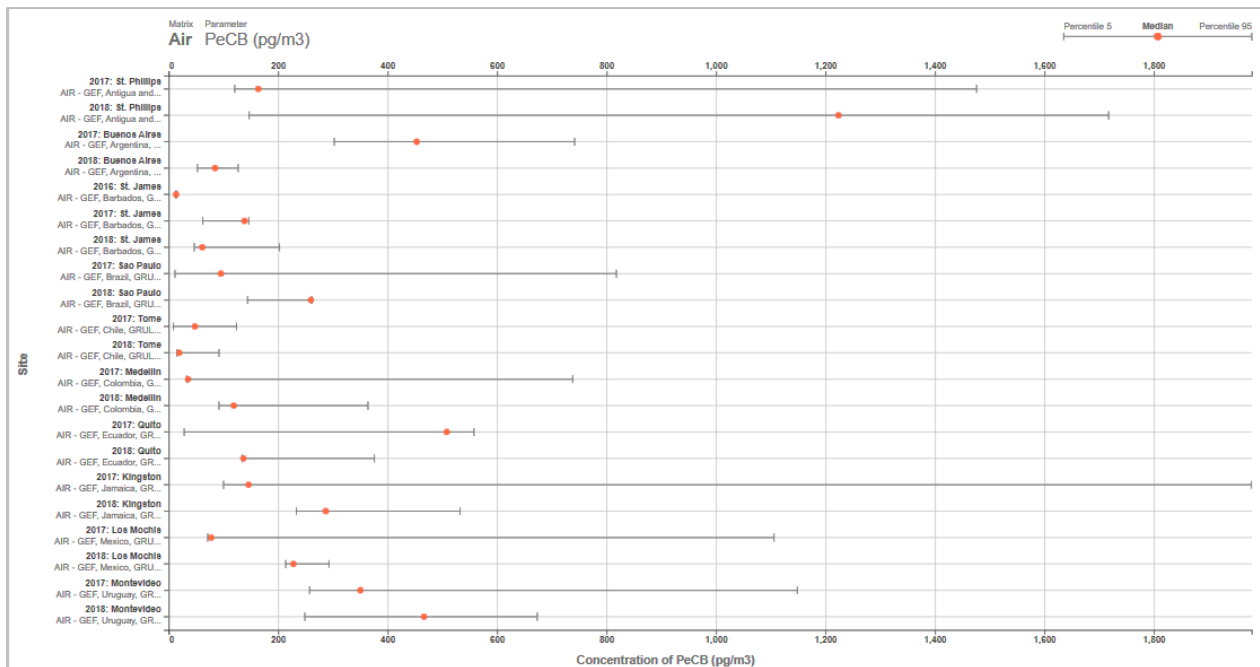




Figura 6A. Comparación regional (GRULAC) de HCB en aire.

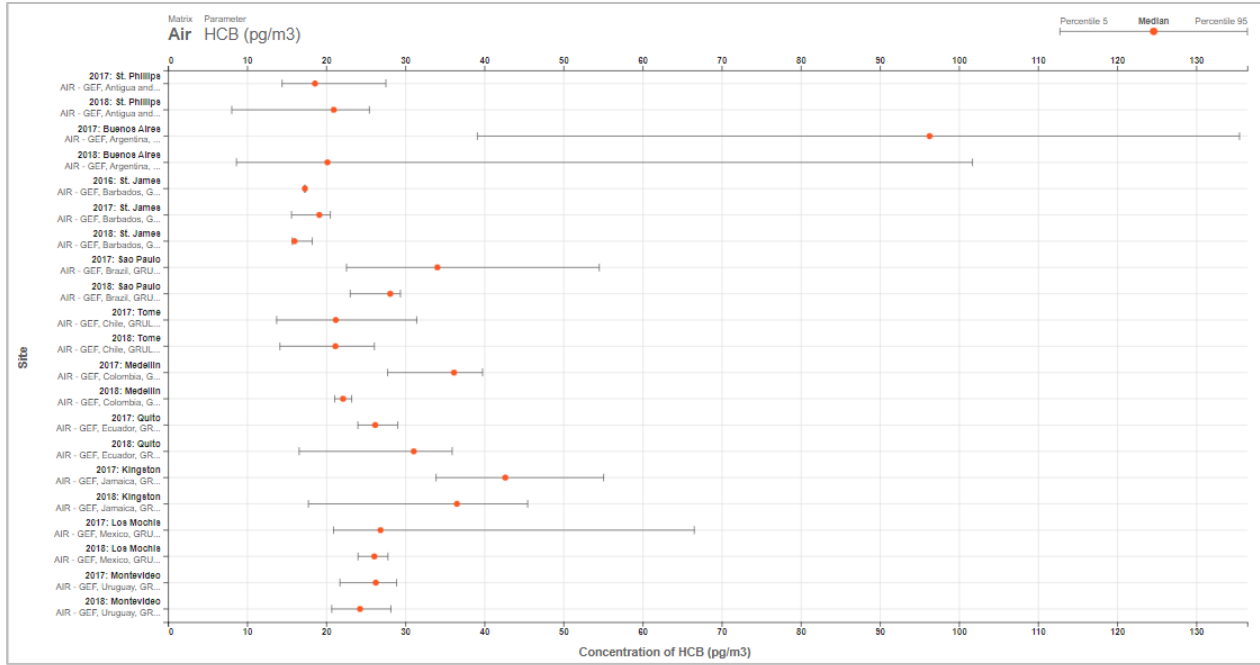


Figura 7A. Comparación regional (GRULAC) de p,p-DDT en aire.

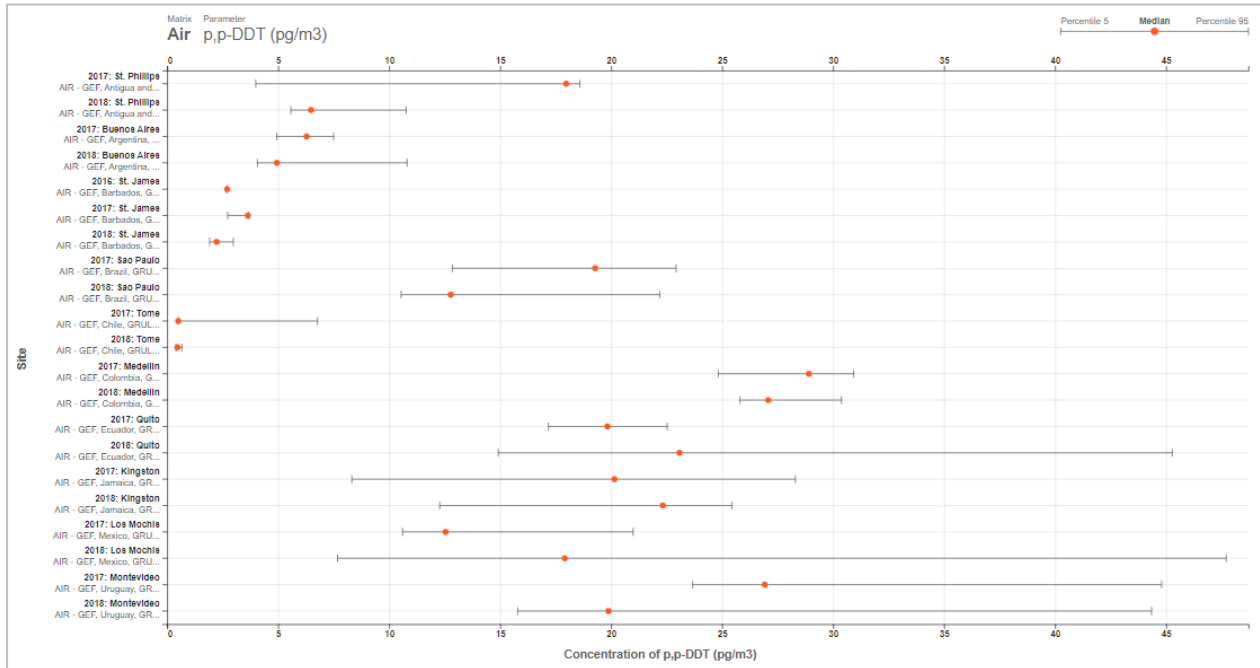


Figura 7A. Comparación regional (GRULAC) de o,p-DDT en aire.

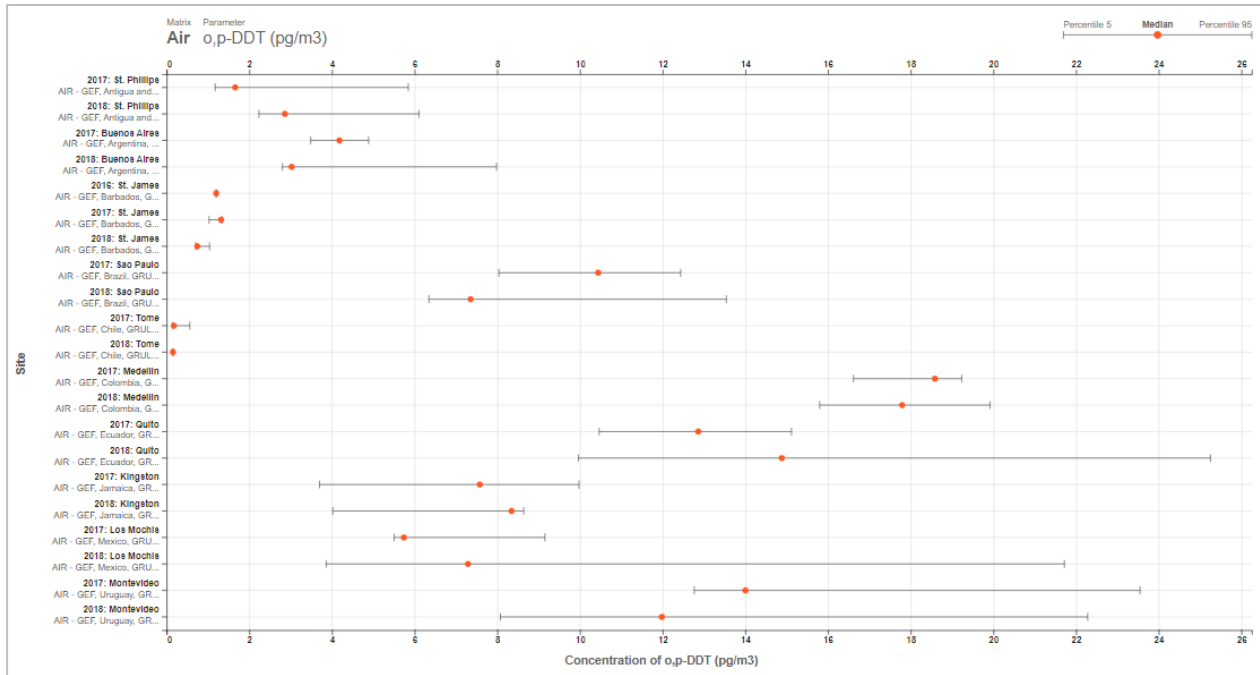


Figura 8A. Presencia de p,p-DDE en aire en los años 2017 y 2018.

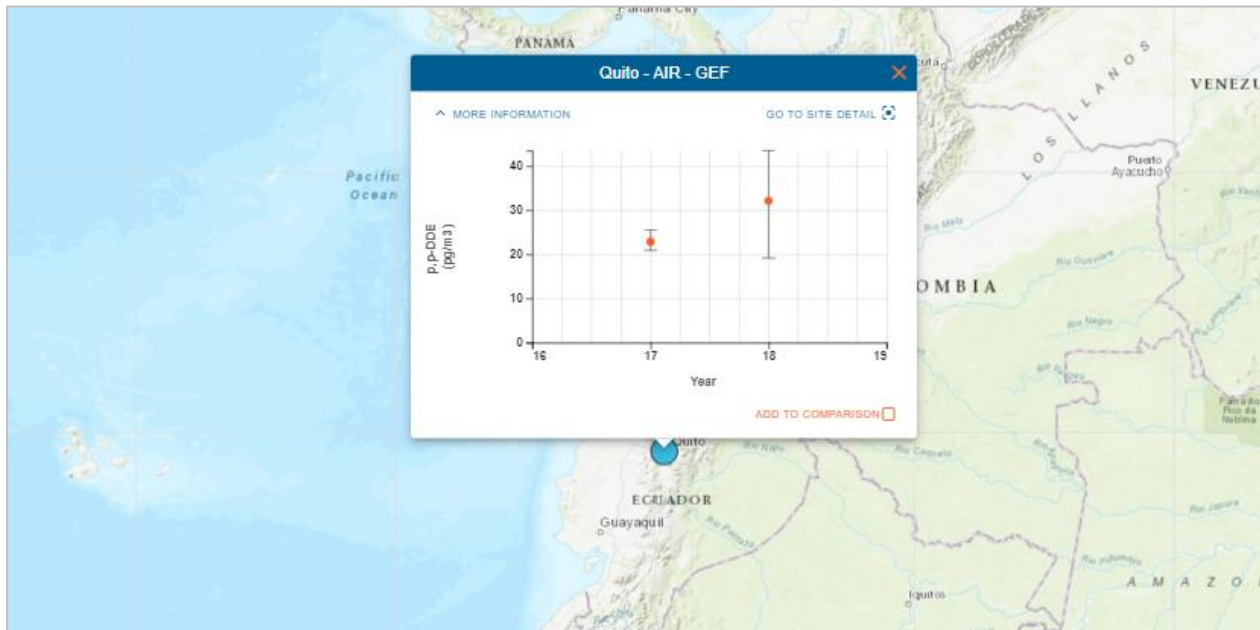


Figura 9A. Presencia de Plaguicidas COP en aire (2009-2011) por arriba del límite de cuantificación

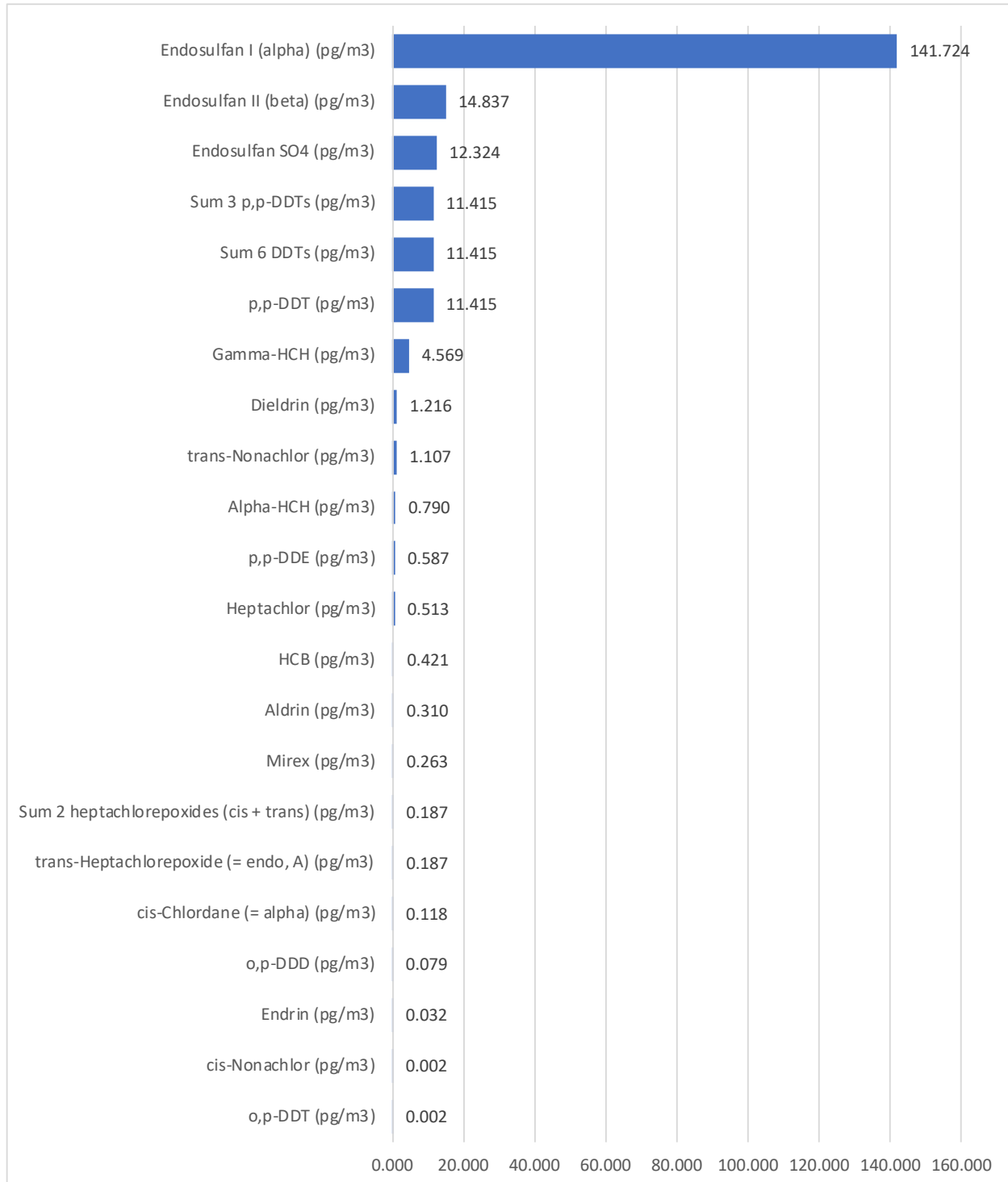
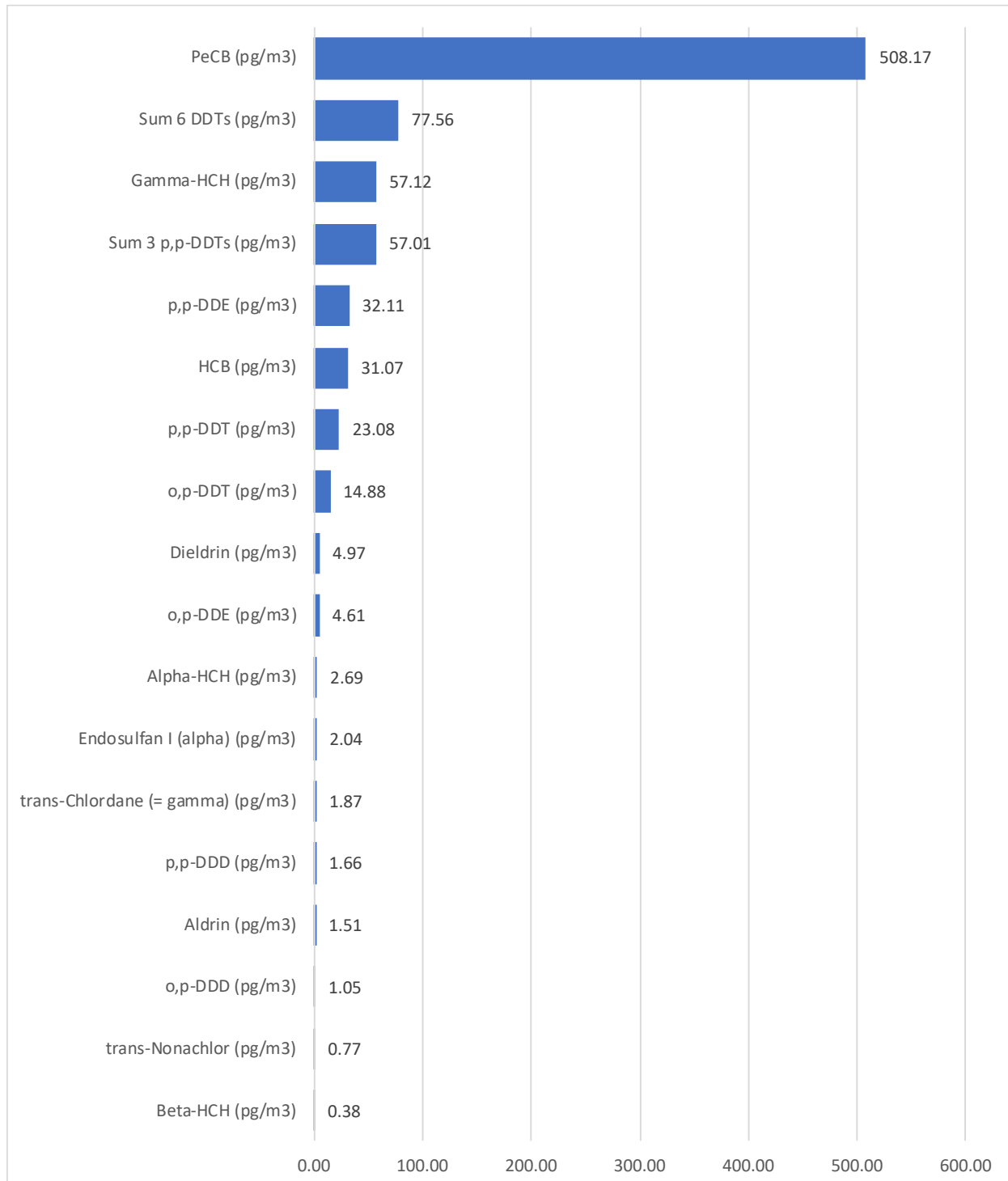
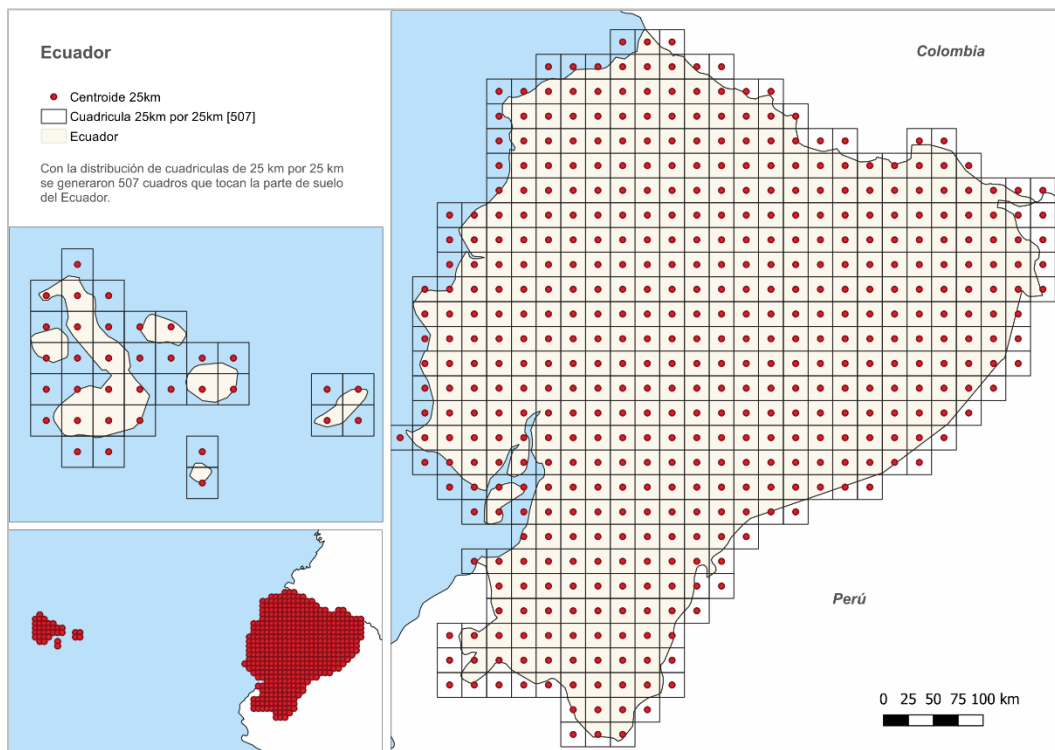
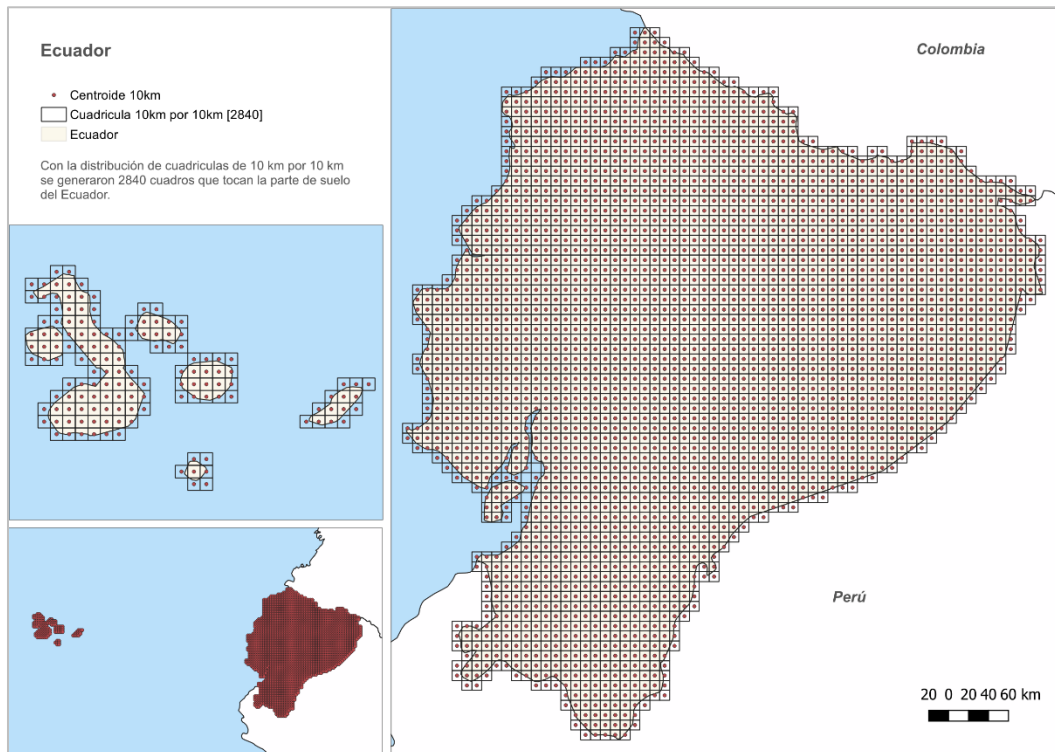
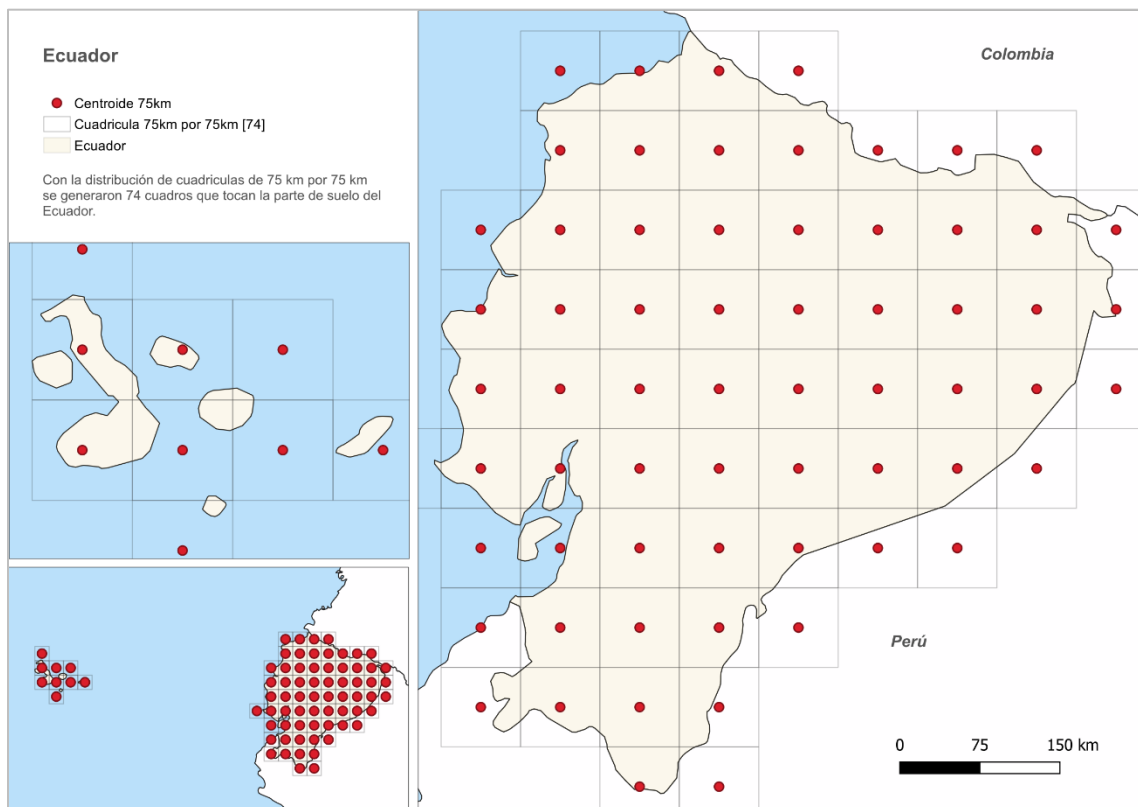
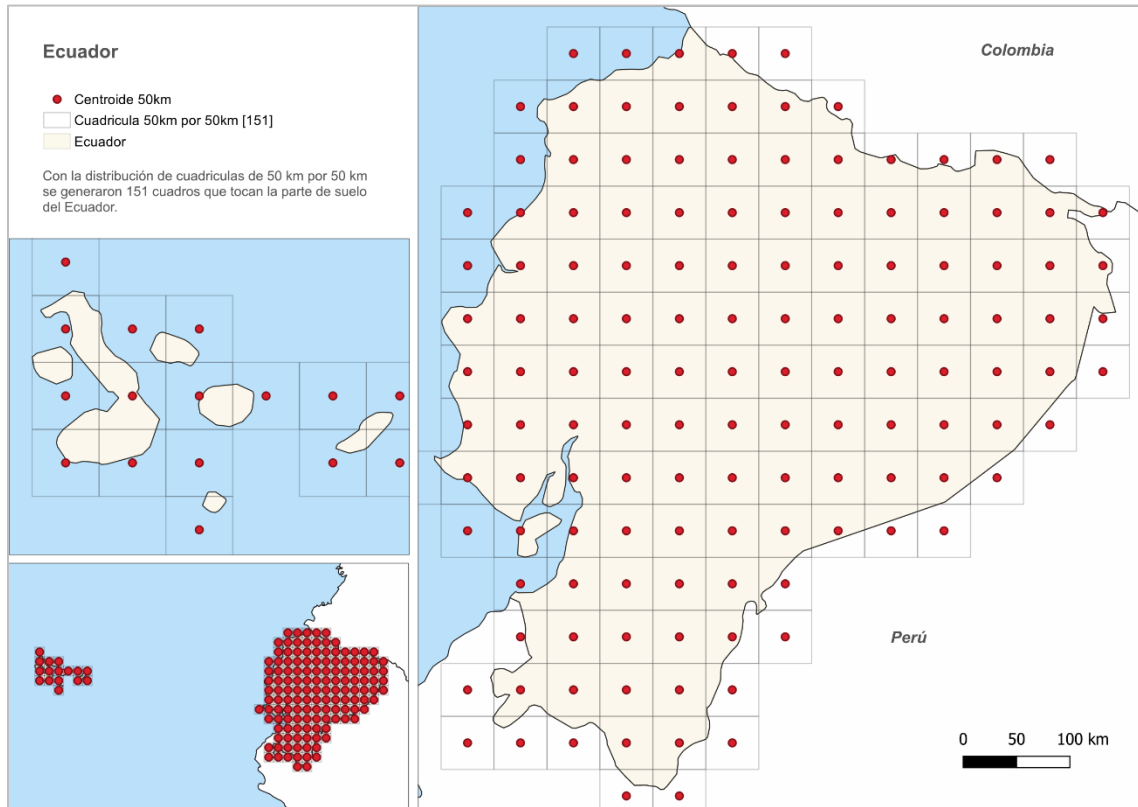


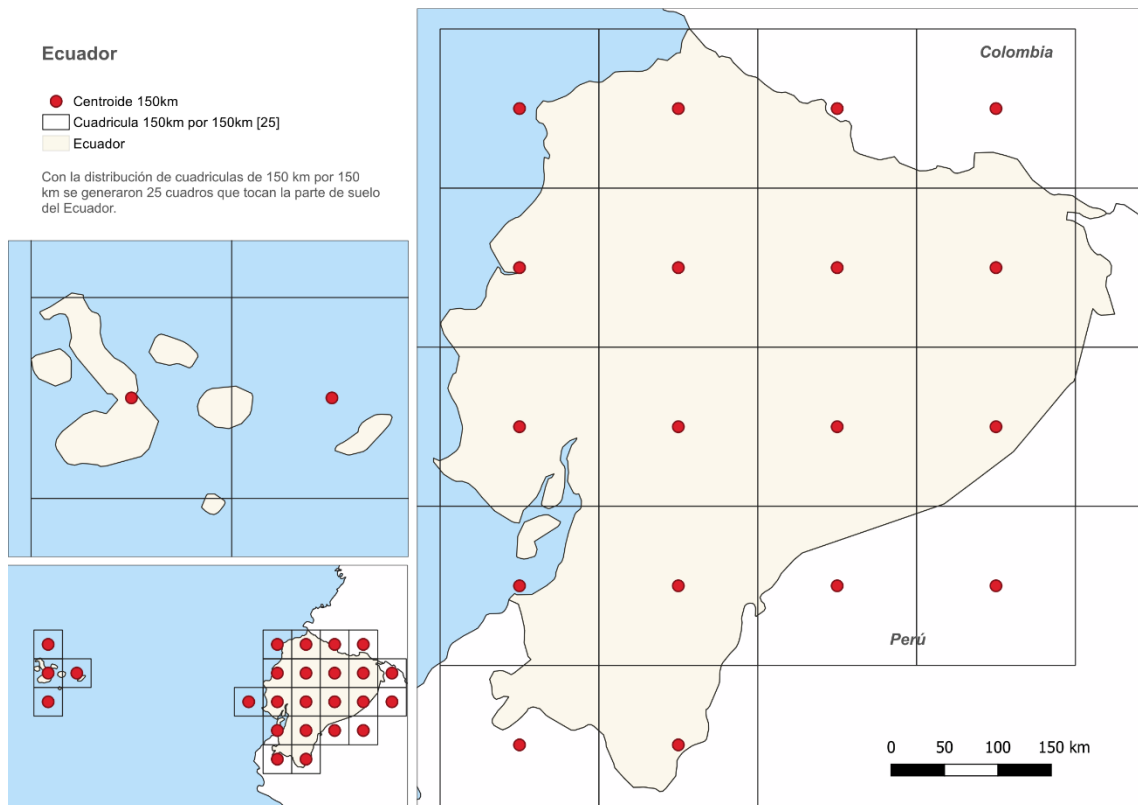
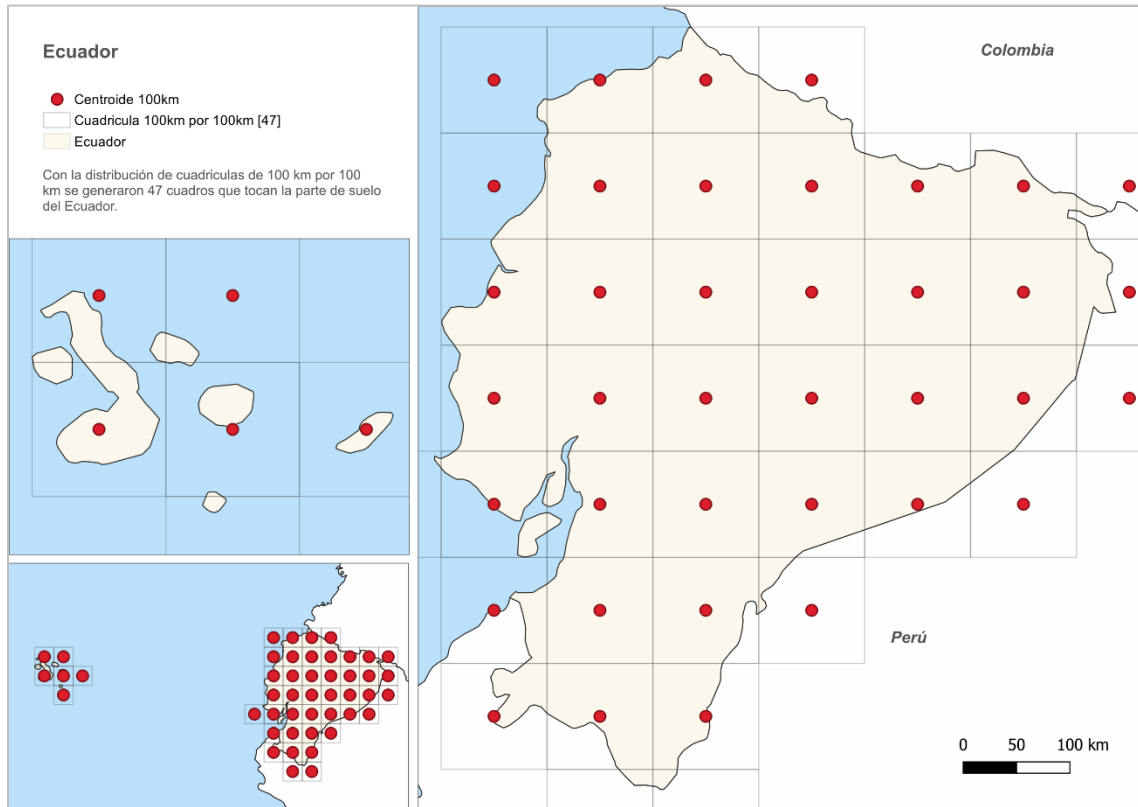
Figura 10A. Presencia de Plaguicidas COP en aire (2017-2019) por arriba del límite de cuantificación



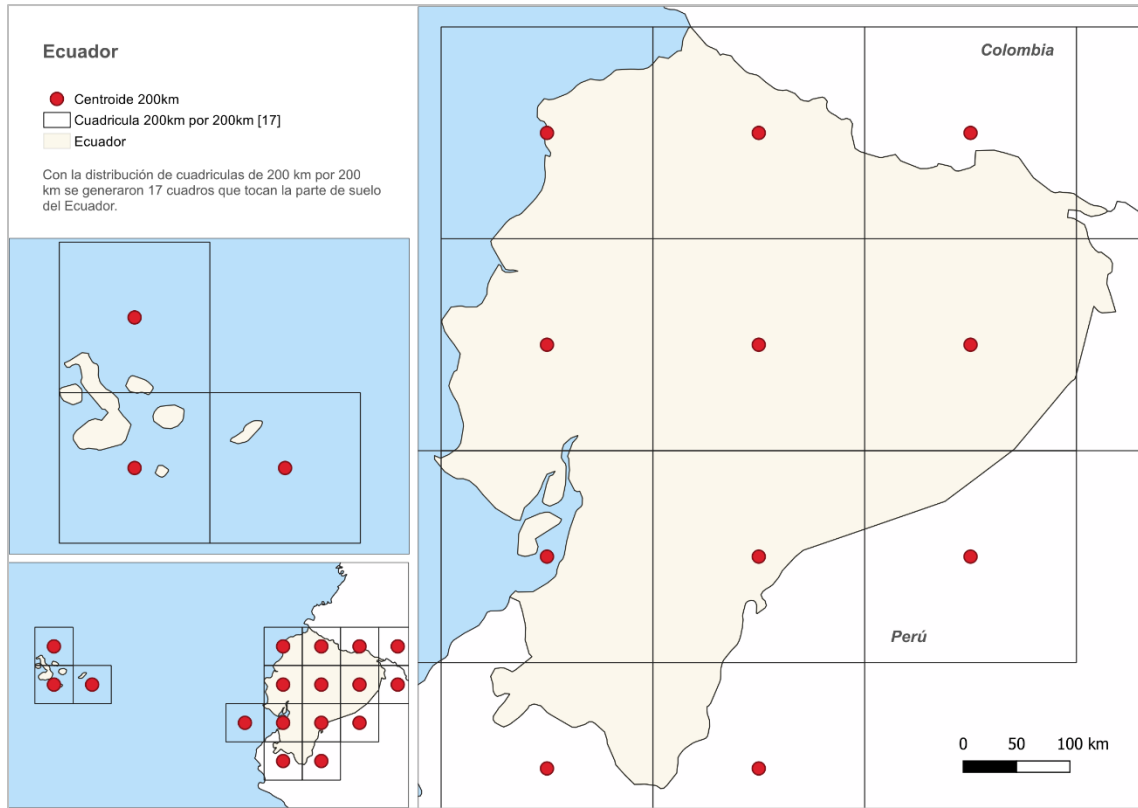
## ANEXO 2. MAPAS GENERADOS CON PARA UBICACIÓN DE SITIOS DE MONITOREO.





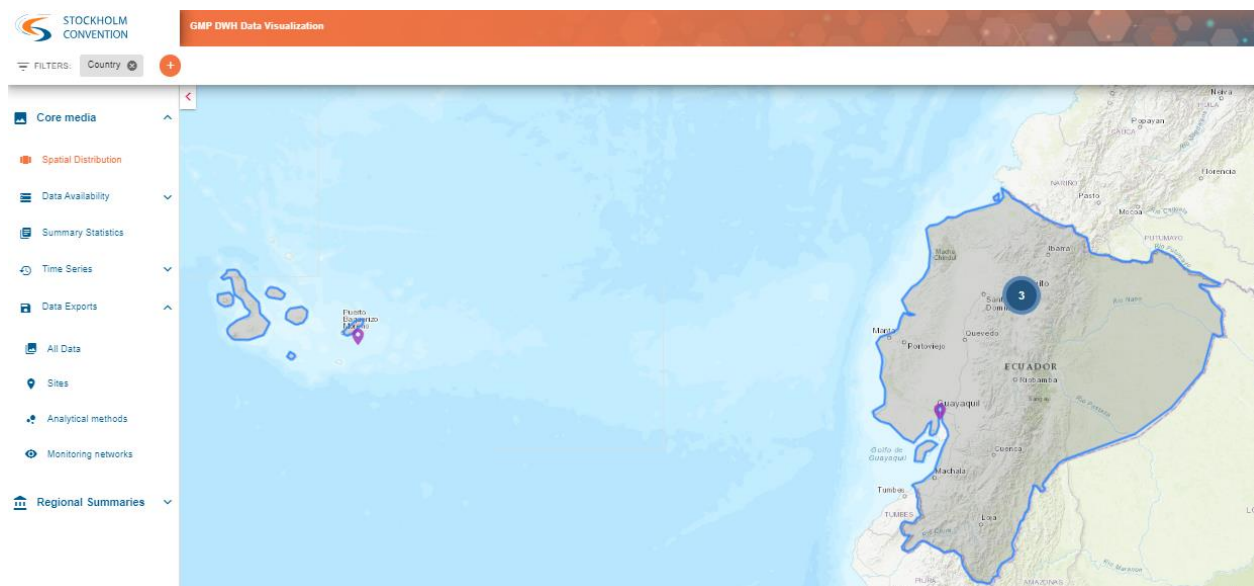






## ANEXO 3. FICHAS DE EJEMPLOS DEL CRITERIO ESTADÍSTICO PARA DECIDIR SI SE SIGUE MUESTREANDO EN EL SITIO DE MONITOREO QUITO

Estas fichas fueron elaboradas con los datos tomados del repositorio del GMP DWH (<https://data.pops-gmp.org/2020/>).



Las fichas generadas son para los siguientes parámetros:

- Aldrin - 2017
- Aldrin - 2018
- Dieldrin - 2017
- Dieldrin - 2018
- o,p-DDD - 2017
- o,p-DDD - 2018
- o,p-DDE - 2017
- o,p-DDE - 2018
- o,p-DDT - 2017
- o,p-DDT - 2018
- p,p-DDD - 2017
- p,p-DDD - 2018
- p,p-DDE - 2017
- p,p-DDE - 2018
- p,p-DDT - 2017
- p,p-DDT - 2018
- Sum 3 p,p-DDTs - 2017
- Sum 3 p,p-DDTs - 2018
- Sum 6 DDTs - 2017
- Sum 6 DDTs - 2018
- trans-Chlordane (= gamma) - 2018
- trans-Nonachlor - 2018

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: Aldrin (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para Aldrin (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 1.44948 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 0.17908 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.179}{2} = 0.090$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{1.44948 - 0.25000}{0.090} = 13.396$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de Aldrin (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: Aldrin (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para Aldrin (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 1.41849 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 0.21088 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.211}{2} = 0.105$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{1.41849 - 0.25000}{0.105} = 11.082$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de Aldrin (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: Dieldrin (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para Dieldrin (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$\mu = 0.25000$	(Promedio del límite de cuantificación)
$\bar{x} = 4.52304$	(Media de las muestras tomadas)
$\sigma = 1.27280$	(Desviación estándar de las muestras)
$n = 4$	(Número de muestras)

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1.273}{2} = 0.636$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{4.52304 - 0.25000}{0.636} = 6.714$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de Dieldrin (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: Dieldrin (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para Dieldrin (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 5.02207 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 1.29453 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1.295}{2} = 0.647$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{5.02207 - 0.25000}{0.647} = 7.373$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de Dieldrin (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: o,p-DDD (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para o,p-DDD (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$\mu = 0.25000$	(Promedio del límite de cuantificación)
$\bar{x} = 0.99503$	(Media de las muestras tomadas)
$\sigma = 0.34071$	(Desviación estándar de las muestras)
$n = 4$	(Número de muestras)

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.341}{2} = 0.170$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$
$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{0.99503 - 0.25000}{0.170} = 4.373$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de o,p-DDD (pg/m3) en el sitio Quito**



**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: o,p-DDD (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para o,p-DDD (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 1.07505 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 0.18532 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.185}{2} = 0.093$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{1.07505 - 0.25000}{0.093} = 8.904$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de o,p-DDD (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: o,p-DDE (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para o,p-DDE (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 3.58223 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 0.31713 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.317}{2} = 0.159$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{3.58223 - 0.25000}{0.159} = 21.015$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de o,p-DDE (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: o,p-DDE (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para o,p-DDE (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 4.89231 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 1.60026 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1.600}{2} = 0.800$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{4.89231 - 0.25000}{0.800} = 5.802$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de o,p-DDE (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: o,p-DDT (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para o,p-DDT (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 13.18346 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 2.03963 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{2.040}{2} = 1.020$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{13.18346 - 0.25000}{1.020} = 12.682$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de o,p-DDT (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: o,p-DDT (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para o,p-DDT (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$\mu = 0.25000$	(Promedio del límite de cuantificación)
$\bar{x} = 18.08124$	(Media de las muestras tomadas)
$\sigma = 6.94632$	(Desviación estándar de las muestras)
$n = 4$	(Número de muestras)

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{6.946}{2} = 3.473$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{18.08124 - 0.25000}{3.473} = 5.134$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de o,p-DDT (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: p,p-DDD (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para p,p-DDD (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$\mu = 0.25000$	(Promedio del límite de cuantificación)
$\bar{x} = 1.74755$	(Media de las muestras tomadas)
$\sigma = 0.73331$	(Desviación estándar de las muestras)
$n = 4$	(Número de muestras)

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.733}{2} = 0.367$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{1.74755 - 0.25000}{0.367} = 4.084$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de p,p-DDD (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: p,p-DDD (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para p,p-DDD (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$\mu = 0.25000$	(Promedio del límite de cuantificación)
$\bar{x} = 1.75351$	(Media de las muestras tomadas)
$\sigma = 0.19584$	(Desviación estándar de las muestras)
$n = 4$	(Número de muestras)

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.196}{2} = 0.098$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{1.75351 - 0.25000}{0.098} = 15.355$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de p,p-DDD (pg/m3) en el sitio Quito**



**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: p,p-DDE (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para p,p-DDE (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$\mu = 0.25000$	(Promedio del límite de cuantificación)
$\bar{x} = 23.18562$	(Media de las muestras tomadas)
$\sigma = 1.89308$	(Desviación estándar de las muestras)
$n = 4$	(Número de muestras)

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1.893}{2} = 0.947$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{23.18562 - 0.25000}{0.947} = 24.231$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de p,p-DDE (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: p,p-DDE (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para p,p-DDE (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 32.85350 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 10.27049 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{10.270}{2} = 5.135$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{32.85350 - 0.25000}{5.135} = 6.349$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de p,p-DDE (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: p,p-DDT (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para p,p-DDT (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 20.45157 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 2.49977 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{2.500}{2} = 1.250$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{20.45157 - 0.25000}{1.250} = 16.163$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de p,p-DDT (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: p,p-DDT (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para p,p-DDT (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 30.64230 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 14.06780 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{14.068}{2} = 7.034$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{30.64230 - 0.25000}{7.034} = 4.321$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de p,p-DDT (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: Sum 3 p,p-DDTs (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para Sum 3 p,p-DDTs (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$\mu = 0.25000$	(Promedio del límite de cuantificación)
$\bar{x} = 45.38475$	(Media de las muestras tomadas)
$\sigma = 4.63782$	(Desviación estándar de las muestras)
$n = 4$	(Número de muestras)

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{4.638}{2} = 2.319$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{45.38475 - 0.25000}{2.319} = 19.464$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de Sum 3 p,p-DDTs (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: Sum 3 p,p-DDTs (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para Sum 3 p,p-DDTs (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$\mu = 0.25000$	(Promedio del límite de cuantificación)
$\bar{x} = 65.24931$	(Media de las muestras tomadas)
$\sigma = 24.16237$	(Desviación estándar de las muestras)
$n = 4$	(Número de muestras)

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{24.162}{2} = 12.081$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{65.24931 - 0.25000}{12.081} = 5.380$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de Sum 3 p,p-DDTs (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: Sum 6 DDTs (pg/m3) - 2017**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 11/01/2017 al 05/01/2018 para Sum 6 DDTs (pg/m3) - 2017 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 63.14547 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 7.23399 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{7.234}{2} = 3.617$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{63.14547 - 0.25000}{3.617} = 17.389$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de Sum 6 DDTs (pg/m3) en el sitio Quito**



**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: Sum 6 DDTs (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para Sum 6 DDTs (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.25000 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 89.29790 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 32.81594 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{32.816}{2} = 16.408$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{89.29790 - 0.25000}{16.408} = 5.427$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de Sum 6 DDTs (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: trans-Chlordane (= gamma) (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para trans-Chlordane (= gamma) (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$\mu = 0.75166$	(Promedio del límite de cuantificación)
$\bar{x} = 1.82105$	(Media de las muestras tomadas)
$\sigma = 0.78172$	(Desviación estándar de las muestras)
$n = 4$	(Número de muestras)

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.782}{2} = 0.391$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{1.82105 - 0.75166}{0.391} = 2.736$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae fuera del intervalo, se concluye que la Ho se rechaza,

**Entonces, se acepta Ha**

**Por lo tanto, se concluye que se debe continuar con el monitoreo de trans-Chlordane (= gamma) (pg/m3) en el sitio Quito**

**Hipótesis nula (Ho):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP es menor que su límite de cuantificación

**Hipótesis alternativa (Ha):** La media anual de las concentraciones de plaguicidas COP excede su límite de cuantificación.

**Sitio de monitoreo: Quito**

**Parámetro y año: trans-Nonachlor (pg/m3) - 2018**

Con nivel de significancia (NS) del **5%**, se tiene un nivel de confianza (NC) de:  
**NC = 0.95 = 0.95, o sea 95% de NC**

Con estos datos se calcula la distribución de probabilidad inversa

$$z = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(\text{NC} + \text{NS}/2) = 1.959964$$

Entonces, el intervalo para mostrar si Ho es verdadera es:

$$(1.959964, 1.959964)$$

A continuación se calcula el estadístico de la prueba tomando los datos generados del 05/01/2018 al 14/01/2019 para trans-Nonachlor (pg/m3) - 2018 del sitio de monitoreo Quito:

$$\mu = 0.73786 \quad (\text{Promedio del límite de cuantificación})$$

$$\bar{x} = 1.52084 \quad (\text{Media de las muestras tomadas})$$

$$\sigma = 0.91618 \quad (\text{Desviación estándar de las muestras})$$

$$n = 4 \quad (\text{Número de muestras})$$

a) Calcular la **Desviación Estándar Tipificada**. Esta medida se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.916}{2} = 0.458$$

b) Valor de **Z tipificado**. Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}}$$

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma_{\bar{x}}} = \frac{1.52084 - 0.73786}{0.458} = 1.709$$

c) Al determinar que el Z tipificado cae en el intervalo se concluye que la Ho se acepta y se rechaza Ha.

**no se toma la hipótesis Ha**

Por lo que, ya no se debe monitorear en el sitio Quito  
el parámetro trans-Nonachlor (pg/m3)



ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DEL  
**PROGRAMA DE MONITOREO DE COP**  
(CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES INCLUIDOS  
EN EL CONVENIO DE ESTOCOLMO)  
**PARA ECUADOR**



Este informe se ha elaborado en el marco de los proyectos de tamaño completo 4886, 4894, 4881 y el proyecto de tamaño mediano 6978 del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) sobre monitoreo global de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) en el marco del Convenio de Estocolmo en las regiones de África, Asia, el Pacífico y América Latina y el Caribe (GMP 2). Estos proyectos están financiados por el FMAM, ejecutados por el PNUMA y en la región del América Latina y el Caribe por el Centro Coordinador del Convenio de Basilea - Centro Regional del Convenio de Estocolmo para la región de América Latina y el Caribe (BCCC-SCRC).

Los contenidos de este documento no reflejan necesariamente las opiniones o políticas del PNUMA, FMAM O BCCC-SCRC.

Este informe estará disponible en los sitios web, y es de libre distribución y uso para fines educativos y sin ánimo de lucro, a condición de que se indique la fuente de la que proviene.

Este informe ha sido elaborado por AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática en coordinación con los técnicos Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Gobierno del Ecuador en el período de marzo a junio 2023.

## **Autoría**

### ***AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática***

Víctor Javier Gutiérrez Avedoy

Ana Patricia Martínez

Jorge Martínez Castillejos

Miranda Loredo Barrera

## **Supervisión**

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, Gobierno del Ecuador

Centro Coordinador del Convenio de Basilea-Centro Regional del Convenio de Estocolmo para América Latina y el Caribe.

## RESUMEN EJECUTIVO

---

Ecuador con los esfuerzos realizados a lo largo del tiempo, cuenta con los elementos fundamentales para avanzar en la definición de estrategias, medidas y acciones que permitan cumplir con los compromisos adquiridos ante el Convenio de Estocolmo (CE) sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.

En el 2006 presentó su primer Plan Nacional de Aplicación (PNA) al secretariado de la Convención, orientado a fortalecer la capacidad nacional y a la elaboración de planes de acción específicos y detallados que contribuyeron a identificar las respuestas nacionales, los procesos y las medidas para eliminar o reducir las emisiones de Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) en el país. Además, presentó su primer inventario de las 12 sustancias que en ese momento estaban incluidas en el CE.

En el 2009, se llevó a cabo una actualización del PNA, que se enfocó a desarrollar diversos programas; de “Mejora continua de Bifenilos Policlorados (PCBs)”; de “Mejora continua de la gestión de plaguicidas”; de “Reducción de emisiones de COP no intencionales, de “Gestión de sitios contaminados” y se identificaron prioridades nacionales en materia de COP.

En el 2022, se actualizó nuevamente el PNA, cuyos principales componentes fueron, el fortalecimiento institucional, la gestión ambientalmente racional de los COP y la sensibilización, comunicación y capacitación sobre la gestión de los COP. Asimismo, Ecuador ha cumplido con la entrega de los Informes Nacionales de Implementación del Convenio en los años 2011, 2014, 2018 y 2022 a la Secretaría del Convenio de Estocolmo.

Ha participado en el Plan de Monitoreo Global (GMP, por sus siglas en inglés) de COP, en donde se evaluó la presencia de estos compuestos en aire, agua y leche materna. Es importante mencionar, que el GMP permitió fortalecer la capacidad

de monitoreo a nivel nacional y contribuir al establecimiento de capacidades analíticas regionales y generación de datos de COP. La segunda fase del muestreo se realizó entre los años 2017 y 2018, arrojando resultados importantes para conocer la presencia y distribución de COP en el ambiente y en la población de Ecuador, incluso permitió compararlo con otros países de la región.

Los datos generados por el GMP permiten identificar problemas vinculados a los COP, y en consecuencia, en dónde se deben enfocar los esfuerzos para el diseño de un programa de monitoreo COP nacional, que ayude a confirmar los valores encontrados y delinear con base en los resultados planes de acción que eliminen las fuentes de emisión de estos compuestos. En este proceso es importante la participación de las instituciones y universidades del país con capacidad de medir COP.

Al momento de definir un programa de monitoreo de COP, es necesario tener claro los objetivos y alcances y las preguntas que se deben responder con él. Entre ellas: ¿cuáles son las fuentes de COP?; ¿cómo son transportados, cómo y dónde se acumulan?; ¿cuál es su persistencia en los compartimentos ambientales?; ¿cuáles son los efectos en la salud de los seres humanos y la biota?; ¿cuáles son los riesgos a su exposición?; y, ¿cuáles son los costos de la inacción?

Para transitar hacia la elaboración de un Programa de Monitoreo de COP para Ecuador se ha desarrollado este documento que contiene los primeros elementos para su diseño, señalando la información sobre su perfil con algunos indicadores socioeconómicos y ambientales. Se describió el marco de referencia y normativo del país. Se describieron los resultados de los inventarios elaborados y la capacidad analítica nacional. Por último, se hace una propuesta de elementos para el diseño de un plan de monitoreo ambiental de COP en Ecuador.



## Contenido

Resumen Ejecutivo .....	3
1. Perfil de país .....	7
Provincias de Ecuador y sus capitales .....	8
Aspectos físicos.....	9
Indicadores socioeconómicos.....	10
Indicadores ambientales.....	11
2. Marco de referencia .....	13
Los Planes Nacionales de Aplicación (PNA) .....	18
PNA 2006 .....	18
Actualización PNA 2009 .....	18
Actualización PNA 2022 .....	19
3. Marco normativo .....	23
Comités Interinstitucionales 2009-2020.....	26
Comité Técnico Nacional de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola.....	26
Comité Nacional de Calidad Ambiental .....	26
4. Inventarios de Compuestos Orgánicos Persistentes .....	27
Inventarios de Plaguicidas COP .....	27
DDT .....	28
Lindano.....	29
Pentaclorofenol .....	29
PFOS Sulfuramida.....	29
Dicofol .....	30
Sitios con productos obsoletos.....	30
Inventario de Compuestos Orgánicos Persistentes No Intencionales .....	31
COP No Intencionales Industriales .....	34
Inventario de COP industriales y COP en productos .....	35
Bifenilos policlorados.....	37
Parafinas cloradas de cadena corta (PCCC).....	39
Compuestos polibromados.....	41
Sector de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.....	41
5. Sistemas de reporte.....	44
Sistema Nacional de Inventario y Seguimiento .....	44
Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) .....	44
Sistema de Reporte de Emisiones y Transferencia de Contaminantes .....	44
6. Capacidad analítica .....	45
Monitoreo de COP en Ecuador.....	49
Conclusiones.....	53
7. Propuesta de un Plan de Monitoreo Ambiental de COP en el Ecuador .....	56
Diagnóstico de la situación actual de COP.....	58
Identificación de profesionistas e instituciones involucradas.....	59
Identificación de las necesidades de fortalecimiento de capacidades.....	59
Objetivos del programa de monitoreo.....	60
Características del programa de monitoreo de COP .....	61
Definición de parámetros ambientales .....	61
Matrices ambientales.....	62
Definición de otros parámetros.....	63

Definición y selección de los sitios de muestreo .....	64
Selección de metodologías de muestreo y técnicas analíticas.....	70
Plan de aseguramiento de calidad .....	72
7. Referencias.....	73
ACRÓNIMOS.....	74
AnexoS .....	77
Anexo 1. Ejemplo de gráficos del almacén de datos de GMP .....	77
Matriz: Leche Humana .....	77
Matriz: Aire .....	79
Anexo 2. Plan de aseguramiento de calidad .....	80

## Tablas

Tabla 1. Provincias ecuatorianas y sus capitales .....	8
Tabla 2. COP incluidos en el Convenio de Estocolmo 2021.....	13
Tabla 3. Fondos de cooperación internacional asignados para el desarrollo de proyectos e iniciativas relacionados con la implementación del Convenio de Estocolmo .....	16
Tabla 4. Financiamiento proyectado y gastado para la implementación del PNA 2009 .....	17
Tabla 5. Principales logros y oportunidades de mejora .....	20
Tabla 6. Avances en el marco legal para la gestión de COP .....	23
Tabla 7. Actividades realizadas para identificar plaguicidas COP como productos obsoletos o material contaminado. ....	28
Tabla 8. Resumen de resultados de la generación de PCDD/PCDF 2013 .....	32
Tabla 9. Resumen de resultados de la generación de PCDD/PCDF 2018 .....	33
Tabla 10. Estimación de las emisiones de COP industriales no intencionales 2018. ....	35
Tabla 11. Datos relevantes de PCB en el Ecuador.....	37
Tabla 12. Importaciones netas de Parafinas cloradas al Ecuador 1990-2018 de acuerdo con el reporte del Banco Central .....	40
Tabla 13. Estimación del contenido de PentaBDE en vehículos 1975-2004 de acuerdo con la información del INEC .....	41
Tabla 14. Avances en capacidad analítica en Ecuador. ....	45
Tabla 15. Instituciones Públicas con capacidad de análisis de COP.....	46
Tabla 16. Universidades con capacidad de análisis de COP.....	47
Tabla 17. Sitios muestreados por matriz y año de monitoreo en Ecuador.....	50
Tabla 18. Grupos químicos medidos por matriz. ....	50
Tabla 19. Técnicas de laboratorio por tipo de contaminantes persistentes .....	71
Tabla 20. Lista de elementos de un Plan de QA.....	81

## Figuras

Figura 1. Provincias de la República de Ecuador .....	9
Figura 2. Ubicación de los sitios de monitoreo. ....	50
Figura 3. Fases del programa de monitoreo de COP. ....	57
Figura 4. Componentes del programa de monitoreo de COP.....	58

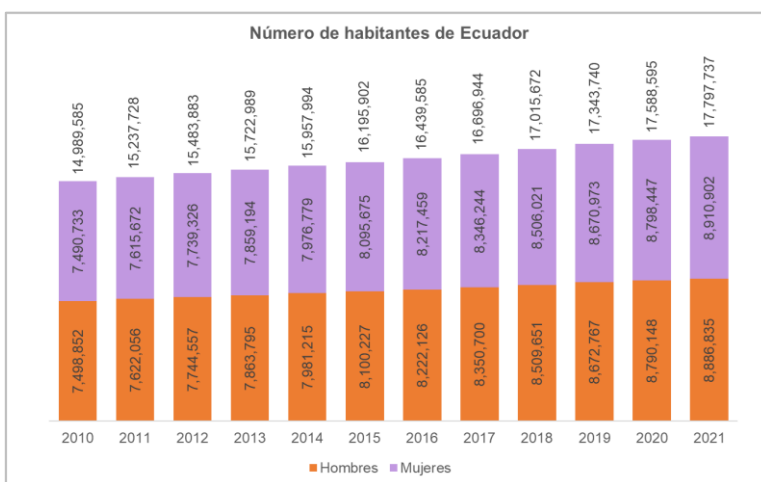
# 1. PERFIL DE PAÍS

La República de Ecuador se ubica en la región noroccidental de América del Sur, cuenta con una superficie territorial de 256.370 km<sup>2</sup> y está dividido en cuatro regiones: Amazonía, Costa del Pacífico, Sierra de Los Andes y Galápagos. La Amazonía ocupa el 46% del total del territorio nacional, le sigue la Costa con un 27%, la Sierra con un 24% y las Islas Galápagos con un 3%. El país se compone por 24 provincias y 221 cantones (El Comercio, 2022).



Ecuador forma parte de la Subregión Andina en conjunto con Perú, Colombia, Bolivia y Venezuela, la cual cuenta con una superficie total de 4.709.640 km<sup>2</sup>.

Según los últimos datos del Banco Mundial, al 2021 Ecuador contaba con una población de 17.797.737, 8.886.835 hombres y 8.910.903 mujeres con una población creciente de 1,2% anual (Banco Mundial, 2023). La población se concentra principalmente en la Capital Quito, en la región Sierra, y Guayaquil.



## PROVINCIAS DE ECUADOR Y SUS CAPITALS

La República de Ecuador está dividida en 24 provincias, gobernada por un Presidente elegido democráticamente y tiene su Asamblea Nacional y sistema judicial independiente. Las provincias son responsables de la administración de recursos y servicios públicos dentro de su territorio. Quito es la capital del país y se alberga en la provincia de Pichincha.

Tabla 1. Provincias ecuatorianas y sus capitales

PROVINCIA	CAPITAL
Azuay	Cuenca
Bolívar	Guaranda
Cañar	Azogues
Carchi	Tulcán
Chimborazo	Riobamba
Cotopaxi	Latacunga
El Oro	Machala
Esmeraldas	Esmeraldas
Galápagos	Puerto Baquerizo Moreno
Guayas	Guayaquil
Imbabura	Ibarra
Loja	Loja
Los Ríos	Babahoyo
Manabí	Portoviejo
Morona-Santiago	Macas
Napo	Tena
Orellana	Puerto Francisco de Orellana
Pastaza	Puyo
Pichincha	Quito
Santa Elena	Santa Elena
Santo Domingo de los Tsáchilas	Santo Domingo de los Colorados
Sucumbíos	Nueva Loja
Tungurahua	Ambato
Zamora-Chinchiipe	Zamora

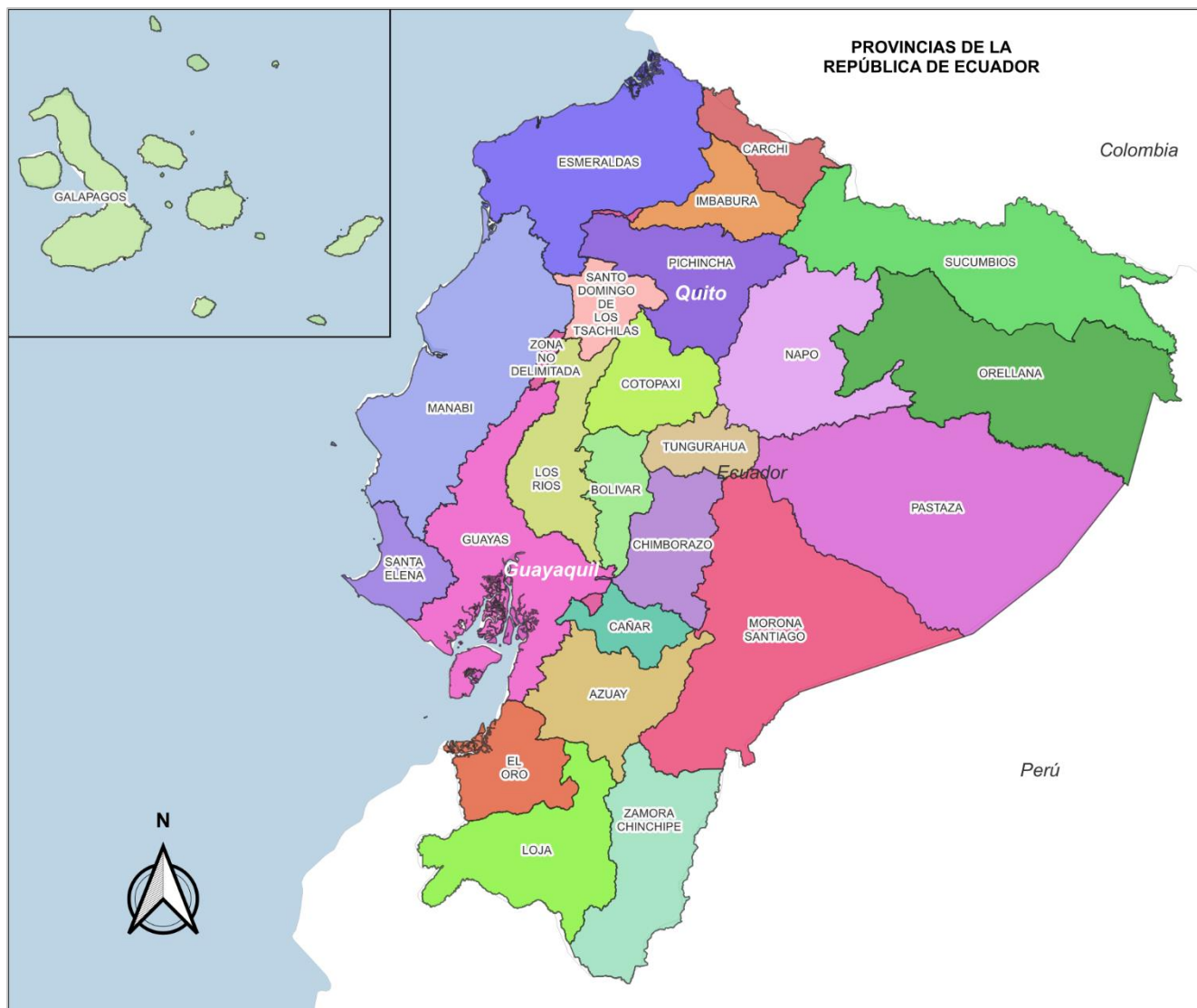


Figura 1. Provincias de la República de Ecuador

Fuente: Elaboración propia.

## ASPECTOS FÍSICOS

La Cordillera de los Andes atraviesa el país de norte a sur, encontrándose en ella importantes elevaciones como el volcán Chimborazo, el punto más alto de Ecuador con una altitud de 6.268 metros sobre el nivel del mar. La Cordillera a su vez provoca el ascenso y enfriamiento del aire proveniente de la Costa y de la región amazónica originando lluvias en las vertientes extremas de la Cordillera y sequía en ciertos valles interandinos, así como en el clima de las Galápagos.

De acuerdo con la clasificación de Köppen en Ecuador se presentan 8 climas: tropical megatérmico semiárido, megatérmico lluvioso, tropical megatérmico semihúmedo, tropical megatérmico seco, tropical megatérmico húmedo, ecuatorial de alta montaña y ecuatorial mesotérmico seco y semihúmedo (MAATE, 2022).

En cuanto a usos y coberturas de suelo destacan: bosque, vegetación arbustiva y herbácea, tierra agropecuaria, cuerpo de agua, zona antrópica y otras tierras (áreas sin vegetación y que pueden tener otros usos) (MAATE, Actualización del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de la República del Ecuador, 2022).

Ecuador se encuentra entre los países más megadiversos de América Latina y el Caribe además de Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Guatemala, México, Perú y Venezuela (CEPAL, s.f.). En el caso de Ecuador, resalta la Isla Galápagos por su alta diversidad biológica. Hasta el año 2015 se había reportado la existencia de más de 2.900 especies marinas, de las cuales el 18,2% son endémicas. Asimismo, cuenta con más de 45 especies de aves endémicas, 42 de reptiles, 15 de mamíferos y 79 de peces; 500 especies entre plantas vasculares, briófitas y algas endémicas igualmente (UNESCO, 2021).

## INDICADORES SOCIOECONÓMICOS

La economía de Ecuador sienta sus bases en la industria petrolera, que se explota en dos zonas: en la península de Santa Elena y en la Amazonía ecuatoriana, además de la agricultura de productos como el banano, el café y el cacao. Por su parte, el turismo también tiene una importante participación en el país, siendo las Islas Galápagos, la Amazonía y la Costa los destinos turísticos más importantes.



Los principales indicadores socioeconómicos se muestran a continuación:

- Esperanza de vida al nacer: 72 años (2020)
- Población económicamente activa mayor de 15 años: 66% (2021)
- Tasa de alfabetización en personas de 15 años o más: 94% (2021)
- Población que utiliza servicios básicos de agua potable: 95% (2020)
- Población que utiliza al menos servicios básicos de saneamiento: 92% (2020)
- Producción pesquera total anual: 1.409.760 toneladas métricas (2020)
- Población con acceso a la electricidad: 98,8 % (2020)
- Porcentaje de tierras agrícolas: 21,8% (2020)
- Consumo de energía eléctrica per cápita: 1.376 kWh (2014)
- Consumo de energía renovable sobre la energía total: 17,73% (2019)

Fuente: Banco Mundial. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/pais/ecuador>

## INDICADORES AMBIENTALES

La contaminación del aire, suelo y agua en Ecuador se debe principalmente a la deforestación, la minería, la industria del petróleo, la agricultura y la disposición final de residuos, además del tráfico de especies. Tan solo en el año 2013, las provincias que reportaron tráfico de vida silvestre fueron: Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Loja, Los Ríos, Manabí, Morona Santiago, Napo, Orellana, Pastaza, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Sucumbíos y Tungurahua, donde fueron decomisadas más de 634 especies de vertebrados.

En cuanto a la deforestación, del periodo 2008-2014 se talaban más de 47.497 hectáreas de bosque por año, esto representa una tasa del 0,37% por año. Las provincias amazónicas, Esmeraldas y El Oro presentan la mayor superficie deforestada en promedio anualmente (MAATE, 2022). La minería informal principalmente la artesanal y a pequeña escala, ha dado origen a pasivos ambientales en el país.



En Ecuador, el consumo y exportación de banano y palma africana ha originado la deforestación de grandes áreas de bosques tropicales y la pérdida de biodiversidad en la región Amazónica, además de que, en el caso del banano, se requiere la aplicación de grandes cantidades de agroquímicos.

En cuanto a la contaminación del aire, esta se origina por las emisiones de vehículos y la industria afectando principalmente a las zonas urbanas, Quito y Guayaquil se ven particularmente afectadas por este problema. Las zonas rurales por su parte son afectadas por la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales, donde las descargas domésticas e industriales son utilizadas en la agricultura.

Los principales indicadores ambientales se muestran a continuación:

- Emisiones de gases de efecto invernadero totales (CO<sub>2</sub> equivalente): 72.530 kt (2019)
- Emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita: 2,3 toneladas métricas (2019)
- Emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por el transporte: 41,7% del total de la quema de combustible (2014)
- Población expuesta a niveles que exceden la concentración máxima de PM<sub>2.5</sub> recomendada por la Organización Mundial de la Salud: 98,3% (2017)
- Área selvática: 50,3% (2020)
- Extracción anual de agua dulce, total: 2% de sus recursos internos (2019)
- Porcentaje de áreas protegidas terrestres y marinas: 15,3% (2021)

Fuente: Banco Mundial. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/pais/ecuador>

## 2. MARCO DE REFERENCIA

El Convenio de Estocolmo (CE) fue ratificado por el Ecuador el 7 de junio de 2004 y publicado mediante Registro Oficial No. 381, el 20 de julio de 2004. En el año 2008 se publicó una nueva Constitución, que en su artículo 15 establece la “prohibición del desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas” (MAATE, Actualización del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de la República del Ecuador, 2022).

Con esos avances a nivel constitucional, Ecuador cuenta con los elementos fundamentales para avanzar en la definición de estrategias, medidas y acciones que permitan cumplir con los compromisos ante el CE, considerando los COP incluidos en el CE al 2019.

Tabla 2. COP incluidos en el Convenio de Estocolmo 2021.

	SUSTANCIA QUÍMICA	ACRÓNIMO	CATEGORÍA	ANEXO
1	Aldrin		P	A
2	Alfa-hexaclorociclohexano	$\alpha$ -HCH	P	A
3	Beta-hexaclorociclohexano	$\beta$ -HCH	P	A
4	Clordano		P	A
5	Clordecona		P	A
6	Éter de decabromodifenilo	Deca-BDE	I	A
7	Dicofol		P	A
8	Diclorodifeniltricloroetano	DDT	P	A
9	Dieldrin		P	B

	SUSTANCIA QUÍMICA	ACRÓNIMO	CATEGORÍA	ANEXO
10	Endosulfán		P	A
11	Endrín		P	A
12	Gamma-hexaclorociclohexano	$\gamma$ -HCH	P	A
13	Heptacloro		P	A
14	Hexabromobifenilo	HBB	P	B
15	Hexabromociclododecano	HBCD	I	A
16	Éter de hexabromodifenilo y éter de heptabromodifenilo	PBDE	P	A
17	Hexaclorobenceno	HCB	I, P, UP	A
18	Hexaclorobutadieno	HCBD	I, UP	A y C
19	Mirex		P	A y C
20	Pentaclorobenceno	PeCB	I, P, UP	A
21	Pentaclorofenol, sus sales y ésteres	PCP	P	A y C
22	Ácido perfluorooctano sulfónico	PFOS	I, P	A
23	Ácido perfluorooctanoico	PFOA	I	B
24	Ácido perfluorohexano sulfónico, sus sales y compuestos relacionados	PFHxS	I	A
25	Bifenilos policlorados	PCB	I, UP	A
26	Dibenzo-para-dioxinas policloradas	PCDD	UP	A y C
27	Dibenzofuranos policlorados	PCDF	UP	C
28	Naftalenos policlorados	PCN	I, UP	C
29	Parafinas cloradas de cadena corta	SCCPs	I	A y C
30	Éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo	PBDE	P	A
31	Toxafeno		P	A

P = Plaguicida I = Industrial UP = Producción no intencionada

Anexo A = Eliminación Anexo B = Restricción Anexo C = Producción no intencionada

Ecuador presentó el primer Plan Nacional de Aplicación (PNA) en septiembre de 2006 después de la ratificación en 2004, y su primera actualización en el año 2009. En el PNA de 2009 se incorporaron estrategias y acciones para los 12 compuestos inicialmente listados como parte del CE. En el 2022 se llevó a cabo una nueva actualización del PNA, previo a ello se realizaron diversos estudios,

como los inventarios de plaguicidas COP, COPNI y de productos que contienen estas sustancias.

Para esta última actualización se incluyeron los 18 nuevos contaminantes orgánicos persistentes que fueron listados en las reuniones cuarta, quinta, sexta, séptima, octava y novena del Convenio de Estocolmo, muchos de ellos no corresponden únicamente a una sustancia específica sino a un grupo de compuestos presentes en muchos productos tanto de uso comercial como industrial, para los cuales resulta necesario plantear acciones para su eliminación o reducción de la producción, importación y uso (MAATE, Actualización del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de la República del Ecuador, 2022).

La Subsecretaría de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE)<sup>1</sup>, como punto focal del Convenio de Estocolmo, fue la responsable de la actualización del PNA;

Durante el periodo 2010-2020, el MAATE ha ejecutado proyectos e iniciativas, desarrollados con fondos de cooperación internacional<sup>2</sup>, relacionados a la implementación del Convenio de Estocolmo, que suman un valor total de USD 11.646.397,33 y, en cuanto a recursos humanos la contratación de 29 personas.

---

<sup>1</sup> A través del Decreto Ejecutivo No. 1007 de 4 de marzo de 2020, el Presidente Constitucional de la República del Ecuador dispuso la fusión del Ministerio del Ambiente con la Secretaría Nacional del Agua, bajo el nombre de "Ministerio de Ambiente y Agua" (MAAE). Posteriormente, bajo la nueva administración pública mediante Decreto Ejecutivo Nro. 059 de fecha 05 de junio de 2021, en su disposición reformativa se resuelve: "Art.1.- Cámbiese la Denominación Ministerio del Ambiente y Agua; por el de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE)".

<sup>2</sup> En cuanto a donación de fondos, el MAATE ha podido gestionar recursos económicos para la gestión de COP y actividades del Convenio de Estocolmo, a través del área focal de gestión de químicos y desechos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) únicamente.

Tabla 3. Fondos de cooperación internacional asignados para el desarrollo de proyectos e iniciativas relacionados con la implementación del Convenio de Estocolmo

NO.	NOMBRE DEL PROYECTO O INICIATIVA	AGENCIAS DE IMPLEMENTACIÓN / EJECUCIÓN	PERIODO DE EJECUCIÓN	PRESUPUESTO ASIGNADO (USD)	RECURSOS HUMANOS
1	Monitoreo, reporte y difusión de información sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP) mediante un Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) en Ecuador (Fase I).	PNUMA	2010-2013	356.841,33	2
2	Monitoreo, reporte y difusión de información sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP) mediante un Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) en Ecuador (Fase II).	UNITAR	2017-2022	150.000,00	4
3	Plan de Monitoreo Global de Contaminantes Orgánicos Persistentes (Fase I).	Centro Regional del Convenio de Estocolmo-Uruguay	2012-2013	34.125,00	2
4	Plan Monitoreo Global de Contaminantes Orgánicos Persistentes (Fase II).		2017-2022	94.000,00	1
5	Gestión integral y ambientalmente racional de Bifenilos Policlorados-PCB en el Ecuador	PNUD	2014-2016	2.000.000,00	8
6	Programa Nacional para la Gestión Ambientalmente Racional y la Gestión del Ciclo de Vida de Sustancias Químicas, o denominado como "Programa Nacional de Gestión de Químicos" (PNGQ).	PNUD	2018-2023	8.490.000,00	10
7	Proyecto Regional de Gestión COP en Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en países de la región de América Latina (PREAL).	ONUDI	2019-2023	555.556,00	2
Total				11.680.522,33 <sup>3</sup>	29

Fuente: MAATE, 2022

<sup>3</sup> Corresponde a los fondos comprometidos durante el periodo de evaluación.

Según la estimación del gasto de presupuesto institucional realizado en el cumplimiento del CE, el monto aportado en especie para la implementación del PNA 2009 es aproximadamente un 80 % del financiamiento que fue proyectado. Mientras tanto, los fondos de cooperación recibidos hasta el 2013 ascienden a un valor de USD 390.966,33 y hasta el 2020 un valor de USD 11.680.522,33<sup>4</sup>.

Tabla 4. Financiamiento proyectado y gastado para la implementación del PNA 2009

Tipo de Fondos	Presupuesto proyectado 2009 (para 4 años) (USD)	Presupuesto estimado de gasto (USD) (para 4 años)	Observaciones
Fondos nacionales en la modalidad de efectivo o especies.	2.998.000	2.422.551,00	Fondos institucionales estimados para el periodo 2013-2016 (4 años) según información disponible.
Fondos externos de cooperación provenientes de agencias multilaterales, donantes bilaterales o capitales privados.	2.910.000	390.966,33	Fondos cuantificados de proyectos o iniciativas desarrolladas por el MATTE en el periodo 2010-2013.
<b>Total</b>	<b>5.908.000</b>	<b>2.813.517,33</b>	

Fuente: MAATE, 2022.

<sup>4</sup> El valor incluye presupuestos entregados a proyectos en plena ejecución y con fecha de cierre posterior al 2020.

## LOS PLANES NACIONALES DE APLICACIÓN (PNA)

De conformidad con lo establecido en el artículo 7 del Convenio de Estocolmo, el país ha presentado tres PNA.

### PNA 2006

El primer Plan se elaboró y presentó al secretariado de la Convención en el 2006, el cual básicamente consideró:

- Fortalecer la capacidad nacional para implementar el Convenio.
- Elaborar planes de acción específicos y detallados que identifiquen las respuestas nacionales, los procesos y las medidas para eliminar o reducir las emisiones de COP.

Además, se presentó un primer inventario de las 12 sustancias que en ese momento estaban incluidas en el CE. Destacando el DDT que fue el único plaguicida COP que había sido utilizado hasta fines de la década de los noventa en el Ecuador.

### Actualización PNA 2009

En el 2009 se llevó a cabo una actualización, que se enfocó principalmente a los siguientes programas:

- Programa de “Mejora continua de Bifenilos Policlorados (PCBs)”;
- Programa de “Mejora continua de la gestión de plaguicidas” y Programa de “Reducción de emisiones de COP no intencionales”;
- Programa de “Gestión de sitios contaminados”.

También, se identificaron las prioridades nacionales relacionadas con los COP más urgentes del Ecuador:

- 1) Fortalecimiento de políticas,
- 2) Fortalecimiento de la capacidad de monitoreo y evaluación,
- 3) Mejoramiento de la gestión de los PCB,



- 4) Mejora de la gestión de los plaguicidas COP,
- 5) Reducción de las emisiones de COPNIs,
- 6) Manejo de sitios contaminados y
- 7) Gestión de la información.

## Actualización PNA 2022

En el 2022 se realizó una nueva actualización del Plan Nacional de Implementación, cuyos principales componentes son:

- Fortalecimiento institucional,
- La gestión ambientalmente racional de los COP,
- La sensibilización, comunicación y capacitación sobre la gestión de los COP.

Como resultado de la actualización y de los diversos estudios que se han realizado en los últimos años, se identificaron acciones que Ecuador tiene considerado desarrollar en los próximos años (MAATE, Actualización del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de la República del Ecuador, 2022):

- Trabajo articulado con instituciones públicas, privadas y las ONG a nivel nacional y local, principalmente a nivel de oficinas técnicas ministeriales y gobiernos municipales.
- Priorización de sectores, productos y sustancias para fortalecer el marco normativo nacional, así como implementar mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales.
- Fortalecimiento de laboratorios analíticos nacionales, así como promoción de la investigación académica en COP, principalmente relacionado con nuevas sustancias incluidas en el Convenio de Estocolmo.
- Fortalecer los mecanismos de identificación de importación de sustancias COP y productos sospechosos de contener COP.

- Eliminación de desechos de plaguicidas COP y obsoletos, así como trabajar en la disminución de su generación.
- Priorización de sectores industriales para implementar acciones para la reducción de los COPNI, así como fortalecer los mecanismos de reporte.
- Identificación y priorización de COP industriales y en productos, y trabajar en su gestión, principalmente PFAS, PFOS, Sulfonamida y sustancias presentes en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Inventario y eliminación de los PCB en el sector eléctrico.
- Difusión de material técnico relacionado a los COP a nivel nacional, sectorial y local.
- Mayor difusión de material comunicacional sobre los efectos a la salud humana y el ambiente de los COP a la ciudadanía en general.

Por otra parte, Ecuador ha cumplido con la entrega de los Informes Nacionales de Implementación del Convenio en los años 2011, 2014, 2018 y 2022 a la Secretaría del Convenio de Estocolmo.

Como resultado de la aplicación del plan nacional de aplicación del año 2009 y de los estudios realizados con el apoyo de agencias internacionales, en la siguiente tabla se presentan los principales logros y oportunidades de mejora.

Tabla 5. Principales logros y oportunidades de mejora

PROGRAMAS		PRINCIPALES LOGROS	OPORTUNIDADES DE MEJORA
<b>Línea estratégica: 1. Fortalecimiento institucional</b>			
1.1	<b>Fortalecimiento normativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuación normativa para la prohibición del ingreso al territorio y adecuada gestión de COP con un enfoque en todo su ciclo de vida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de procedimientos para revisión y evaluación periódica de normativa relacionada con COP.</li> <li>• Elaboración y publicación de normas técnicas para prevención y control de la contaminación con COP.</li> </ul>
1.2	<b>Fortalecimiento de la capacidad de evaluación y control</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortalecimiento de capacidades de funcionarios públicos, técnicos, academia y sociedad civil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento y activación de un organismo permanente para coordinación de acciones relacionadas con el CE (Comité Nacional).</li> </ul>

PROGRAMAS		PRINCIPALES LOGROS	OPORTUNIDADES DE MEJORA
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Fortalecimiento de capacidad analítica para determinación de COP a nivel nacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fortalecimiento e integración de sistemas informáticos relacionados con la gestión de COP</li> <li>Establecimiento de normativa específica que determine lineamientos para medición de COP en aire, agua, suelo y productos (de consumo e industriales) con posible contenido de COP, fortaleciendo la capacidad analítica del sector público, privado y academia.</li> </ul>
<b>Línea estratégica: 2. Mejora continua de la gestión de COP</b>			
2.1	<b>Mejora continua de la gestión de PCB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fortalecimiento de capacidades técnicas en las empresas eléctricas para realizar inventario, muestreo y análisis de PCB.</li> <li>Fortalecimiento de marco regulatorio y publicación de material técnico de calidad para correcta gestión de PCB.</li> <li>Coordinación adecuada de actores relacionados con la gestión de PCB.</li> <li>Sistematización de información sobre materiales contaminados con PCB para recopilación de información y elaboración de inventarios.</li> <li>Declaración a las Islas Galápagos como "Zona cero PCB".</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Finalización del inventario de transformadores en el sector eléctrico.</li> <li>Identificación del remanente de desechos de transformadores contaminados con aceite dieléctrico con PCB.</li> <li>Actualización del Acuerdo Ministerial 146 sobre los procedimientos para la gestión integrada y ambientalmente racional de los Bifenilos Policlorados (PCB).</li> </ul>
2.2	<b>Mejora continua de la gestión de plaguicidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ejecución pertinente y adecuada de procesos para eliminación de existencias de los plaguicidas obsoletos (PO).</li> <li>Adecuada coordinación interinstitucional para gestión de los PO.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecimiento de un plan nacional para gestión y eliminación de los PO.</li> <li>Establecimiento de estrategias y acciones para prevenir la generación y almacenamiento de los PO.</li> <li>Sistematización de existencias de los PO que permitan su vigilancia y monitoreo.</li> </ul>

PROGRAMAS		PRINCIPALES LOGROS	OPORTUNIDADES DE MEJORA
2.3	<b>Reducción de emisiones de COP intencionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación y priorización de sectores que generan COPNIs al aire y en productos.</li> <li>Definición de procedimientos, MPA y MTD para sectores priorizados que emiten COPNIs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mejoramiento de la coordinación y gestión con los sectores priorizados para prevenir, reducir y evaluar las emisiones de COPNIs</li> <li>Inclusión de límites permisibles para COPNIs en la normativa nacional.</li> <li>Identificación de PyMEs y sector informal que posiblemente emite COPNIs y toma de acciones respectivas.</li> <li>Implementación de acciones para prevenir y reducir la quema de basura a cielo abierto.</li> </ul>
2.4	<b>Gestión de sitios contaminados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecimiento de procedimientos y lineamientos para la adecuada gestión de plaguicidas y materiales contaminados con PCB, así como para la prevención y reducción de la emisión de COPNIs, en pro de prevenir la contaminación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fortalecimiento de capacidades para la identificación y caracterización en diferentes matrices ambientales de sitios contaminados con COP.</li> <li>Elaboración de diagnósticos e inventarios de sitios posiblemente contaminados con COP.</li> <li>Elaboración de planes de gestión para sitios contaminados con COP.</li> </ul>
<b>Línea estratégica: 3. Información, sensibilización, capacitación e investigación</b>			
3.1	<b>Gestión de la información, creación de conciencia e investigación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realización de materiales didácticos de calidad con información relacionada a COP para sensibilización de la sociedad civil y actores clave.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Actualización de información de acceso público relacionada a COP existente en la página web del MAATE.</li> <li>Establecimiento de un procedimiento para recopilación y evaluación permanente de la información generada para su reporte a la Secretaría del CE.</li> <li>Creación de alianzas sólidas con los GAD para fortalecimiento de capacidades sobre los COP en la sociedad civil y sectores priorizados.</li> <li>Incorporación de la temática de gestión adecuada de COP en varios niveles en institutos o centros educativos.</li> </ul>

Fuente: MAATE, 2022.

### 3. MARCO NORMATIVO

Del periodo 2009 a 2020 se tienen avances en el marco legal para la gestión de los COP en Ecuador, se contabiliza 1 resolución creada, 5 acuerdos ministeriales, 1 manual de procedimientos, 6 guías, y 5 modificaciones al articulado de leyes o reglamentos existentes, la siguiente tabla muestra estos avances:

Tabla 6. Avances en el marco legal para la gestión de COP

PERIODO	NORMATIVIDAD ASOCIADA	GUÍAS Y MANUALES ASOCIADOS
2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resolución 178 de AGROCALIDAD, publicada en el Registro Oficial 594 del 12 de diciembre de 2011, por la que se prohíbe la importación de Endosulfán, sus mezclas y productos.</li> <li>Norma técnica para el coprocesamiento de desechos peligrosos en hornos cementeros, Acuerdo Ministerial Nro. 048 Registro Oficial Nro. 439 del 3 de mayo del 2011, misma que establece límites permisibles para la emisión de dioxinas y furanos al aire.</li> </ul>	
2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reglamento para la prevención y control de la contaminación por sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales, (Acuerdo Ministerial No. 161). Artículos: 153, 163, 249.</li> <li>Listados nacionales de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales (Acuerdo Ministerial Nro. 142). Anexo A, Listado No. 1: Listado de sustancias químicas peligrosas prohibidas,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manual de Procedimiento para el Manejo de PCB en el Sector Eléctrico Ecuatoriano. Este documento incluye: marco legal, procedimientos para determinación de PCB, lineamientos sobre seguridad ocupacional e industrial para su manejo, almacenamiento y destrucción final, así como planes de manejo ambiental.</li> </ul>

PERIODO	NORMATIVIDAD ASOCIADA	GUÍAS Y MANUALES ASOCIADOS
	<p>donde se integran 14 sustancias COP.</p>	
2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Código Orgánico Integral Penal, publicado mediante Registro Oficial No. 180 del 10 de febrero de 2014. Referente a los delitos contra la Gestión Ambiental, en el Artículo 254 establece sanciones de privación de libertad de 1 a 3 años cuando alguna persona desarrolle, produzca, tenga, disponga, queme, transporte o deposite sustancias químicas con características peligrosas, y que por esa acción se produzca daños contra la biodiversidad y recursos naturales, incluyendo químicos y agroquímicos prohibidos y COP altamente tóxicos.</li> </ul>	
2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Decisión 804 “Modificación de la Decisión 436 (Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola) “. Artículo 13.</li> <li>▪ Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (Acuerdo Ministerial Nro. 061). Artículos: 149 y 155.</li> <li>▪ Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas, (Acuerdo Ministerial 097 -A) publicada mediante Registro Oficial Nro. 387 el 4 de noviembre de 2015, en esta se describe brevemente una referencia de métodos de medición para Dioxinas y Furanos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Guía técnica para la gestión ambientalmente racional de PCB, documento que describe información general sobre PCB, sus efectos adversos al ambiente, marco legal relacionado, datos sobre inventarios realizados, actividades para su adecuada gestión y trámite para el movimiento transfronterizo de equipos, aceites y materiales contaminados.</li> <li>▪ Guía para la gestión adecuada de plaguicidas.</li> </ul>
2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Procedimientos para la gestión integral y ambientalmente racional de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Guía de buenas prácticas ambientales para proyectos eléctricos con registro</li> </ul>



PERIODO	NORMATIVIDAD ASOCIADA	GUÍAS Y MANUALES ASOCIADOS
	<p>los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador (Acuerdo Ministerial 146). Esta normativa incluye lineamientos generales sobre la gestión de desechos peligrosos con contenido PCB, adecuado etiquetado y marcado, almacenamiento de desechos peligrosos con contenido de PCB, su transporte, mantenimiento, disposición final de aceite, equipos y desechos con PCB. Así como las sanciones y su procedimiento.</p>	<p>ambiental, la cual da los lineamientos de gestión de equipos, aceite y desechos con PCB para proyectos eléctricos pequeños que no cuenten con un Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental.</p>
2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Código Orgánico del Ambiente. Artículos: 215 y 222.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Guía de Seguridad y Salud Ocupacional, que detalla los aspectos legales, principios y procedimientos para reforzar el conocimiento sobre seguridad y salud durante las fases de gestión de PCB.</li> <li>▪ Guía de buenas prácticas ambientales en Proyectos, Obras o Actividades de Distribución Eléctrica Urbano-Rural, Urbano-Marginal que Generen el Mínimo Impacto Ambiental.</li> </ul>
2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. Artículos: 523, 525 y 526.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Guía técnica de mejores prácticas ambientales (MPA) para los principales sectores productivos que generan los COPNIs en el Ecuador, se detallan medidas de prevención y reducción de emisiones, para sectores priorizados.</li> </ul>

Fuente: MAATE, 2022.



## COMITÉS INTERINSTITUCIONALES 2009-2020

### **Comité Técnico Nacional de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola**

En base al Acuerdo Interministerial Nro. 207 del 19 de junio de 1996, forma parte del Comité Técnico Nacional de Plaguicidas y Productos de Uso Veterinario, ante el cual, su función es emitir un informe técnico correspondiente a la evaluación de los expedientes (dossier) de Plaguicidas y Productos de Uso Veterinario conforme a la Decisión 804 de la Comunidad Andina (CAN).

### **Comité Nacional de Calidad Ambiental**

El Artículo 17 del Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, publicado en el 2017, determina la creación del Comité Nacional de Calidad Ambiental como instancia técnica de coordinación conformada por delegados especializados permanentes de varias instituciones públicas. Se han conformado varios Subcomités Técnicos, entre ellos el Subcomité técnico de COP y el de Subcomité de Sustancias Químicas relacionados con implementación del PNA y la gestión de los COP. Como apoyo técnico a estos Subcomités, se ha creado el Grupo Consultivo conformado por actores del sector privado, académico, gubernamental y la sociedad civil.

## 4. INVENTARIOS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES

---

### INVENTARIOS DE PLAGUICIDAS COP

Como ya se ha mencionado el Ecuador con el apoyo de financiero y técnico de agencias internacionales ha realizado estudios e inventarios sobre los plaguicidas COP que le han permitido identificar la situación actual sobre esos compuestos y establecer políticas e instrumentos normativos para su control y eliminación.

El Aldrín, Clordano, Dieldrin, Endrina, Heptacloro, Hexaclorobenceno, Pentaclorobenceno, Mirex, Toxafeno, Clordecona, Alfa hexaclorociclohexano, Beta hexaclorociclohexano, no son comercializadas ni utilizadas en el país, producto de la generación de instrumentos legales para la prohibición de los mismos (Acuerdo Ministerial No. 0112 publicado en el Registro Oficial No. 64 con fecha 12 de Noviembre de 1992 y la Resolución No. 178 publicada en el Registro Oficial No. 594 con fecha 12 de diciembre de 2011) (MAATE, Actualización del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de la República del Ecuador, 2022).

En la siguiente tabla se describen las actividades realizadas del 2015 a la fecha en materia de identificación de plaguicidas como productos obsoletos o material contaminado, así como de su eliminación.

Tabla 7. Actividades realizadas para identificar plaguicidas COP como productos obsoletos o material contaminado.

AÑO	ACTIVIDAD
2015	AGROCALIDAD en cooperación con la FAO determinó 26 sitios, en los que se detectaron 17 toneladas de productos obsoletos y material contaminado.
2015	AGROCALIDAD en cooperación con la FAO exportaron 16 toneladas de productos obsoletos y material contaminado decomisado a Suecia para su eliminación.
2016	Inventario realizado por AGROCALIDAD de los PO a nivel nacional, se identificaron especialmente en las oficinas de AGROCALIDAD alrededor de 5.612,01 kg de los PO.
2017	Inventario Nacional de Plaguicidas Obsoletos (PO), realizado por AGROCALIDAD, APCSA e INNOVAGRO en 240 empresas y 2181 almacenes de expendio, teniendo como resultado 112.20 toneladas de los PO en almacenes (20,79 t) y empresas (91,41 t).
2019	Inventario de plaguicidas COP y obsoletos en Ecuador, determinó un total de 88,7 t de los PO COP y no COP y residuos relacionados, en almacenes (2,04 t), instituciones (65,70 t) y empresas (20,96 t).
2020	Se eliminaron 138 toneladas de plaguicidas obsoletos COP y no COP: En una primera fase, en junio, se eliminó un total de 76,6 toneladas incluidos desechos relacionados. Se incluyeron actividades de recolección, reempaque, carga en contenedores, transporte terrestre hasta el puerto de salida, transporte marítimo y terrestre en el país y su eliminación/destrucción, mediante un gestor nacional certificado (54,16 t) y la exportación para eliminación con un gestor en Suiza (22,44 t). En la segunda fase, en octubre, se eliminaron 119 toneladas de los PO y materiales relacionados por gestores nacionales calificados, y más de 19 toneladas fueron exportadas.

Fuente: MAATE, 2022.

De acuerdo con la Actualización del Plan Nacional de Aplicación de 2022, los principales hallazgos en cuanto a plaguicidas se muestran a continuación:

## DDT

El Ministerio de Salud Pública de Ecuador (MSP), en el año 2022 reportó la existencia de 50 toneladas de plaguicidas obsoletos, de los cuales 1,69 toneladas

son DDT que se encuentran almacenados y fueron usados para control de enfermedades transmitidas por vectores.

## Lindano

Se identificó la importación en el periodo 2013 a 2018 de **0,2 toneladas** de un subproducto de lindano bajo la subpartida arancelaria 3824.85.00.00 - Que contengan 1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano (HCH (ISO)), incluido el lindano (ISO, DCI). Esta subpartida se relaciona con la partida 3824 cuya descripción general es: Preparaciones aglutinantes para moldes o núcleos de fundición; productos químicos y preparaciones de la industria química o de las industrias conexas (incluidas las mezclas de productos naturales); esta descripción no está relacionada con el uso del lindano como insecticida.

## Pentaclorofenol

De acuerdo con datos del Banco Central del Ecuador (BCE) sobre importaciones y exportaciones de mercancías entre 2007 y 2008 se importaron desde China **28,2 toneladas** de pentaclorofenol (PCP) bajo la subpartida arancelaria 2908.11.00.

## PFOS Sulfuramida

Este compuesto se ha importado a Ecuador para uso agrícola bajo el nombre ATTA-KILL y FLURAMIN cuyo ingrediente activo es sulfluramida 3 g/kg, el primero de ellos con registro nacional vigente y el segundo, el FLURAMIN con registro nacional cancelado.

La información proporcionada por el Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE) indica que del periodo 2012 a 2020 se importaron desde Brasil **750,3 toneladas** de ATTA-KILL y de FLURAMIN para el mismo periodo **27,23 toneladas** provenientes también de Brasil.

Por su parte, Agrocalidad reportó la importación de 704,16 toneladas de ATTA-KILL desde el año 2014, mientras que la empresa importadora reporta que de 2009 a 2022 se importaron **1.261,8 toneladas** de ATTA-KILL.

## Dicofol

Los registros de plaguicidas que contienen esta molécula se encuentran cancelados en Ecuador. Fueron identificados **108 gramos** de dicofol importados entre enero 2012 y junio 2020 empleados probablemente en laboratorio o como muestra.

Entre 2013 y 2015 se identificó la importación de 194,1 toneladas de insecticidas bajo las partidas arancelarias 3808.91.19.00 y 3808.91.99.00, pero no se tiene la certeza de la cantidad exacta que corresponde al dicofol.

Por su parte Agrocalidad registró la importación de **704,16 toneladas** de los productos MITIGAN cuyo ingrediente activo es dicofol 210 g/l y ACARIN T cuyos ingredientes activos son dicofol 210 g/l y tetradifon 75 g/l, ambos productos con registro cancelado.

## Sitios con productos obsoletos

El Ecuador no ha realizado un inventario formal de sitios contaminados con plaguicidas COP, aunque en el año 2015, fueron identificados 26 lugares con 17 toneladas de productos obsoletos (POs) y material contaminado; siendo actualizado el inventario en el año 2016 con la colaboración de empresas de agroquímicos e instituciones públicas, evidenciando que, en 240 empresas y 2.181 almacenes de expendio evaluados existían almacenados 20,79 toneladas y en empresas 91,41 toneladas de POs, no necesariamente con COP.

Posteriormente, en el año 2020 se eliminaron 149,54 toneladas de plaguicidas obsoletos COP y no COP incluyendo actividades de recolección, reempaque, carga en contenedores, transporte terrestre hasta el puerto de salida, transporte

marítimo y terrestre en el país y su eliminación/destrucción, mediante un gestor nacional certificado (127,2 t) y la exportación para eliminación con un gestor en Suiza (22,44 t) (MAATE, Actualización del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de la República del Ecuador, 2022).

En materia de infraestructura de tratamiento, desde el año 2019 existe una empresa con autorización para la eliminación de agroquímicos fuera de especificaciones, es decir clorados y no clorados.

### **Inventario de Compuestos Orgánicos Persistentes No Intencionales**

En el 2004, el ex Ministerio del Ambiente, con el patrocinio del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) elaboró el Inventario Preliminar de Emisiones de Dioxinas y Furanos en el Ecuador, con base del 2003, en el cual se estimaron 98,53 g EQT/a, en su mayoría provenientes de procesos de combustión no controlada.

La principal vía de liberación de las emisiones de PCDD/PCDF fue el aire, con 65,49 g EQT/a. Esa información fue considerada cuando el Ecuador elaboró el Plan Nacional de Aplicación (PNA) en el 2006.

En el marco de los **COP No Intencionales (COPNIs)**, el inventario de Dioxinas y Furanos (PCDD/PCDF) en el 2013 estimó 280 g EQT/a. El 97% de tales emisiones las emitieron 4 grupos de origen:

- Grupo 2. Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos (9%) y,
- Grupo 4. Producción de productos minerales (2%),
- Grupo 6. Procesos de quema a cielo abierto (66% de las emisiones totales),
- Grupo 9. Eliminación y Rellenos Sanitarios (21%).

La vía de liberación al aire recibió el 56% de las emisiones de PCDD/PCDF (157 g EQT/a), al suelo 16% (45 g EQT/a) y en residuo 28% (77 g EQT/a) (Programa Nacional para la Gestión de Químicos, 2019b).

Tabla 8. Resumen de resultados de la generación de PCDD/PCDF 2013

Grupos de fuentes		Liberación anual (g EQT/a)				
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
1	Incineración de desechos	1	-	-	-	1
2	Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos	7	0	-	-	17
3	Generación de Energía y Calor	2	-	-	-	1
4	Producción de Productos Minerales	7	-	-	0	0
5	Transporte	2	-	-	-	-
6	Procesos de quema a cielo abierto	139	-	45	-	-
7	Producción Productos químicos y Bienes de consumo	0	0	-	-	0
8	Misceláneos	0	-	-	-	0
9	Disposición / Relleno Sanitario	-	1	-	-	57
Gran Total		280				
Totales por vía de liberación %		56	0	16	0	28

Fuente: MAATE, 2019.

En el 2018 las emisiones de PCDD/PCDF en el Ecuador se estimaron en 308 g EQT/a. El 98% de tales emisiones las emitieron 4 grupos de origen:

- Grupo 6. Procesos de quema a cielo abierto (63% de las emisiones totales),
- Grupo 9. Eliminación y Rellenos Sanitarios (23%),
- Grupo 2. Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos (9%) y,
- Grupo 4. Producción de productos minerales (2%).

La vía de liberación aire recibió el 53% de las emisiones de PCDD/PCDF (164 g EQT/a), residuo 28% (85 g EQT/a) y agua 3% (10 g EQT/a) (MAATE, 2022).



Tabla 9. Resumen de resultados de la generación de PCDD/PCDF 2018

GRUPOS DE FUENTES		LIBERACIÓN ANUAL (g EQT/a)				
		AIRE	AGUA	SUELO	PRODUCTO	RESIDUO
1	Incineración de desechos	1	-	-	-	4
2	Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos	7	0	-	-	20
3	Generación de Energía y Calor	1	-	-	-	0
4	Producción de Productos Minerales	6	-	-	0	0
5	Transporte	2	-	-	-	-
6	Procesos de quema a cielo abierto	147	-	48	-	-
7	Producción Productos químicos y Bienes de Consumo	0	0	-	-	0
8	Misceláneos	0	-	-	-	0
9	Disposición / Relleno Sanitario	-	10	-	-	61
1-9	<b>Total (g EQT/a)</b>	<b>164</b>	<b>10</b>	<b>48</b>	<b>0</b>	<b>85</b>
Gran Total		308				
<b>Porcentaje por la vía de liberación</b>		<b>53</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>28</b>

Fuente: MAATE, 2019.

Adicionalmente, de la comparación de los resultados de las emisiones de PCDD/PCDF de los años 2003 vs 2013 y 2018, calculadas con el Toolkit PNUMA 2003 y Toolkit PNUMA 2013, respectivamente, se observó que del 2003 al 2013 hubo un incremento de 181 g EQT (185%) o un incremento anual de 18 g EQT/a (18%/a) y del 2013 al 2018 hubo un incremento de 28 g EQT (10%) o un incremento anual de 6 g EQT/a (2%/a) (MAATE, 2022).

En los años 2019-2020, se realizó la consultoría “Diagnóstico, planes de acción y capacitación para reducir las emisiones de Contaminantes Orgánicos Persistentes No Intencionales (COPNIs)”. El Diagnóstico incluyó un análisis de las instituciones públicas y privadas que son partícipes en la gestión de COPNIs,

así como la actualización del inventario para 2013 y 2018, y la identificación de las principales actividades generadoras de COPNIs. Las principales fuentes de emisión para el 2013 y 2018 fueron: quema de biomasa, rellenos sanitarios, minería de vertederos, producción de hierro y acero y fundiciones.

Las actividades que reportaron mayor importancia de generación de COPNIs industriales son producción de ladrillos, producción de cemento, producción de hierro, acero y fundiciones.

Entre el 2019 y el 2020 fueron tomadas muestras de agua, suelo, aire y lixiviados en seis sitios (1 reserva natural, 1 relleno sanitario, 1 ingenio azucarero, 1 botadero a cielo abierto, 1 planta de acero, y 1 empresa gestora de desechos peligrosos), las cuales fueron enviadas a laboratorios internacionales certificados para comprobar la presencia de los COPNIs, ya que nacionalmente no existe la capacidad analítica para realizarlo localmente.

## **COP No Intencionales Industriales**

En el 2018 las emisiones de COP-NI Industriales (bifenilos policlorados PCB, hexaclorobenceno HCB, pentaclorobenceno PeCB, naftalenos policlorados PCN) se estimaron en 15,846 g EQT/a: 11,638 g EQT/a de HCB, 2,934 g EQT/a de PeCB, 1,257 g EQT/a de PCN y 17 g EQT/a de PCB.

Las principales fuentes de emisión fueron:

- a) Producción de productos minerales (63 %)
- b) Producción de metales ferrosos y no ferrosos (24 %)
- c) Procesos de quema a cielo abierto (8 %)
- d) Transporte (4 %).

Tabla 10. Estimación de las emisiones de COP industriales no intencionales 2018.

No.	Fuentes de emisión	Emisiones de COP-NI Industriales g EQT/a				Total	% Total
		PCB	HCB	PeCB	PCN		
1	Incineración de desechos	0	14	51	24	89	1
2	Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos	0	2,371	1,413	0	3,785	24
3	Generación de Energía y Calor	0	11	4	0	15	0
4	Producción de Productos Minerales	0	7,345	1,466	1,232	10,043	63
5	Transporte	0	669	0	0	669	4
6	Procesos de quema a cielo abierto	16	1,211	0	0	1,227	8
7	Producción Productos químicos y Bienes de Consumo	0	16	0	0	16	0
8	Misceláneos	0	0	0	0	0	0
9	Disposición / Relleno Sanitario	0	0	0	0	0	0
1-9	Totales tipo de COPNIs	17	11,638	2,934	1,257	<b>15,846</b>	100

Fuente: MAATE, 2022.

## INVENTARIO DE COP INDUSTRIALES Y COP EN PRODUCTOS

Los **COP industriales o COP en productos** incluyen varias sustancias listadas bajo el Convenio de Estocolmo desde el año 2009, conocidos como los nuevos COP.

El Ecuador, no produce sustancias químicas, ya que las mismas son importadas y utilizadas en la preparación de formulaciones o productos de síntesis secundaria para su directa comercialización o bien ingresan al país en tránsito. La industria química nacional se orienta principalmente a la producción de bienes de consumo, cosméticos, artículos de plástico, fibras sintéticas, jabones y detergentes, concentrados industriales, productos farmacéuticos y pinturas.

De acuerdo con los estudios realizados el PFOS y c-octaBDE (contenidos potencialmente en productos como ABS, poliestireno de alto impacto con ABS, cuero tratado, agentes de grabado, cloruro férrico, fluidos hidráulicos de aviación, insecticidas y retardantes de llama), pueden ser considerados como prioritarios, especialmente porque no son sustancias puras y son importadas en una variedad de bienes y partidas arancelarias (MAATE, 2022).

Como parte del Programa Nacional de Gestión de Químicos (PNGQ) se desarrollaron dos inventarios en 2019 y 2020. El primero abarcó como sustancias a: PFOS, Parafinas cloradas de cadena corta, Naftalenos policlorados (PCN), Hexaclorobutadieno (HCBd), Pentaclorofenol (PCP), PentaBDE-c, Octa-BDE-c, Deca-BDE-c, Hexabromobifenilo (HBB), Hexabromociclododecano (HBCD), Lindano, y Sulfuramida; los años evaluados correspondieron al 2013 y 2018.

El segundo inventario se realizó en el 2020 (2012-2020) consideró a: Acido perfluorooctanoico (PFOA) sus sales y compuestos relacionados, Dicofol, Acido perfluorohexano sulfónico (PFHxS) sus sales y los compuestos conexos del PFHxS, Metoxicloro, Dechlorane Plus sus syn-sómero y anti-sómero<sup>11</sup>, Bifenilos policlorados (PCB) en aplicaciones abiertas; y se realizaron análisis-pilotos de 131 muestras de sustancias y productos sospechosos de contener las sustancias COP de interés, a saber: sustancias PFAS (en especial PFOS, PFOA y PFHxS), compuestos bromados (penta, octa, deca bromo difenil éteres y HBCDD) y parafinas cloradas de cadena corta (PCCC) (MAATE, 2022). Estas muestras se enviaron al extranjero para su análisis. Entre las muestras enviadas se encuentran: insecticida para hormiga, espumas contra incendios, un tóner genérico para impresora, una pelota de caucho, recubrimiento de PVC para cable, resina de PVC, alfombras, y envases para alimentos, entre otros. Los resultados indican que la concentración algunos COP y otras PFAS fue rebasada en las muestras del insecticida, una espuma contra incendios, el tóner genérico, el recubrimiento y resina de PVC, así como en la pelota de caucho.

## Bifenilos policlorados

En el año 2016 fueron identificados 137 toneladas de desechos con Bifenilos Policlorados (PCB) provenientes del sector eléctrico, incluyendo desechos del archipiélago de las Galápagos, los cuales fueron destruidos en Holanda. Por otra parte, para efectos de cuantificar y controlar los progresos alcanzados frente a la identificación y eliminación de equipos y desechos contaminados con PCB se ha creado el Sistema Nacional de Inventario y Seguimiento (SNIS-PCB), el cual se enmarca en el Acuerdo Ministerial 146 sobre los Procedimientos para la gestión integral y ambientalmente racional de los PCB en el Ecuador. Actualmente, el país ha mejorado su capacidad analítica para la determinación de aceite dieléctrico contaminado con PCB, así como la capacidad de gestión de los gestores de almacenamiento y transporte de PCB. Existen gestores para la eliminación de equipos, aceites y desechos con concentraciones de 1 ppm de PC hasta 49 ppm, sin embargo, solo 1 gestor está autorizado para eliminar aceites y desechos con concentraciones de 50 o más ppm. No se identificaron avances en el inventario entre el 2019 y el 2020.

Una relatoría de las actividades realizadas a lo largo del tiempo en materia de los PCB se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11. Datos relevantes de PCB en el Ecuador

### Datos relevantes PCB

**2014:** Inventario global de transformadores en el sector eléctrico ecuatoriano, en el que se levantó información sobre equipos, aceites y desechos contaminados con PCB que las empresas eléctricas han generado, se identificaron 257.689 transformadores eléctricos a nivel nacional, solo se analizó en 39.748 su uso o desuso.

**2015:** Estudio para la determinación de sitios posiblemente contaminados con PCB en trece sitios pertenecientes a empresas del sector eléctrico, consultoría desarrollada por el proyecto PCB. En los trece sitios estudiados se realizó un análisis de las condiciones ambientales, geológicas e hidrogeológicas, así

como un análisis económico y la caracterización ambiental de cada sitio para la identificación de sitios contaminados con PCB.

**2016:** Se publicaron los procedimientos para la gestión integral y ambientalmente racional de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador (Acuerdo Ministerial 146 publicado en el Registro Oficial el 05 de enero de 2016).

**2016:** Se desarrolla el Sistema Nacional de Inventario y Seguimiento de Bifenilos Policlorados (SNIS-PCB) para disponer de datos actuales y reales sobre existencias de desechos con PCB a nivel nacional.

**2016:** Inventario de PCB en las islas Galápagos, se analizaron todos los transformadores de las islas identificando 12 equipos contaminados, y se procedió a su eliminación. Se nombró a las Galápagos como “Zona Libre de PCB” (aceites con menos de 50 ppm de PCB).

**2017:** Inventario de los equipos en desuso, como resultado se contabilizaron 26.400 equipos transformadores con aceite dieléctrico, de los cuales un 61% había sido por métodos cualitativos o cuantitativos, dando como resultado que el 21% de los equipos estaba contaminado con más de 50 ppm de PCB, mientras que el 79% estaban libres de PCB. Durante este ejercicio se identificó que también existían almacenados tanques con aceite contaminado de PCB (12.810 galones) resultando que el 19% del aceite no se había analizado, el 47% estaba libre de PCB y el 35% restante estaba contaminado con más de 50 ppm de PCB.

**2018:** Se logró la recolección, transferencia, pesaje, envasado, etiquetado y exportación de 137 toneladas de desechos contaminados con PCB (equipos, aceites y sólidos) de empresas eléctricas de Ecuador a Holanda para su tratamiento y eliminación.

**2020:** Evaluación de cumplimiento y actualización del AM 146 sobre los Procedimientos para la gestión integral y ambientalmente racional de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador.

Fuente: MAATE, 2019, 2022.

## Parafinas cloradas de cadena corta (PCCC)

De acuerdo con el BCE se tiene el registro de la importación del periodo de 1990 a 2018 de 265654.01 toneladas de productos con contenido de Parafinas Cloradas de Cadena Corta (PCCC), donde el contenido aproximado de este compuesto en los productos es de 53130.8 toneladas. Se tiene el registro además de las exportaciones que Ecuador ha realizado en el mismo periodo de tiempo.

El SENAЕ también tiene registrados datos sobre la importación de algunos productos con contenido de PCCC de 2015 a 2018. El contenido de PCCC estimado en estos productos es de 78.82 toneladas.

El análisis de inventario de Ecuador parte de un análisis macro de la información disponible para las Parafinas Cloradas (PCCC) con información de la Encuesta de Manufactura del INEC publicada en el 2010, con un consumo de 2942 t de PCCC, sin especificar longitudes de cadena.

Si se estima que un 20 % corresponde a las PCCC, se obtuvo como resultado un consumo de 588 t de PCCC en el 2010. A partir de esta información, se analizaron las partidas arancelarias asociadas con las PC reportadas por el Banco de Comercio Exterior (BCE) en el periodo de 1990-2018.



Tabla 12. Importaciones netas de Parafinas cloradas al Ecuador 1990-2018 de acuerdo con el reporte del Banco Central

Número de Subpartida	Descripción	Importación	Exportación	Total 1990-2018 (toneladas)
2712.20.00	Parafina con un contenido de aceite inferior al 0,75 % en peso	39.808,54	100,6	39.707,94
2712.90.30	Parafina con un contenido de aceite superior o igual a 0,75 % en peso	112.534,45	10,8	112.523,65
2712.90.90*	Los demás (ceras de parafina)	42.259,33	58,1	42.201,23
3812.20.00	Plastificantes compuestos para caucho o plástico	14.756,73	46,7	14.710,03
3913.90.10	Caucho clorado	214,29	0	214,29
3812.10.00	Aceleradores de vulcanización preparados	2.256,59	12,3	2.244,29
3824.90.21	Cloroparafinas	11.636,62	0,1	11.636,52
2710.19.34	Grasas lubricantes	33.525,30	982,40	32.542,90
3405.10.00	Betunes, cremas y preparaciones similares para el calzado o para cueros y pieles	8.911,98	15,13	8.896,85
3506.91.00	Adhesivos a base de caucho	989,51	35,06	954,45
2710.19.12	Aceites medios y preparaciones: Mezclas de n-parafinas	21,86	0	21,86
<b>Total: 265.654,01 con contenido del 20 % promedio de PCCC = 53.130,80</b>				<b>265.654,01</b>
<b>Promedio anual (29 años) = 1.832,09</b>				

Este Número HS de Ecuador coincide con uno de los cuatro indicados en la Guía (UNEP 2019 d), y con uno del listado del Convenio de Rotterdam.

Fuente: (Ecuador, s.f.)

## Compuestos polibromados

### Éter de pentabromodifenilo (PentaBDE-c)

Con relación al PentaBDE-c se estima una cantidad de 51695,8 Kg en el sector de vehículos hasta modelo 2004.

Tabla 13. Estimación del contenido de PentaBDE en vehículos 1975-2004 de acuerdo con la información del INEC

Tipos	Número de vehículos con COP en el Ecuador desde 1975 al 2004	Cantidad de PentaBDE-c (Kg) por unidad*	Factor de estimación de la proporción de vehículos afectados en la región de producción**	Cantidad total de COP-PBDE de Transporte en Ecuador (kg)
Automóviles	543.744	0,16	0,5	43.500,0
Buses	8.923	1,00	0,5	4.461,5
Carga pesada	46.679	0,16	0,5	3.734,3
<b>Totales</b>		<b>586.654</b>		<b>51.695,8</b>

Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/anuarios-de-transporte-2/>

\*Valores propuestos en UNEP 2017 b

\*\* factor regional del 50 % correspondiente a los vehículos afectados con este retardante de flama.

Fuente: MAATE, 2022.

## Sector de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

En materia de gestión de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE), los cuales contienen potenciales cantidades de éteres difenílicos polibromados (PBDE) y otros retardantes de llama halogenados. Según el reporte denominado “Regional E-waste Monitor for Latin America) desarrollado por UNITAR y la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) se estima que el total de AEE puestos en el mercado (POM – put on market) fue de 1,7 Mt (8,9 kg/hab.) en 2010, cifra que aumentó a 1,9 Mt en 2017 y disminuyó a 1,7 Mt (8,1 kg/hab.) en 2019. En Ecuador se considera que alrededor de 671 mil toneladas de residuos eléctricos y electrónicos han sido generados entre el 2012 y el 2020, por lo cual podrían existir alrededor de 17 mil toneladas de productos con posible contenido de retardantes de llama bromados (BFR) que no estarían diferenciados entre COP y no COP.

## *Éter de octabromodifenilo (OctaBDE-c)*

El principal uso de este compuesto fue en polímeros de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), que representa aproximadamente el 95 % del c-OctaBDE suministrado en la Unión Europea. El ABS tratado se usó principalmente para carcasas de equipos eléctricos y electrónicos (EEE), particularmente para carcasas de tubos de rayos catódicos (CRT) y equipos de oficina, tales como máquinas copiadoras e impresoras comerciales. Otros usos menores fueron el poliestireno de alto impacto (HIPS), el tereftalato de polibutileno (PBT) y los polímeros de poliamida. El OctaBDE-c fue producido en los Países Bajos, Francia, Estados Unidos, Japón, Reino Unido e Israel. La producción se detuvo en la UE, Estados Unidos y la cuenca del Pacífico en 2004, y no hay información que indique que se está produciendo en países en desarrollo.

Se estima que para el 2010 se tuvo un consumo aproximado de 108047 t de monitores de computador y cinescopios de TV, considerado un 30% de contenido de plásticos y de 0.87 a 2.54 % de contenido de octaBDE por tonelada, se tiene un total de 0.282 a 0.923 t de octaBDE.

## *Éter decabromodifenilo (DecaBDE)*

En el marco del inventario del 2019 del PNGQ fueron considerados ventiladores y las planchas como los principales productos importados a Ecuador con contenido del DecaBDE, con una estimación de 2.14 t entre 1990 y 2018.

## *Hexabromobifenilo (HBB)*

El HBB se utilizó como retardante de flama, principalmente en la década de 1970 y pertenece a un amplio grupo de bifenilos polibromados (PBB), sin embargo, no se encontró en el Ecuador.

## *Hexabromociclododecano (HBCDD)*

La aplicación principal de HBCDD (90 %), ha sido en espuma de poliestireno que se usa en paneles aislantes, utilizados ampliamente en edificios y construcciones. De acuerdo con los datos de importaciones y exportaciones de

espumas de poliestireno, se estima que las cantidades de HBCDD en poliestireno expandible van de 20,32 t a 40,65 t, dato que hay que verificar analíticamente.

### *Sustancias per y fluoralquiladas*

Para las sustancias Perfluoroalquiladas y Polifluoroalquiladas (PFAS) y el Ácido Perfluorooctano Sulfónico (PFOS), existen importaciones de productos con posible contenido de estas sustancias en alfombras, de espumas contra incendio, envolturas/cajas para alimentos, surfactantes y detergentes, semiconductores, textiles, utensilios antiadherentes, membranas de filtrado, equipos médicos, y en curtiduría, entre otras. Reportándose como de principal interés los siguientes productos: utensilios de cocina con 28.799,12 t, Teflón PTFE con 16,35 t, y las bolsas de alimentos para microondas con 491,73 t.

Para el caso de PFOS se estiman, en el periodo 2012-2020, importaciones de abrillantadores, alfombras, espumas contra incendios, cajas para alimentos, surfactantes y detergentes y semiconductores, por 308.852 toneladas. Los mayores volúmenes registrados fueron en los sectores de surfactantes y detergentes y semiconductores.

En PFOA las importaciones en el periodo de 2012 al 2020 representaron 88,746 toneladas en los sectores textil, curtiduría, utensilios de cocina, fotográfico, bolsas para microondas (palomitas), dispositivos médicos y membranas de filtrado, resaltando por sus volúmenes los sectores de textiles y utensilios de cocina.

El MAATE ha desarrollado un trabajo intenso con el apoyo de la cooperación internacional para el desarrollo, revisión e implementación de un marco normativo y regulatorio, así como en la elaboración y/o actualización de diversos documentos técnicos, como son el Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo, los inventarios de plaguicidas, de COPNI, de COP en productos, y de capacidades analíticas, entre otros.

## 5. SISTEMAS DE REPORTE

---

### SISTEMA NACIONAL DE INVENTARIO Y SEGUIMIENTO

Para cuantificar la existencia y eliminación de equipos y residuos contaminados con PCB se creó el Sistema Nacional de Inventario y Seguimiento (SNIS-PCB), el cual se enmarca en el Acuerdo Ministerial 146 sobre los Procedimientos para la gestión integral y ambientalmente racional de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador. Todas las empresas eléctricas y poseedores de PCB deberán cargar los datos de su inventario al SNIS.

### SISTEMA ÚNICO DE INFORMACIÓN AMBIENTAL (SUIA)

Se trata de una plataforma informática sobre datos ambientales estadísticos, geográficos y documentales, principalmente para regularización ambiental.

### SISTEMA DE REPORTE DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES

El sistema fue creado para el reporte de emisiones por parte del sector industrial, incluyendo COP. Actualmente, se reporta solo la generación de residuos peligrosos, incluyendo los que contengan COP.

## 6. CAPACIDAD ANALÍTICA

Los principales avances en cuanto a capacidad analítica en Ecuador se centran en tres iniciativas enfocadas a la implementación del Plan de Monitoreo Global, la acreditación de laboratorios y la capacidad de análisis de COP en laboratorios nacionales.

Tabla 14. Avances en capacidad analítica en Ecuador.

PERIODO	ACTIVIDADES
2010 - 2012	<p>Se implementó la Fase I del proyecto “Soporte en la Implementación del Plan de Monitoreo Global de COP en los países de América Latina y el Caribe” cuyo objetivo fue la recopilación y manejo de datos de niveles de COP, este incluyó la realización de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrenamientos y pruebas de intercalibración con el laboratorio de Agrocalidad, laboratorio de Ecotoxicología de la SCAN del MEER (actual Ministerio de Energía y Minas –MEM-) y un laboratorio internacional (IDAEA CSIC - España) para conocer la capacidad nacional para realizar análisis de COP en las espumas de poliuretano y en leche materna.</li> <li>• Muestreo de COP en aire mediante captadores pasivos (PAS) en Lloa, (población rural cercana a Quito) y mediante un equipo automático en el centro de la ciudad de Quito.</li> <li>• Muestreo de leche materna en diferentes sitios a nivel nacional en coordinación con MSP.</li> <li>• Análisis de COP en muestreadores PAS (aire) y leche materna por parte del laboratorio de AGROCALIDAD, laboratorio de Ecotoxicología de la SCAN del MEER y un laboratorio internacional (IDAEA CSIC - España).</li> </ul>
2015	<p>En el marco del proyecto PCB, los laboratorios de la SCAN del MEER y del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA) de la ESPOCH, participaron en un proceso de capacitación y evaluación de los requisitos para obtener la acreditación para determinación de PCB, logrando que el primero obtenga una designación por parte de la Subsecretaría de Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad y el segundo la acreditación por parte del SENA. Además, con el laboratorio de la</p>

PERIODO	ACTIVIDADES
	SCAN al ser una institución pública se estableció un convenio y se donó un cromatógrafo y suministros para pruebas con la finalidad de aumentar la capacidad operativa y obtener un precio preferencial para los ensayos de PCB a nivel nacional.
2020	El PNGQ desarrolló la consultoría “Evaluación de la capacidad analítica y necesidades de fortalecimiento a laboratorios nacionales para el análisis de Compuestos Orgánicos Persistentes (COP)”. Este estudio determinó que 20 laboratorios a nivel nacional cuentan con equipos de alta tecnología, de éstos 7 analizan COP, sin embargo, el nivel de confiabilidad de los resultados de ensayos fue bajo. Se identificaron los requerimientos de cada laboratorio, aplicando un costeo de necesidades. Con base al porcentaje de implementación de métodos de ensayo (por técnica de ensayo para COP) y el porcentaje de avance en el manejo de ISO 17025, se brindó apoyo al MEM pues contó con el menor monto de inversión y pudo abarcar un mayor número de ensayos de COP implementados.

Fuente: MAATE, 2022.

El PNGQ en el 2020 desarrolló la consultoría “Evaluación de la capacidad analítica y necesidades de fortalecimiento a laboratorios nacionales para el análisis de Compuestos Orgánicos Persistentes (COP)”, dicha consultoría permitió identificar laboratorios con potencial de desarrollar ensayos de COP en universidades e instituciones públicas.

Tabla 15. Instituciones Públicas con capacidad de análisis de COP.

INSTITUCIÓN	DEPENDENCIA	NOMBRE DEL LABORATORIO	ANÁLISIS DE COP	TÉCNICA PRINCIPAL
Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)	Estación Experimental Santa Catalina	Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos (LSAIA)	Micotoxinas	HRCG/FID UPLC-MS/MS
Servicio Ecuatoriano de Normalización - INEN	Laboratorios de Ensayos	Laboratorio de Ensayos Analíticos y Juguetes	Ninguno	HPLC-MS/MS



INSTITUCIÓN	DEPENDENCIA	NOMBRE DEL LABORATORIO	ANÁLISIS DE COP	TÉCNICA PRINCIPAL
Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (Agrocalidad)	Dirección de Inocuidad de Alimentos e insumos agropecuarios	Laboratorio de Contaminantes de Productos Agrícolas	Plaguicidas organoclorados, Bifenilos Policlorados (PCBs)	UPLC-MS/MS GC/ECD
Ministerio de Energía y Recursos Naturales No renovables.	Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares/Dirección de Aplicaciones Nucleares.	Laboratorio de Análisis Químico de Contaminantes Orgánicos.	Plaguicidas organoclorados, Bifenilos Policlorados (PCBs)	HRCG/EC D HRGC/HR SM
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI	Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos LANCAS	Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimentos LANCAS	Se encuentra en la fase de desarrollo de plaguicidas organoclorados en agua y sedimentos	HRGC/HR SM

Fuente: MAATE (2023) proporcionada para este estudio.

En Ecuador las universidades también cuentan con la capacidad para analizar COP, especialmente plaguicidas organoclorados y bifenilos clorados. Entre ellas, hay una que cuenta con el instrumental para analizar PFOS. La siguiente tabla muestra estas universidades.

Tabla 16. Universidades con capacidad de análisis de COP.

UNIVERSIDAD	FACULTAD	NOMBRE DEL LABORATORIO	ANÁLISIS DE COP ACTUALMENTE	TÉCNICA DISPONIBLE
Universidad Técnica de Machala	Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud	Laboratorio de Química y Toxicidad Ambiental	Pesticidas organoclorados	HRCG/EC HPLC-MS/MS
	Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud	Análisis orgánico	Ninguno	UPLC-MS/MS
	Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud	Microbiología-Farmacología y Toxicología-Bioquímica	Ninguno	LRCG/ELCD
	Facultad de Ciencias Químicas/Laboratorio de Investigación/Área Electroquímica	Laboratorio de Electroanalítica	Plaguicidas organoclorados	Métodos electroanalíticos Espectroscopia de Impedancia Electroquímica Voltametría de

UNIVERSIDAD	FACULTAD	NOMBRE DEL LABORATORIO	ANÁLISIS DE COP ACTUALMENTE	TÉCNICA DISPONIBLE
				Onda Cuadrada Voltametría de Redisolución Anódica
Universidad de Investigación de Tecnología Experimental YACHAY	Escuela de Ciencias Químicas e Ingeniería	Análisis Químico y de Caracterización	Ninguno	HRGC/HRSM HPLC-MS/MS UPLC-MS/MS
Escuela Politécnica Nacional	Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria / Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología	Laboratorio de Bioprocesos	Ninguno	Espectrofotometría UV-VIS
	Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria / Departamento de Ingeniería Química	Laboratorio de Combustibles, Biocombustibles y Aceites Lubricantes (LACBAL)	Ninguno	HRGC/HRSM
	Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria / Departamento de Ingeniería Química	Laboratorio de Análisis Instrumental	Ninguno	CG/FID CG/TCD
	Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria	Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros	Ninguno	Espectroscopía infrarroja, Espectroscopía UV-VIS, TGA, DSC
Universidad Regional Amazónica Ikiam	Facultad De Ciencias de la Vida	Laboratorio de Productos Naturales	Ninguno	HRCG/FID UPLC-MS/MS
	Dirección de Instalaciones Científicas	Laboratorio Nacional de Referencia del Agua	Ninguno	HRCG/ECD Cromatógrafo Iónico
Universidad Nacional de Chimborazo	Facultad Ciencias de la Salud	Laboratorio de Biología Molecular y Genética	Ninguno	HPLC-MS/MS
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)	Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas	Laboratorio de Análisis Químico Instrumental	Bifenilos Policlorados (PCBs)	HRCG/ECD HRGC/LRMS FTIR-HATR Absorción atómica UV-VIS
	Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador	Área de Bioproductos	Ninguno	HPLC GC/FID HPLC semipreparativa

UNIVERSIDAD	FACULTAD	NOMBRE DEL LABORATORIO	ANÁLISIS DE COP ACTUALMENTE	TÉCNICA DISPONIBLE
	Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador	Laboratorio de Bioproductos y Bioprocesos	Ninguno	HRGC/LRMS HPLC/detector de arreglo de diodos
	Facultad de Ciencias de la Vida	Laboratorio de Investigaciones Toxicológicas y Salud Ambiental	Ninguno	Espectrometría de Absorción Atómica Para el 2021 está planificada la adquisición de un HRGC/HRMS
Universidad Central del Ecuador (*)	Facultad de Ciencias Químicas	Laboratorio OSP	Plaguicidas organoclorados, Bifenilos Policlorados (PCB)	CG/MS
Universidad de Cuenca	Facultad de Ciencias Químicas	Centro de Estudios Ambientales (CEA)	Otros	HPLC-UV

(\*) Laboratorio acreditado en ensayo de COP  
Fuente: MAATE (2023) proporcionada para este estudio.

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), lleva a cabo el monitoreo de la calidad del aire, el agua y el suelo en todo el país, incluyendo la presencia de COP en aire y leche materna a través de la participación en el Plan de Vigilancia Mundial, además trabaja en la elaboración de políticas y regulaciones para reducir la exposición a estos contaminantes.

## MONITOREO DE COP EN ECUADOR

Como parte del Plan de Monitoreo Global (GMP) de Contaminantes Orgánicos Persistentes, en Ecuador se evaluó la presencia de COP en aire y agua, así como en leche materna a través del Proyecto “Apoyo a la Implementación del Plan Global de Monitoreo de COP en América Latina y el Caribe”. Este Proyecto permitió fortalecer la capacidad de monitoreo a nivel nacional y contribuir a la generación de datos para el GMP, apoyando el establecimiento de capacidades analíticas regionales y generación de datos de COP en las matrices aire, agua y leche materna. La segunda fase del muestreo en aire, agua y leche materna se realizó entre los años 2017 y 2018.

Tabla 17. Sitios muestreados por matriz y año de monitoreo en Ecuador.

Matriz	Sitio	Red de monitoreo	2009	2010	2011	2017	2018	2019
Aire	Quito I	AIR - GEF				X	X	
	Quito II	GAPS			X			
	Quito (UNEP)	AIR - GEF		X	X			
	Santa Cruz Island	GAPS	X					
Leche materna	Ecuador	MILK - WHO					X	
Agua	Ecuador, Daule and Babahoyo River Junction	UNEP/GEF GMP II				X	X	



Figura 2. Ubicación de los sitios de monitoreo.

Tabla 18. Grupos químicos medidos por matriz.

GRUPO QUÍMICO	AIRE	LECHE MATERNA	AGUA
Aldrin			
Alpha-hexaclorociclohexano ( $\alpha$ -HCH)			
Beta-hexaclorociclohexano ( $\beta$ -HCH)			
Clordano			
Clordecona			
Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT)			
Dicofol			
Dieldrin			
Endosulfan			
Endrin			
Gamma-hexachlorocyclohexane ( $\gamma$ -HCH)			
Heptachlor			

GRUPO QUÍMICO	AIRE	LECHE MATERNA	AGUA
Hexabromobiphenyl (HBB)			
Hexabromocyclododecane (HBCD)			
Hexachlorobenzene (HCB)			
Hexachlorobutadiene (HCBD)			
Mirex			
Pentachloroanisole (PCA)			
Pentachlorobenzene (PeCBz)			
Pentachlorophenol (PCP)			
Perfluorohexanesulfonate (PFHxS)			
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)			
Perfluorooctanoic acid (PFOA)			
Polybromodiphenyl ethers (PBDE)			
Polychlorinated biphenyls (dl-PCB) – coplanar			
Polychlorinated biphenyls (PCB) – indicator			
Polychlorinated dibenzodioxins (PCDD)			
Polychlorinated dibenzodioxins/dibenzofurans (PCDD/F)			
Polychlorinated dibenzofurans (PCDF)			
Polychlorinated naphthalenes (PCN)			
Short-Chain Chlorinated Paraffins (SCCP)			
Toxaphene			

El Proyecto, en su primera fase estuvo liderado por el MAATE y contó con la participación de otras instituciones. Para la segunda fase, el MAATE trabajó con el MEM, Agrocalidad y el MSP. En el caso del muestreo de agua contó con el apoyo de la ESPOL.

El Programa ha arrojado resultados importantes para conocer la presencia y distribución de COP en el ambiente y en la población. Del análisis de los datos de COP de Ecuador y su comparación con otros países de la región (ver gráficos Anexo 1) se enumeran los siguientes resultados relevantes.

a) En la matriz Leche Humana, Ecuador a nivel Latino América y el Caribe:

- Presentó el segundo máximo para la Suma 6 DDTs.
- Registró el valor más alto para p-p DDD.

- La Suma de WHO-PCDD/F PCB-TEQ (2005/UB) (53.763 pg/g fat) fue por encima del estándar de seguridad en leche materna de la OMS en el 2005 (0.2 – 0.9 pg/g lípidos).
- Reportó el valor más alto de dioxinas y furanos de la región.
- Mostró el primer máximo respecto al hexabromociclododecano (HBCD).

b) En la matriz Aire, Ecuador a nivel Latino América y el Caribe:

- Participó en los programas de monitoreo AIR-GEF y GAPS.
- Presentó el segundo máximo de HBCD, solo detrás de México.
- Reporta presencia de DDT.
- Mostró la presencia de hexabromociclododecano (HBCD).
- Ostentó el quinto máximo para la Suma 6 DDTs.
- Registró presencia de o-p DDD y o-p DDE.

c) Con relación a la matriz agua, los estudios al respecto son escasos, la información publicada indica la presencia de PFOA y de PFHxS.

Por otra parte, en el marco del Programa Nacional de Gestión de Químicos (PNGQ) y plan de muestreo y análisis de productos sospechosos de contener COP en 2020 se analizaron compuestos fluorados (PFAS), bromados (PBDE y HBCDD) y clorados (PCCC y PCCM) en 131 muestras que fueron enviadas para su análisis en la Universidad de Örebro y Vrije, de Suecia y los Países Bajos, respectivamente.

Entre las muestras enviadas se encuentran: insecticida para hormiga, espumas contra incendios, un tóner para impresora, una pelota de caucho, recubrimiento de PVC para cable, resina de PVC, alfombras, y envases para alimentos, entre otros. Los resultados indican que la concentración de algunos COP y otros PFAS fue rebasada en las muestras del insecticida, una espuma contra incendios, el tóner, el recubrimiento y resina de PVC, así como en la pelota de caucho.



## Conclusiones

La información contenida en este perfil de país, si bien limitada a datos de calidad del aire y de los estudios realizados dentro del Plan de Monitoreo Global, brindan elementos que permiten identificar problemas vinculados a COP y, en consecuencia, en donde se deben enfocar los esfuerzos en el diseño del Programa de Monitoreo para Ecuador.

En materia de calidad del aire se reporta que los problemas más importantes se presentan en las Ciudades de Quito y Guayaquil debido a la actividad industrial y al tránsito vehicular.

Los resultados de GMP, muestran que Ecuador a nivel Latinoamérica presenta el segundo máximo para DDT y el valor más alto para p-p DDD en leche materna. Como oficialmente su uso está prohibido, puede significar que se sigue utilizando de manera ilegal en algunas zonas agrícolas del país por lo que requiere un esfuerzo adicional de las autoridades para identificar las vías de ingreso de este plaguicida prohibido en el país, aunque el Ministerio de Salud Pública de Ecuador (MSP) identificó la existencia de 1.69 toneladas de DDT los cuales se encuentran almacenados con otros productos obsoletos para control de enfermedades transmitidas por vectores.

En Ecuador la SUMA de WHO-PCDD/F PCB-TEQ (2005/UB) (pg/g fat) es por encima del estándar de seguridad en leche materna de la Organización Mundial de la Salud en el 2005 (0.2 – 0.9 pg/g lípidos) con un valor de 2.53763 pg/g lípidos. Lo que representa una llamada de atención que obliga a revisar las fuentes de emisión y las áreas de exposición y rutas de ingreso al organismo. En ese sentido, también se detectó la presencia de PCB en la leche materna.

Ecuador, reporta el valor más alto de dioxinas y furanos de la región. Las principales fuentes de emisión de dioxinas y furanos están vinculadas a la quema a cielo abierto con el 63% de las emisiones totales, eliminación y rellenos sanitarios, 23%, producción de metales ferrosos y no ferrosos con el 9% y



producción de productos minerales con el 2%. En el 2018 las emisiones de PCDD/PCDF se estimaron en 308 g EQT/a, de las cuales el aire recibió el 53%, residuos el 28% y agua el 3%.

El problema de las quemadas a cielo abierto, de biomasa o residuos, es que se son fuentes difusas que se presentan principalmente en áreas rurales y zonas agrícolas, lo que sugiere la necesidad de instalar estaciones de muestreo en regiones con intensa actividad agrícola y zonas donde los sistemas de recolección de residuos sean insuficientes o limitados que obliguen a la población a quemarlos. El consumo de alimentos grasos de origen animal, como la carne, ciertos pescados, lácteos y mariscos son fuentes de D/F para el ser humano.

Respecto al hexabromociclododecano (HBCD), Ecuador, presenta en la región GRULAC el primer máximo. El HBCD se utiliza principalmente en espuma de poliestireno que se aplica en paneles aislantes, utilizado ampliamente en edificios y construcciones, lo que sugiere que puede estar en cualquier parte de país. En este caso es importante que se tomen muestras de los paneles utilizados en la construcción para determinar el contenido de HBCD. Para ello, se pueden tomar muestras de paneles nuevos en las empresas distribuidoras y

de paneles que puedan encontrarse en remodelaciones y demoliciones de edificios o casas habitación.

En la matriz aire, los resultados de los estudios realizados, indican que Ecuador presenta el segundo máximo de HBCD en la región GRULAC, solo detrás de México, lo cual es consistente con los resultados encontrados en leche materna. En materia de DDT, también se reporta presencia de este compuesto. La identificación de DDT en aire es indicativa que es reciente el uso de este plaguicida.

Con relación a la matriz agua, los estudios al respecto son escasos, la información publicada indica la presencia de PFOA y de PFHxS en el cuerpo de agua donde se midió. En este caso es importante considerar en el diseño del

programa de monitoreo, estaciones de muestreo que sean representativas, pueden ser cuerpos de agua receptores de descargas de aguas de la curtiduría o de la industria textil que son posibles fuentes de este tipo de compuestos.

Los datos reportados a la fecha identifican problemas que es necesario atender a través del monitoreo para confirmar los valores encontrados y delinear con base en los resultados planes de acción que eliminen las fuentes de emisión de estos compuestos. En este proceso es importante la participación de las instituciones y universidades con capacidad de medir COP y con interés de participar en el Programa.

## 7. PROPUESTA DE UN PLAN DE MONITOREO AMBIENTAL DE COP EN EL ECUADOR

---

La implementación de un programa de monitoreo de COP requiere recursos (económicos y de personal) y una visión de largo plazo, por lo que no es un proceso fácil de instrumentar, y debe ser altamente costo-efectivo.

Al momento de definir un programa de monitoreo, es necesario tener claro las respuestas que se buscan. Para el caso de los COP, las preguntas siguientes, se deben tener en cuenta al momento de diseñar el programa de monitoreo.

- ¿Cuáles son las fuentes de COP?
- ¿Cómo son transportados los COP?
- ¿Cómo y dónde se acumulan?
- ¿Cuál es su persistencia en los compartimentos ambientales?
- ¿Cuáles son los efectos en la salud de los seres humanos y la biota?
- ¿Cuáles son los riesgos a su exposición?
- ¿Cuáles son los costos de la inacción?

Un programa de monitoreo debe operar a largo plazo y sus resultados deben estar vinculados al establecimiento de políticas públicas en materia de protección de la salud y los ecosistemas. El programa de monitoreo consta de tres fases principales (Martinez & Manuweera, 2023):

- 1) **Diseño - planificación** del programa, donde se establecen los objetivos, incluidos los objetivos de calidad de los datos, las características del monitoreo, parámetros a monitorear, el tipo y frecuencia de muestreo, y los responsables, personas e instituciones participantes;
- 2) **Implementación**, que es donde se adquieren, usan o producen los datos y circunscribe muestreo o monitoreo, análisis de muestras y entrega de resultados;

- 3) **Evaluación** de programas, uso de conocimientos técnicos y métodos estadísticos para determinar si los datos satisfacen o no las necesidades del usuario y si es necesario mejorar el diseño del programa.

Una fase adicional a la estructura del Programa de Monitoreo de COP es el uso de la información generada en el diseño de políticas públicas orientadas a proteger la salud de los seres humanos y de los ecosistemas.

Las fases del programa de monitoreo y los componentes de este, se esquematizan en las figuras 3 y 4.

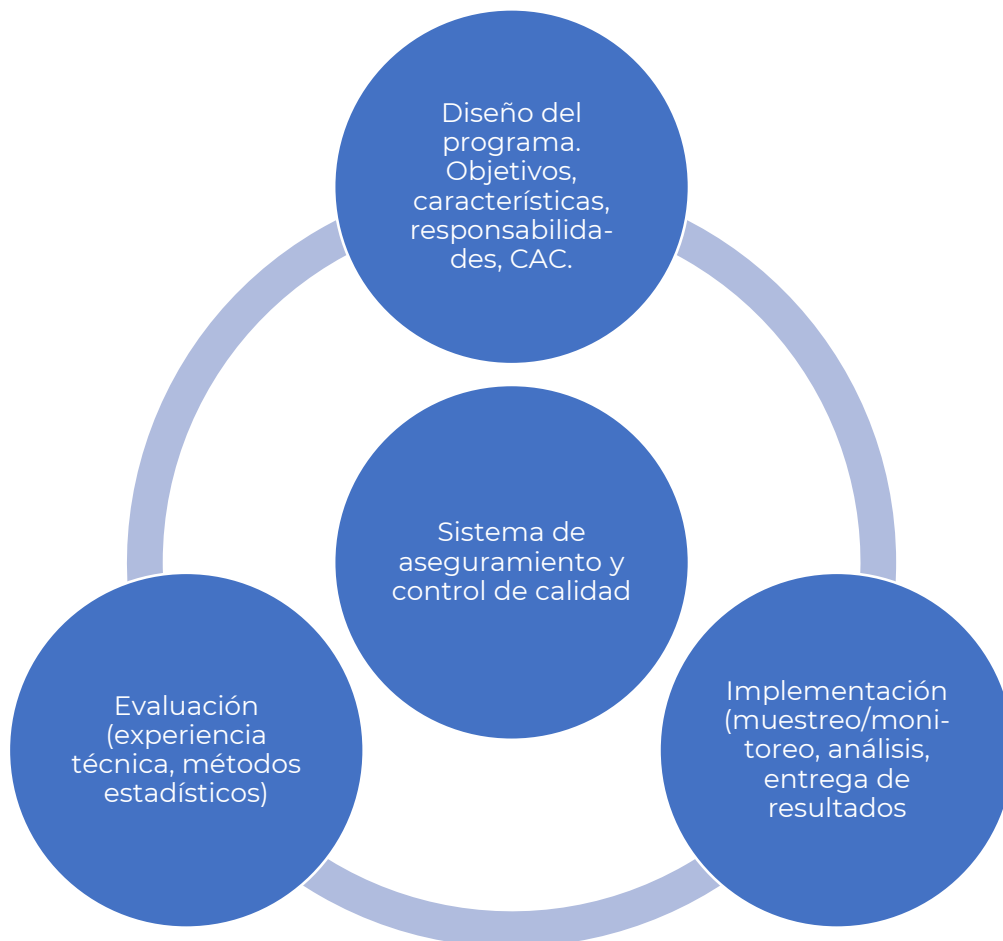


Figura 3. Fases del programa de monitoreo de COP.

Fuente: Martínez & Manuweera, 2023.

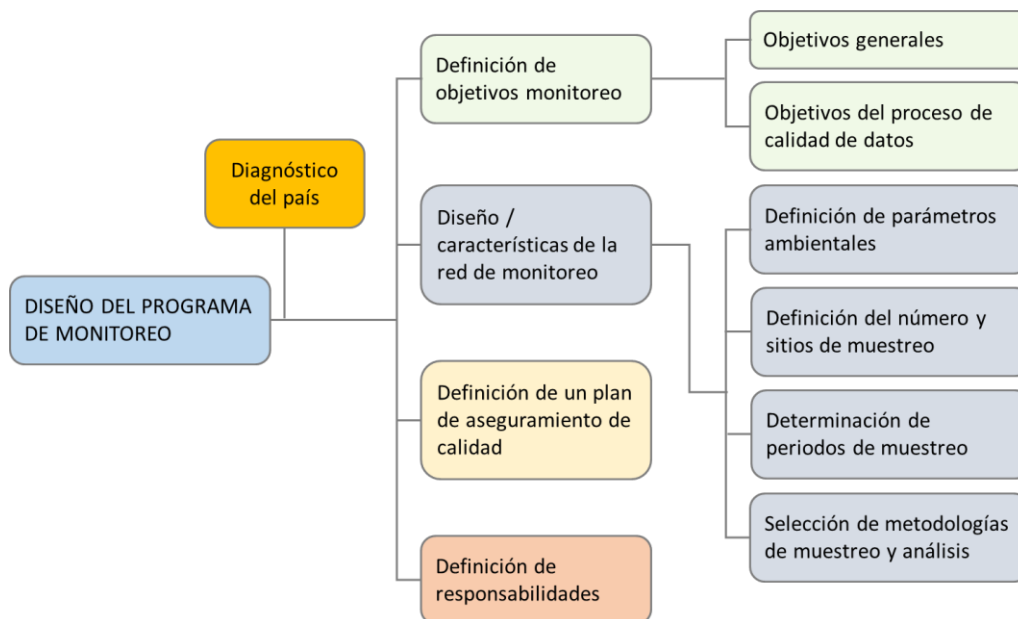


Figura 4. Componentes del programa de monitoreo de COP-  
Fuente: Elaboración propia con base en Martínez & Manuweera, 2023.

## Diagnóstico de la situación actual de COP

El diseño del programa de monitoreo de COP en Ecuador parte de un diagnóstico de la situación actual en el país de esos compuestos, que se puede consultar en la primera parte de este documento. Para la elaboración del diagnóstico, se realizó una recopilación y análisis de los estudios realizados por el sector académico e instituciones gubernamentales sobre el monitoreo o muestreo de COP en el país. Los datos se obtuvieron de información disponible, pero será necesario realizar una investigación más detallada, especialmente en el sector académico.

Para este análisis se revisaron informes técnicos, proyectos elaborados con el apoyo de agencias internacionales como el PNUMA y el PNUD, así como los planes nacionales de implementación e informes presentados al Convenio de Estocolmo.

Si bien se tiene información en algunas matrices, como aire, agua y leche materna, es claro que se requiere ampliar capacidades y el conocimiento de los

impactos que pueden tener en el ambiente y en la salud de los seres humanos la exposición a COP, lo que justifica la necesidad de implementar un programa de monitoreo.

## **Identificación de profesionistas e instituciones involucradas**

En los estudios previamente realizados, se identificaron en el Ecuador a diversas instituciones gubernamentales y académicas con capacidad para el análisis de algunos de los COP. Lo anterior es importante debido a que la implementación de un programa de monitoreo de estos compuestos podrá contar con la participación de estas instituciones.

En las tablas 15 y 16 se muestran las instituciones que mostraron interés en participar, los parámetros que analizan en laboratorio y las técnicas analíticas que utilizan.

## **Identificación de las necesidades de fortalecimiento de capacidades**

Si bien en el Ecuador, existen capacidades en algunos laboratorios, especialmente en el análisis de plaguicidas COP, es necesario que las instituciones realicen inversiones en la compra de equipo analítico con la capacidad de analizar la mayor parte de los COP listados en el Convenio de Estocolmo.

El caso de los COPNI como las dioxinas y furanos, por su complejidad en el análisis y los requerimientos de equipos altamente especializado y costoso, que necesita de instalaciones especiales y personal altamente capacitado, implica una evaluación detallada, para determinar si el costo beneficio justifica la compra de un equipo de estas características o las muestras obtenidas se siguen enviando al extranjero para su análisis. Resalta el papel que puede jugar en este proceso algunas instituciones públicas como el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, adscrito al MAATE, con el Laboratorio Nacional de Calidad de Aguas y Sedimento (LANCAS) que, de acuerdo con las fuentes

consultadas, ya cuenta con el equipo para realizar análisis de dioxinas y furanos. Pero aún es necesario desarrollar y validar los métodos de ensayo.

Una opción, que requiere de la coordinación con otros países y el apoyo de instituciones como el PNUD o el PNUMA, es la de instalar un laboratorio de dioxinas y furanos que brinde servicio a la región GRULAC.

Por otra parte, el fortalecimiento de capacidades es fundamental para asegurar una alta confiabilidad en los resultados esperados, para ello, será necesario crear una red de laboratorios y realizar pruebas de intercomparación e intercalibración para fortalecer las capacidades y niveles de confiabilidad de los análisis a realizar.

Es importante que se elaboren, o en su caso, se traduzcan los procedimientos analíticos para los COP aplicables a las diversas matrices ambientales, aire, agua, suelo, sangre, tejidos, y productos, entre otros; y que se estandaricen estos procedimientos en la red de laboratorios o laboratorio que participarán en el análisis de los COP.

Para evitar sesgos en las mediciones se recomienda que un solo laboratorio nacional analice todas las muestras ambientales.

## Objetivos del programa de monitoreo

### *Objetivo general*

Que el Ecuador desarrolle e implemente un programa de monitoreo y evaluación de COP que brinde información para instrumentar y evaluar acciones para reducir los impactos y riesgos a la salud y al ambiente por la exposición a los mismos.

### *Objetivos específicos*

- Contribuir al conocimiento de los mecanismos de transporte, rutas y acumulación de las COP seleccionados en los ecosistemas receptores;



- Conocer y anticipar el impacto a los ecosistemas o en un ecosistema específico por las COP seleccionados;
- Conocer y anticipar la exposición humana a los COP seleccionados y sus riesgos implicados;
- Brindar información para diseñar acciones para reducir la presencia de estos compuestos en el medio ambiente;
- Evaluar la efectividad de las medidas de mitigación establecidas para reducir riesgos a la salud y ecosistemas;
- Cumplir, como país signatario, con los compromisos adquiridos con el Convenio de Estocolmo.

## Características del programa de monitoreo de COP

El programa de monitoreo considera, al menos; el tipo de parámetros a investigar, el número y ubicación de los sitios o estaciones de muestreo, la cantidad de muestras y el manejo estadístico de los datos.

Para asegurar la calidad de los datos generados en el programa de monitoreo, es indispensable la elaboración de un plan de control y aseguramiento de calidad (QA/QC), que defina los lineamientos a seguir para que las desviaciones o los errores de diseño y medición del muestreo se manejen, atiendan o corrijan adecuadamente y se cumpla con el desempeño o criterios de aceptación especificados en los objetivos de calidad de datos, previamente establecidos.

## Definición de parámetros ambientales

De acuerdo con lo que señalan los planes nacionales de implementación elaborados, el Ecuador no produce COP, los que existen en el mercado, es por las importaciones de productos que los contienen o son generados de manera no intencional en los procesos de combustión.

Con base a la información disponible, no se tienen datos de que se hayan comercializado ni utilizado en el país, Aldrin, Clordano, Dieldrín, Endrin, Heptacloro, Hexaclorobenceno, Pentaclorobenceno, Mirex, Toxafeno,

Clordecona, Alfa hexaclorociclohexano, Beta hexaclorociclohexano. Tampoco, se encuentran registros del uso de Hexabromobifenilo.

Por lo anterior, el programa de monitoreo de COP podrá orientarse en una primera fase a plaguicidas como el DDT, dicofol, lindano, pentaclorofenol y la sulfuramida. Ecuador, como ya se mencionó presenta el segundo valor máximo de DDT y el primero de p-p-DDD en leche materna para la región GRULAC. Por lo que es indispensable que se incluyan dentro de los parámetros a considerar en el Programa.

En materia de COP industriales, se está en espera de los resultados de laboratorio de las muestras de diversos productos que pueden contener COP. A la fecha, los resultados de los estudios en leche materna indican presencia de HBDD, por lo que esta sustancia debe formar parte junto con los otros COP industriales como el hexaclorobenceno, Hexaclorobutadieno, pentaclorobenceno, pentaclorofenol sus sales y ésteres, ácido perfluorooctano sulfónico, ácido perfluorooctanoico, naftalenos policlorados, parafinas cloradas de cadena corta, éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo, bifenilos policlorados.

En materia de COPNI, aunque también se pueden encontrar emisiones de hexaclorobenceno, Hexaclorobutadieno, pentaclorobenceno, naftalenos y bifenilos, se recomienda orientar los esfuerzos en una primera fase a la medición de dioxinas y los furanos, dado que los resultados del UNEP/GEF GMP 2017-2018 mostraron que la suma de WHO-PCDD/F PCB-TEQ (2005/UB) (pg/g fat) está por encima del estándar de seguridad.

## **Matrices ambientales**

Las matrices ambientales por seleccionar pueden ser abióticas como agua, aire, suelo y/o sedimentos y bióticas como peces, aves u organismos indicadores (según el sitio y la sustancia), y biomonitoreo humano (bebés y adultos en edad reproductiva), entre otros.

Para el Programa se considera incluir las siguientes matrices;

- Aire, esta matriz es importante debido a que es un medio de transporte de COP que puede emplearse en varias escales espaciales, desde la micro a la global, permite realizar comparaciones a nivel global y evaluar tendencias con efectos regulatorios.
- Agua, si bien la mayoría de los COP son hidrofóbicos, es adecuado para medir la presencia de Perfluorados (PFOs, PFOA y PFHxS).
- Suelo, esta matriz es muy importante debido a que los COP al ser transportados por el aire, se depositan en suelos y por esa vía pueden ingresar a la cadena alimenticia. También cuando se encuentran cercanos a sitios de remediación o disposición final de residuo son un buen indicador de la presencia de compuestos orgánicos clorados.
- Leche materna, es una matriz útil para evaluar las tendencias temporales de dioxinas/furanos y otros COP. Los factores que afectan al contenido de dioxinas/furanos de la leche materna son la edad de las madres, la duración de la lactancia materna y el contenido de grasa de la leche.
- Especies bióticas significativas

Para las matrices bióticas que incluyen las plantas, animales y otros organismos es necesario identificar especies emblemáticas o representativas, ya sea alguna que este ampliamente distribuida en la mayor parte del país y por especies que sean representativas del lugar, cuando se han identificado problemas o fuentes de emisión o liberación de COP. El MAATE en colaboración con otras instituciones e investigadores especializados principalmente de la academia, deberá seleccionar las especies que pueden formar parte del Programa.

## **Definición de otros parámetros**

Otros parámetros que deben considerarse en el diseño del programa de monitoreo son la velocidad y dirección del viento, el relieve, edificios o construcciones grandes, áreas agrícolas, zonas boscosas, entre otros, como elementos a considerar en la selección y ubicación de sitios

## Definición y selección de los sitios de muestreo

La definición de los sitios de muestreo estará en función de los objetivos del programa de monitoreo que el país seleccione y debe ser representativa de las condiciones de una población o región específica, por lo que deberá considerar las escalas temporales y espaciales para estimar el número y tipo de sitios y su ubicación.

Los resultados del diagnóstico indican que las principales fuentes de emisión de dioxinas y furanos son los procesos de quema a cielo abierto (quema de biomasa), producción de metales ferrosos y no ferrosos (producción de hierro y acero y fundiciones), la producción de productos minerales y los rellenos sanitarios, predominando con el 63.3% de las emisiones totales, la quema a cielos abierto con 147 g EQT al aire y 48 g EQT al suelo

En materia de COPNI industriales, se tomaron muestras para analizar BPC, HCB, PeCB, PCN. En el caso de la producción de productos minerales, se resalta que, a excepción de los BPC, se encontraron todos los compuestos.

Las principales fuentes de emisión de estos compuestos fueron:

- a) Producción de productos minerales (63%)
- b) Producción de metales ferrosos y no ferrosos (24%)
- c) Procesos de quema a cielo abierto (8%)
- d) Transporte (4%).

Para el caso de COP de uso industrial, los resultados de los inventarios realizados indican que en materia de los PFAS y compuestos bromados (contenidos potencialmente en productos como ABS, poliestireno de alto impacto con ABS, cuero tratado, agentes de grabado, cloruro férrico, fluidos hidráulicos de aviación, insecticidas y retardantes de llama), pueden ser considerados como prioritarios.

Reportándose como de principal interés los siguientes productos: importaciones de abrillantadores, alfombras, espumas contra incendios, cajas para alimentos, surfactantes y detergentes y semiconductores. En el periodo 2012 - 2020, se reportaron 308,852 toneladas de PFOS. En PFOA las importaciones en el periodo de 2012 al 2020 representaron 88,746 toneladas en los sectores textil, curtiduría, utensilios de cocina, fotográfico, bolsas para microondas (palomitas), dispositivos médicos y membranas de filtrado

Con relación al PentaBDE-c se estima una cantidad de 51,695.8 Kg en el sector de vehículos hasta el modelo 2004.

Respecto a los residuos electrónicos se estima en 17 mil toneladas de productos con posible contenido de retardantes de llama bromados (BFR) que no estarían diferenciados entre COP y no COP.

En el marco del inventario del 2019 del PNGQ fueron considerados ventiladores y las planchas como los principales productos importados a Ecuador con contenido del DecaBDE, con una estimación de 2.14 t entre 1990 y 2018.

Para el hexabromociclododecano se estima que las cantidades de HBCDD en poliestireno expandible van de 20.32 t a 40.65 t, dato que hay que verificar analíticamente.

Respecto a los PCB, aunque se ha realizado la destrucción de residuos con este compuesto, es importante continuar con la identificación de posibles sitios donde se pueda tener almacenado, de ahí la necesidad de incluirlo dentro de la estrategia de monitoreo.

Los datos anteriores resaltan la importancia de considerar dentro de la estrategia de monitoreo, el análisis de productos que pueden contener COP. En este sentido, como ya se mencionó, el Ecuador ya ha enviado a analizar muestras de productos como insecticida para hormiga, espumas contra incendios, un tóner para impresora, una pelota de caucho, recubrimiento de PVC para cable, resina

de PVC, alfombras, envases para alimentos, entre otros. Los resultados indican que la concentración de PFAS fue rebasada en las muestras del insecticida, una espuma contra incendios.

Con el marco de referencia anterior, se sugiere que el Programa de Monitoreo de COP en el Ecuador, contemple en una primera fase, los siguientes sitios.

Para la matriz aire:

Respecto a las ubicaciones de los sitios de monitoreo de la matriz de aire la EPA (EPA,2017) recomienda, evaluar la ubicación potencial de un sitio de aire para determinar la escala considerando lo siguiente:

- la ubicación e intensidad de las emisiones de las fuentes cercanas, especialmente las fuentes principales
- dirección predominante del viento en el área
- uniformidad del uso del suelo;
- densidad de población cercana.

Lo anterior, requiere de información detallada sobre la ubicación de las fuentes de emisión, la variabilidad geográfica de las concentraciones de contaminantes ambientales, las condiciones meteorológicas y la densidad de población. La variabilidad de las fuentes y sus intensidades de emisiones, los tipos de uso del suelo. Cada sitio debe ser estudiado individualmente, con base en la mejor evidencia disponible y en la experiencia del equipo responsable del programa de monitoreo.

Asimismo, los sitios deben clasificarse de manera estandarizada. El siguiente cuadro muestra la clasificación que recomienda la Guía GMP 2021 y los criterios de aplicación.

TIPO DE SITIO	TIPO DE FUENTE POTENCIAL (ES POSIBLE MÁS DE UN SITIO)
Urbano	industrial
Sub-urbano	tránsito
Rural	habitacional
Remoto	agrícola
Altitud alta	sector residuos
Polar	ninguno, <i>i.e.</i> sitio de fondo continental
Marino/costero	

Nota: la densidad de población se puede utilizar como una guía aproximada para la clasificación de sitios:

**urbano** = >200 000 habitantes en un radio de 10 km.

**suburbano** = entre 20 000 y 200 000 habitantes en un radio de 10 km.

**rural** = entre 2000 y 20 000 habitantes en un radio de 10 km.

**remoto** = relativamente deshabitado (<2000 habitantes en un radio de 10 km)

Fuente: GMP, 2021.

Considerando la experiencia obtenida en anteriores mediciones, dentro de los proyectos GAPS y AIR-GEF, se sugiere seleccionar dos sitios a nivel urbano, en Quito y Guayaquil, que son las ciudades con mayores problemas de calidad del aire y mayor concentración industrial. Para el caso de Quito, se puede seleccionar alguno de los sitios considerados en estudios previos de los proyectos del GMP. En Guayaquil, será necesario que el MAATE con su experiencia en el tema y con la colaboración de especialistas en el tema, seleccione el sitio más adecuado

Como sitio de referencia se sugiere a la Isla de Santa Cruz para la instalación de una estación que mida los COP en aire, de acuerdo con los resultados de los inventarios y de los muestreos realizados en aire, las quemas a cielo abierto de biomasa son de las principales fuentes de emisión de dioxinas y furanos, por lo que se sugiere que el MAATE seleccione al menos un sitio orientado a fuente, que permita evaluar las aportaciones de las quemas.



## *Matriz agua*

Para la matriz de agua, la Guía GMP 2021 recomienda preferentemente los ríos, aunque se pueden utilizar los datos de otros sitios.

En este contexto se recomienda seleccionar un sitio de referencia a escala regional, que puede ser la Isla de Santa Cruz en las Galápagos.

Para sitios orientados a fuente, es importante considerar sitios con actividad agrícola, industrial o urbana que el diagnóstico haya identificado. Para ello, el MAATE deberá identificar cuerpos de agua cercanos a este tipo de actividades. Como ya se ha mencionado, en agua los análisis están enfocados a la medición de Perfluorados.

## *Suelos o sedimentos*

El MAATE, deberá seleccionar sitios para el muestreo de suelo o sedimentos. Se recomienda que el sitio de referencia de la Isla de Santa Cruz en la Galápagos, se utilice como el sitio específico para medir en todas las matrices los COP listados en el CE.

Por otro lado, el MAATE deberá seleccionar sitios orientados a fuente que permitan identificar los impactos de los sectores agrícola, industrial y urbano.

## *Leche materna*

Con base en los resultados obtenidos en los estudios realizados, los valores de DDT, DDE y dioxinas y furanos en leche materna son de los más altos registrados en la región GRULAC, por lo que es indispensable que el Programa de monitoreo incluya esta matriz. Se sugiere llevar a cabo el muestreo de COP en leche materna en poblaciones cercanas a sitios de quema de biomasa e industria de la fundición. Para precisar las características del procedimiento para el monitoreo de COP en leche materna se recomienda revisar el documento publicado por el

PNUMA/GEF en el 2010, Procedimiento operativo estándar para el muestreo de COP en leche materna (PNUMA, GEF. 2010)

### *Productos*

Se recomienda tomar muestras de productos reportados con posible contenido de COP, tal como ya se hizo previamente por parte del gobierno de Ecuador. Los productos pueden ser como abrillantadores, alfombras, espumas contra incendios, cajas para alimentos, surfactantes y detergentes y semiconductores, cuero tratado, agentes de grabado, cloruro férrico, fluidos hidráulicos de aviación, insecticidas, retardantes de llama, ventiladores, planchas, poliestireno expandido.

### *Determinación de periodos de muestreo*

Los períodos de muestreo incluyen la duración del programa, la frecuencia de muestreo y el tiempo de muestreo. La frecuencia de muestreo y el tiempo de muestreo dependen principalmente de los equipos seleccionados para cumplir con los objetivos de monitoreo; mientras que la duración del programa esta principalmente relacionada con la calidad de datos que se pretenden recolectar. Como ya se ha mencionado, un programa de monitoreo debe tener una visión de largo plazo y ser constante, para poder determinar tendencias y sustentar la toma de decisiones.

La Guía GMP 2021 recomienda:

- Para la **matriz de aire** cuatro muestreos pasivos con espumas de poliuretano (PUF) con tres meses de implementación para cada PUF, cubriendo un año calendario completo o con muestreadores XAD con implementación anual.
- Para la **matriz agua** se recomienda el muestreo en cada sitio seleccionado cuatro veces al año (mismo sitio y con el mismo método) (PNUMA; 2021).

El tiempo de muestreo se puede determinar en función de las concentraciones esperadas de contaminantes y del equipo de muestreo a utilizar, como se mencionó:

- **Muestreo activo** puede ser de horas.
- **Muestreo pasivo con PUF** puede ser de meses.
- **Muestreo pasivo con resinas XAD** hasta un año.

En el caso del **Ecuador para la matriz de aire** y para el sitio de referencia La Isla de Santa Cruz en la Galápagos, se recomienda un año completo de muestreo pasivo con resinas XAD. Para los sitios urbano u orientados a fuente se recomienda un muestreo pasivo trimestral con PUF, para observar y evaluar cambios estacionales.

Para la **matriz agua**, se sugiere cuatro muestreos anuales en los cuerpos de agua seleccionados.

## Selección de metodologías de muestreo y técnicas analíticas

La elección de la metodología de muestreo y de los procedimientos analíticos dependen del tipo de sustancia y de la matriz seleccionada en el programa de monitoreo.

Entre otros, los métodos de muestreo consideran el muestreo pasivo simple, el muestreo activo como el monitoreo semicontinuo y continuo y el biomonitoreo.

Para el análisis de las muestras colectadas, se necesita la participación de laboratorios acreditados en las técnicas de muestreo y análisis. Por lo general, los laboratorios se acreditan en técnicas que permiten cumplir con alguna disposición normativa, debido a que ese tipo de directivas crean una demanda en el mercado. Si los parámetros incluidos en el programa de monitoreo no tienen alguna norma que exija su medición, será difícil que se tenga un laboratorio acreditado. Es seguro que para la mayoría de los plaguicidas si existen

laboratorios acreditados en el Ecuador, pero para los COP industriales que se han incorporado al CE en los últimos años, es probable que todavía no se hayan acreditado las técnicas analíticas que permiten determinar su composición.

Por lo anterior, es importante, que, como uno de los primeros pasos a implementar dentro del programa de monitoreo, se desarrolle una estrategia de acreditación de laboratorios nacionales para los métodos analíticos específicos de las sustancias incorporadas en el CE.

Ejemplos de técnicas de laboratorio y de los equipos adecuados para el análisis se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 19. Técnicas de laboratorio por tipo de contaminantes persistentes

PARÁMETRO	TÉCNICA
Dibenzo (p) dioxinas y furanos (PCDD/F) policloradas	HRGC/HRMS
Dibenzo (p) dioxinas y furanos (PBDD/F) polibromadas	HRGC/HRMS
Mezcla de halogenados. Dibenzo (p) dioxinas y furanos (PBCDD/F) polibromados/clorados	HRGC/HRMS
Retardantes de flama bromados (PBDE, PBB, HBCD, TBBPA)	HRGC/LRMS
Cloroparafinas (C <sub>10</sub> -C <sub>17</sub> )	HRGC/NCI MS
Compuestos perfluorados (PFCs). PFOA, PFOS	LC/MS-MS
Clorobencenos (PCBz) and clorofenoles (PCPh)	HRGC/LRMS
Bifenilos policlorados (PCB incl. WHO-PCB)	HRGC/HRMS
Plaguicidas organoclorados	HRGC/ECD

HRGC/HRMS = Cromatografía de gases de alta resolución / Espectrometría de masas de alta resolución  
 HRGC/LRMS = Cromatografía de gases de alta resolución / Espectrometría de masas de baja resolución  
 HRGC/NCIMS = Cromatografía de gases de alta resolución / Espectrometría de masas con ionización química negativa.  
 LC/MS-MS = Cromatografía de líquidos / espectrometría de masas-masas  
 HRGC/ECD = Cromatografía de gases de alta resolución / detector de captura de electrones

Fuente: Gutierrez Avedoy Victor. 2016. Fortalecimiento de capacidades analíticas en el marco de la actualización del Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo en México. ONUDI-SEMARNAT. 31 pp.

Las guías GMP 2007 y 2021 (PNUMA, 2007 y 2021) describen en detalle el diseño de muestreo, la preparación y el análisis de muestras, QA/QC en medios básicos para COP heredados, y su capítulo 5 cubre la mayoría de los aspectos

de los métodos analíticos, incluidos otros medios. El capítulo 4 de la Guía GMP 2021 cubre el muestreo de agua y recomienda documentos con métodos para varias matrices como las de AMAP 2015, 2016b, 2017, EMEP 2001 y OSPAR 2013, entre otras. (Martinez & Manuweera, 2023).

## **Plan de aseguramiento de calidad**

En el Anexo 2 se encuentra los principales pasos a seguir para desarrollar un Plan de Proyecto de Garantía de Calidad, que es fundamental para asegurar la calidad de los datos generados a lo largo del proceso de monitoreo de COP.

## 7. REFERENCIAS

---

Banco Mundial (2023). Obtenido de

<https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?locations=EC>.

CEPAL (s.f.). Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe:

<https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/fortalezas-desafios-regionales>.

Ecuador, B. C. (s.f.). Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/>.

El Economista, 2022. ¿En cuántas provincias, cantones y parroquias está dividido el Ecuador? Disponible en:

<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/provincias-cantones-parroquias-dividido-ecuador.html>

Martinez & Manuweera (2023). POPs Monitoring Roadmap. The Basel Convention Coordinating Centre, Stockholm Convention Regional Centre, for Latin America and the Caribbean (BCCC-SCRC), 2023. Martínez Ana Patricia & Gamini Manuweera. En proceso de publicación.

MAATE (2019). Programa Nacional de Gestión de Químicos.

MAATE (2022). Actualización del Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes de la República del Ecuador.

MAATE (2023). Informe técnico sobre COP en Ecuador elaborado por el MAATE. 18 pp.

UNESCO (2021). Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura: <https://es.unesco.org/biosphere/lac/galapagos#:~:text=M%C3%A1s%20de%2045%20especies%20de,plantas%20vasculares%2C%20bri%C3%B3fitas%20y%20algas>.

## ACRÓNIMOS

---

$\gamma$ -HCH	Gamma-hexaclorociclohexano
CE	Convenio de Estocolmo
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Azufre
CO <sub>2</sub> e	Dióxido de Azufre equivalente
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes
COPNI	Compuestos Orgánicos Persistentes No Intencionales
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
Deca-BDE	Éter de decabromodifenilo
DWH	Almacén de datos de GMP (DWH, por sus siglas en inglés)
EQT	Concentración de Equivalentes Tóxicos (EQT, por sus siglas en inglés)
GEF	Fondo Mundial para el Medio Ambiente
GEF	Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés)
GMP	Plan de Vigilancia Mundial (Convenio de Estocolmo)
GRULAC	Grupo Regional de América Latina y el Caribe
HBB	Hexabromobifenilo
HBCD	Hexabromociclododecano
HCB	Hexaclorobenceno
HCBD	Hexaclorobutadieno
MAATE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador



PBDE	Éter de Hexabromobifenilo y éter de heptabromobifenilo
PBDE	Éter de tetrabromodifenilo y éter de pentabromodifenilo
PCB	Bifenilos policlorados
PCCC	Parafinas cloradas de cadena corta
PCDD	Dibenzo-para-dioxinas policloradas
PCDF	Dibenzofuranos policlorados
PCN	Naftalenos policlorados
PCP	Pentaclorofenol, sus sales y ésteres
PeCB	Pentaclorobenceno
PFAS	Perfluoroalquiladas y Polifluoroalquiladas
PFHxS	Ácido perfluorohexano sulfónico, sus sales y compuestos relacionados
PFOA	Ácido perfluorooctanoico
PFOS	Ácido perfluorooctano sulfónico
PNA	Planes Nacionales de Aplicación
PNGQ	Programa Nacional de Gestión de Químicos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PO	Plaguicidas obsoletos
PVC	Policloruro de Vinilo
PyMEs	Pequeña y mediana empresa
PUF	Muestreos pasivos con espumas de poliuretano
QA/QC	Aseguramiento y control de la calidad
SCCPs	Parafinas cloradas de cadena corta
SNIS-PCB	Sistema Nacional de Inventario y Seguimiento
SUIA	Sistema Único de Información Ambiental

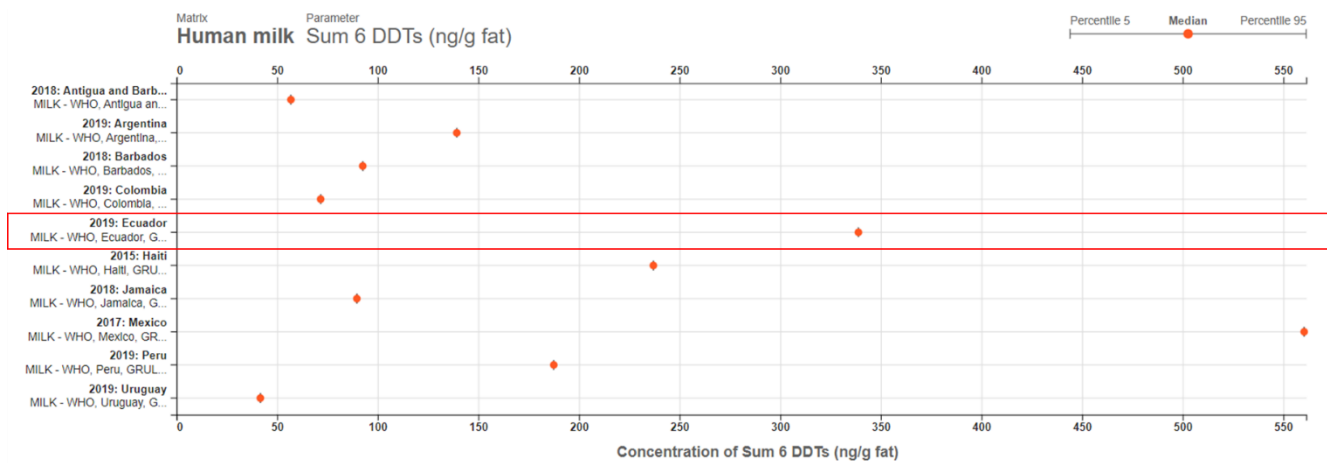
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés)
WHO	Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés)
XAD	Resina de copolímero estireno-divinilbenceno (XAD, por sus siglas en inglés)
$\alpha$ -HCH	Alfa-hexaclorociclohexano
$\beta$ -HCH	Beta-hexaclorociclohexano

# ANEXOS

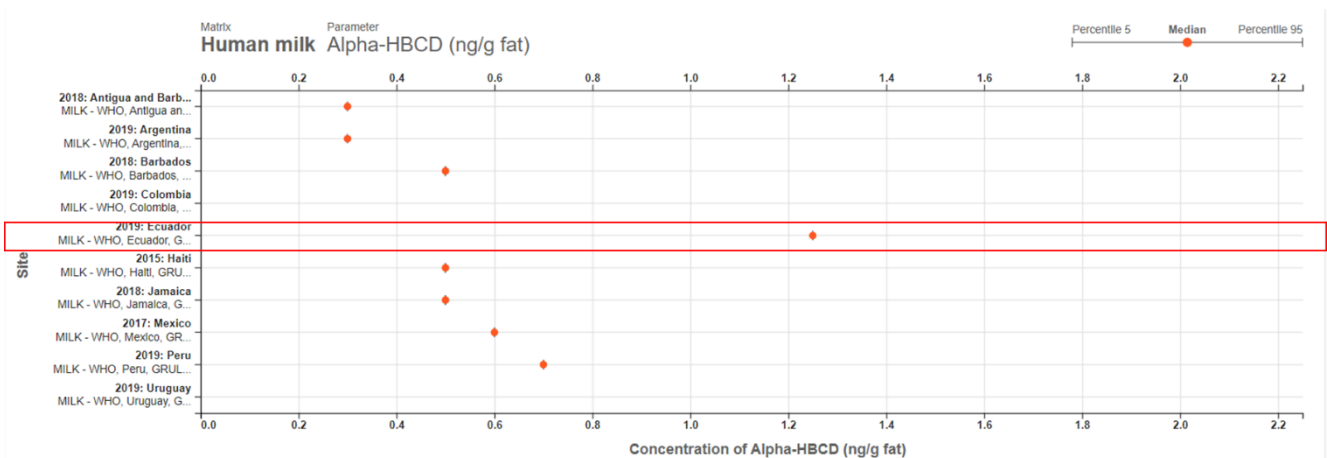
## ANEXO 1. EJEMPLO DE GRÁFICOS DEL ALMACÉN DE DATOS DE GMP

### Matriz: Leche Humana

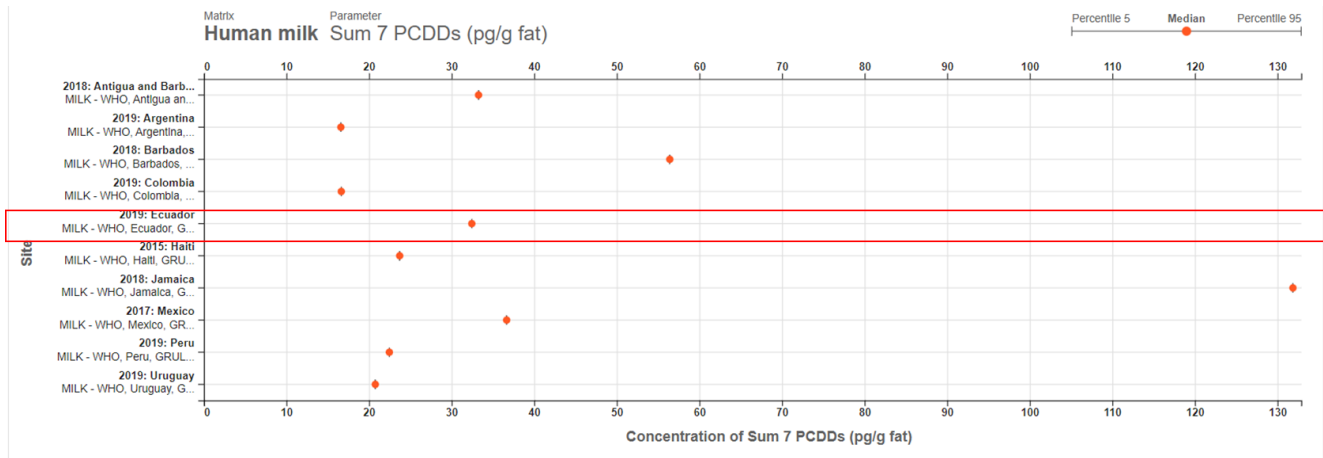
Ecuador presentó el segundo valor para la suma 6 DDTs en Latino América y el Caribe



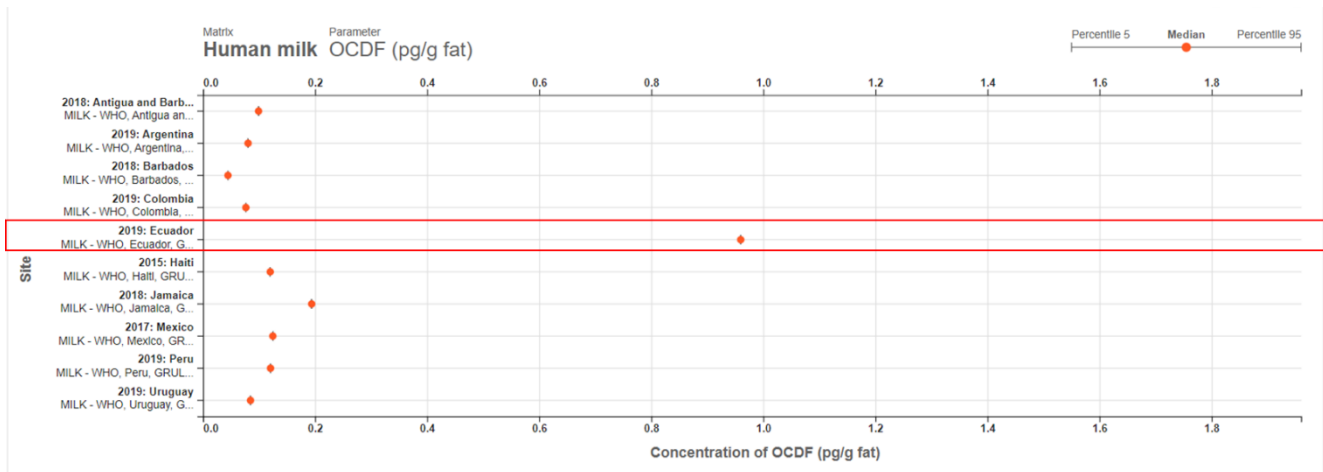
Ecuador registró el primer máximo de Alpha-HBCD



## Ecuador tuvo el quinto máximo de la SUMA 7 PCDDs

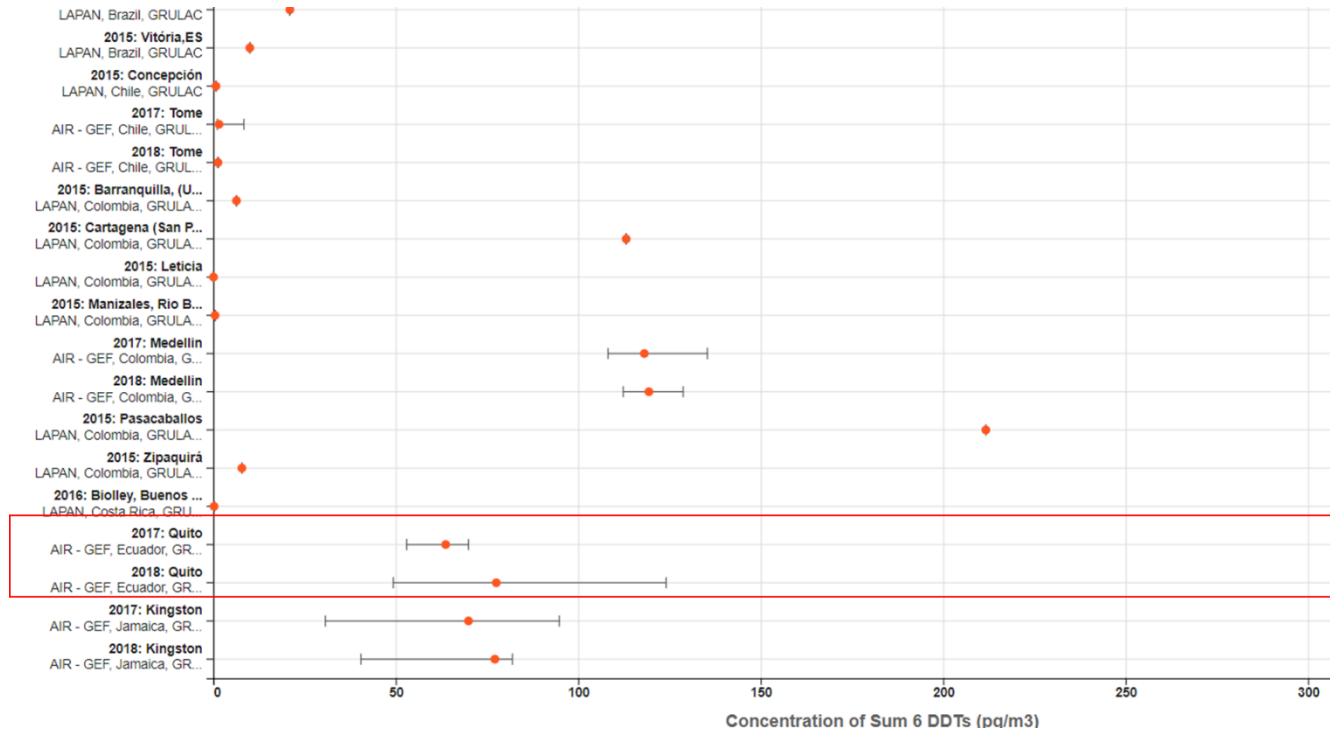


## Ecuador registró el primer máximo de la OCDF

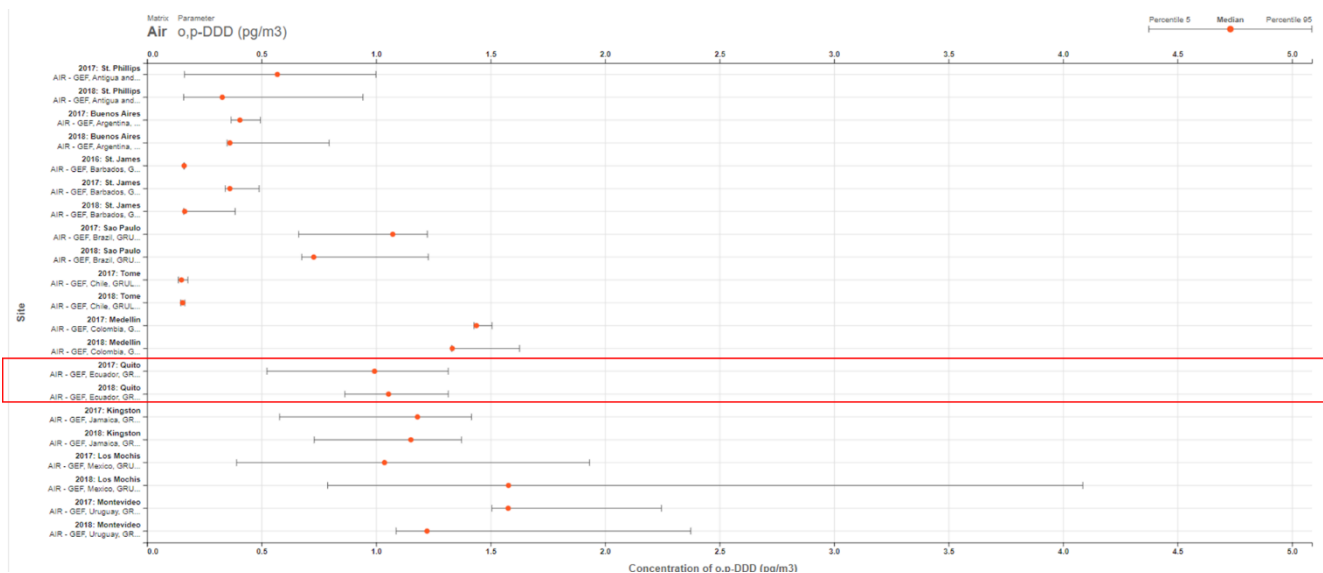


## Matriz: Aire

Ecuador presentó el quinto valor para la suma 6 DDTs en Latino América y el Caribe



Ecuador registró datos de o.p-DDD



## ANEXO 2. PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Para asegurar la calidad de los datos generados a lo largo del proceso de monitoreo de COP, es fundamental establecer un programa de aseguramiento de la calidad, que consiste en documentar todas las actividades que aseguren la calidad de los datos producidos. (APM 2023. GMP, 2021). Los principales pasos para desarrollar un Plan de Proyecto de Garantía de Calidad son los siguientes (EPA, 2002a):

- 1) Investigar los pasos a seguir, en función de las características del sitio.
- 2) Integrar un equipo de proyecto con la experiencia necesaria.
- 3) Planificar los pasos para obtener datos de calidad que respalden las decisiones que se tomarán o las preguntas del estudio que se responderán.
- 4) Escribir el plan del proyecto de control de calidad.
- 5) Presentar el plan del proyecto de garantía de la calidad para revisión por pares, aportes y aprobación, revisándolo según sea necesario.
- 6) Distribuir el Plan de Proyecto de Aseguramiento de Calidad aprobado a todas las personas pertinentes involucradas en el proyecto.
- 7) Comenzar a trabajar mientras se implementa el plan.
- 8) Documentar cualquier cambio en el plan del proyecto de control de calidad.
- 9) Obtener una nueva aprobación antes de iniciar el cambio.
- 10) Distribuir la versión actualizada.

Los elementos del Plan del Proyecto de GC se resumen en la tabla 20. Estos elementos básicos definen y describen lo siguiente (EPA, 2002a):

- Quién utilizará los datos;
- Cuáles son las metas/objetivos/preguntas o problemas del proyecto;
- Qué decisión(es) se tomarán a partir de la información obtenida;
- Cómo, cuándo y dónde se adquirirá o generará la información del proyecto;
- Qué posibles problemas pueden surgir y qué acciones se pueden tomar para mitigarlos;

- Impacto en el proyecto;
- Qué tipo, cantidad y calidad de datos se especifican;
- Cuál “buenos” deben ser esos datos para respaldar la decisión a tomar; y
- Cómo se analizarán, evaluarán e informarán los datos.

Tabla 20. Lista de elementos de un Plan de QA

Grupo A. Administración del proyecto	Grupo B. Adquisición y generación de datos	Grupo C. Evaluación y supervisión
A1 Hoja de título y aprobación	B1 Diseño del muestreo (diseño experimental)	C1 Acciones de evaluación y respuesta
A2 tabla de contenido	B2 Métodos de muestreo	C2 Reportes a la administración
A3 Lista de distribución	B3 Cadena de custodia y manejo de las muestras	
A4 organización y tareas del proyecto	B4 Métodos analíticos	Grupo D Validación y uso de datos
A5 Antecedentes y definición del problema	B5 Control de calidad	D1 Revisión, verificación y validación de datos
A6 Descripción del proyecto y tareas	B6 Inspección, mantenimiento y pruebas del equipo e instrumentos	D2 Verificación y validación de métodos
A7 Criterios y objetivos de calidad	B7 Frecuencia de calibración de los equipos	D3 reconciliación con los requerimientos del usuario
A8 capacitación y certificaciones	B8 Inspección de suministros y consumibles	
A9 Registros y documentación	B9 Mediciones indirectas	
	B10 manejo de datos	

Fuente: EPA, 2002<sup>a</sup>.

El programa de control ya aseguramiento de calidad analítica debe observar los siguientes pasos:

- Todos los procedimientos de laboratorio deben estar escritos, con el mayor detalle posible, en la forma de Procedimientos Estándares de Operación.
- Todos los procedimientos que se hagan para cada muestra o muestra de control de calidad, debe estar documentados en una libreta, donde deberán estar escritos con tinta, y firmados por el técnico analista. Todas las operaciones necesarias para llegar al resultado final de la concentración deben estar reportadas en la libreta.



- Llevar un registro de las calibraciones de todos los equipos, así como de todos los estándares analíticos o subrogados. Se debe especificar la fecha de preparación, quien los preparó, cómo se preparó y cuál fue el proveedor.
- Antes de iniciar el análisis de cualquier lote de muestras, se debe hacer una corrida analítica en el cromatógrafo de gases, sin inyectar nada, usando el mismo programa de inyección y temperatura del horno que el que se usa para las muestras. No deben aparecer picos con los mismos tiempos de retención que los analitos a analizar. Si aparecen, hay que limpiar el inyector o la columna, hasta que no parezcan dichos picos.
- El instrumento se debe calibrar con por lo menos cuatro puntos, y el coeficiente de correlación debe ser  $>0.990$ .
- Debe verificarse que la degradación térmica de los compuestos termolábiles sea menor al 15 %.
- La recuperación de los estándares subrogados debe estar entre 60 y 120%.
- No más de tres analitos deben estar por arriba de tres veces el límite de detección del método en los blancos operacionales.
- Se deben analizar al azar por duplicado el 10 % de las muestras. La desviación estándar relativa para las muestras duplicadas debe ser menor al 20%, para los analitos cuyas concentraciones están por arriba de 10 veces el límite de detección del método.
- La recuperación de los estándares añadidos a los blancos enriquecidos (“spiked blanks”) debe estar entre 60 y 120 % para el 80 % de los estándares.
- Se deben analizar Materiales Certificados de Referencia, y las concentraciones obtenidas deben estar dentro de un intervalo de  $\pm 35$  % del rango de las concentraciones certificadas para el 80 % de los analitos cuyas concentraciones están por arriba de 10 veces el límite de detección del método.

Cada laboratorio que participe en el programa de control y aseguramiento de calidad deberá estar sujetos a auditorías de sus procedimientos analíticos. Se muestra a continuación una lista de verificación que puede emplearse fines.

## LISTA DE VERIFICACIÓN

Laboratorio	
Persona que proporciona la información (Nombre y puesto)	
Fecha de revisión	

ACTIVIDADES	SI	NO	OBSERVACIONES
<b>¿Qué matrices ambientales analizan?</b>			
Aire Ambiente			
Aguas marinas			
Aguas estuarinas			
Agua de lagunas costeras			
Aguas superficiales epicontinentales			
Aguas subterráneas			
Suelos			
Sedimentos marinos			
Sedimentos epicontinentales			
Sangre, leche materna, tejido			
<b>¿Qué analitos determinan?</b>			
Plaguicidas organoclorados (POCs)			
Bifenilos policlorados (PCBs)			
Clordecona, Pentaclorobenceno, pentaclorofenol			
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿Se utilizan métodos normalizados?</b>			
Plaguicidas organoclorados (POCs)			
Bifenilos policlorados (PCBs)			
Clordecona, Pentaclorobenceno, pentaclorofenol			

ACTIVIDADES	SI	NO	OBSERVACIONES
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿Cuentan con acreditación?</b>			
Plaguicidas organoclorados (POCs)			
Bifenilos policlorados (PCBs)			
Clordecona, pentaclorobenceno, pentaclorofenol			
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿De los métodos que no están normalizados son métodos propios o métodos de otra organización?</b>			
Plaguicidas Organoclorados (POCs)			
Bifenilos Policlorados (PCBs)			
Clordecon, entaclorobenceno, pentaclorofenol			
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales,			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿Fueron validados?</b>			
Plaguicidas organoclorados (POCs)			
Bifenilos policlorados (PCBs)			
Clordecona, pentaclorobenceno, pentaclorofenol			
Bifenilos polibromados (PBBs) y bifenilos polibromados eter (PBDEs)			
Ácido perfluorooctánico sulfónico (PFOS) y sus sales,			
Parafinas cloradas			
Naftalenos clorados			
<b>¿Qué parámetros se utilizaron en la validación?</b>			

ACTIVIDADES	SI	NO	OBSERVACIONES
Recuperación			
Sensibilidad			
<i>Selectividad / Especificidad</i>			
<i>Robustez</i>			
Límite de detección			
Límite de cuantificación			
Intervalo lineal y de trabajo			
Reproducibilidad			
Repetitividad			
Sesgo (En algunos casos evaluado a partir de la Recuperación)			
Incertidumbre inicial			

ACTIVIDADES (QA/QC)	SI	NO	OBSERVACIONES
<b>¿Cuentan con un programa de QA/QC para los analitos?</b>			
<b>¿Cuenta con los siguientes requerimientos específicos para cada método de prueba?</b>			
Muestras de evaluación de aptitud			
Muestras de control de calidad			
Curvas de calibración			
Verificación de la calibración			
Blancos			
Matriz adicionada			
Cartas control			
Demostración inicial de desempeño			
Cuantificación en análisis multicomponentes			
Cálculo periódico del límite de detección de método			
Límite de cuantificación del método			
Identificación cualitativa			
<b>¿Cuenta con un criterio o política para la conservación de la información?</b>			

ACTIVIDADES (QA/QC)	SI	NO	OBSERVACIONES
<b>¿Durante cuánto tiempo conserva la información?</b>			años
<b>¿Qué registros son los que se conservan?</b>			
Registros de muestreo			
Registros analíticos bitácora			
Registros del personal			
<b>Visita de instalaciones</b>			
Cuenta con los instrumentos y Equipo necesario para los métodos analíticos que realiza			
Están disponibles los procedimientos analíticos en las áreas			
<b>Solicitud y revisión de documentos</b>			
Métodos escritos			
Una validación o confirmación de método			
Acreditaciones			
Una prueba inicial de desempeño			
Registro de entrenamiento y capacitación del personal			
Programa de QA/QC			

## NOTAS


Se recomienda consultar para más información:

- El Manual de aseguramiento de Calidad de la USEPA. <https://www.epa.gov/quality/agency-wide-quality-program-documents>.
- Manual de Garantía de Calidad para Sistemas de Medición de la Contaminación del Aire Volumen II del Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire Ambiental (EPA, 2017)