

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas



TRABAJO FINAL DE LA MATERIA INTEGRADORA

**"Determinación de Bifenilos Policlorados
en Sedimentos Superficiales de los Ríos
Daule y Babahoyo mediante
Cromatografía de Gases con Detector de
Captura de Electrones"**

Previo la obtención del Título de:
INGENIERA QUÍMICA

Presentado por:
Grace Katherine Hilzinger Garzón

GUAYAQUIL – ECUADOR
Año: 2017

DEDICATORIA

A mis padres y a mi hermana,
quienes me han apoyado día y
noche por mi superación.

A mis profesores y compañeros,
pues cada uno dejó su huella en
quien soy ahora y ampliado mi
visión del mundo.

A Luis, por su infinito apoyo y
paciencia, porque juntos somos el
mejor equipo.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi tutora de proyecto integrador, Dra. Olga González, Ph.D. a las analistas del Laboratorio de Espectrometría, Ing. Laila Santana, Ing. Karen Guarco, Ing. Inés Aguirre e Ing. Andrea Lavanda. Su apoyo constante, criterio científico y ánimos positivos hicieron de este trabajo una experiencia agradable e inolvidable.

Gracias también a los pasantes del Laboratorio de Espectrometría, su esfuerzo y camaradería me es invaluable.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dra. Olga González Sánchez Ph.D

Mgtr. Andrea Gavilánez Triviño

Ph.D. Luis Dominguez Granda

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente a:

Grace Katherine Hilzinger Garzón

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.”

Grace Katherine Hilzinger Garzón

RESUMEN

Los bifenilos policlorados (PCBs) son un grupo de contaminantes termoestables y difícilmente biodegradables con la capacidad de acumularse en el tejido adiposo de los seres vivos, con consecuencias a la salud tales como efectos hepatotóxicos, trastornos de desarrollo y cáncer. Si bien su producción está prohibida y su uso restringido en casi todo el mundo, es necesario monitorear la contaminación de los ecosistemas expuestos a la actividad humana.

Para esto se tomaron un total de 38 muestras de sedimentos superficiales, cubriendo así 70 kilómetros de los ríos Daule y Babahoyo. La preparación de las muestras incluyó extracción con microondas, y se analizaron en un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones buscando cuantificar 5 congéneres de PCBs: 101, 105, 118, 138 y 180.

Se detectó contaminación por PCBs en 10 de los 38 puntos, cuyas fuentes se pueden atribuir a gasolineras, fábricas y zonas de construcción en los alrededores. Esto sugiere que la concentración de PCBs totales podría superar el límite de efectos toxicológicos leves establecido en 35 ppb para sedimentos, por lo que se evidencia la necesidad de realizar un análisis más comprehensivo, especialmente de congéneres de menor grado de cloración y de aquellos que simulen los efectos de la dioxina.

Palabras Clave: PCBs, bifenilos policlorados, cromatografía de gases, sedimentos, ríos, Daule, Babahoyo, COPs, contaminantes orgánicos persistentes, extracción microondas.

ABSTRACT

Polychlorinated Biphenyls are a group of termostable pollutants resistant to biodegradation that can accumulate in an animal's adipose tissue, with health consequences such as liver damage, poor cognitive development, and cancer. While their production has been banned and their use restricted around the world, it is imperative to monitor contamination levels in ecosystems exposed to human affairs.

To do this, 38 superficial sediment samples were taken, covering a distance of 70 kilometers of the Daule and the Babahoyo rivers. Sample preparation included microwave-assisted extractions, and were analyzed in a gas chromatographer with an electron capture detector, seeking to quantify 5 PCB congeners: 101, 105, 118, 138 y 180.

Contamination by PCBs was detected in 10 of the 38 samples, which might stem from gas stations, factories and construction zones nearby. This suggests that the total PCBs concentration could exceed the threshold effect concentration set at 35 ppb for sediments, which demonstrates the need for a more comprehensive analysis, especially of these congeners with low degrees of chlorination and dioxin-like compounds.

Keywords: *PCBs, polychlorinated biphenyls, gas chromatography, sediments, rivers, Daule, Babahoyo, POPs, persistent organic pollutants, microwave-assisted extraction.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	IV
SIMBOLOGÍA	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Área de Estudio	3
CAPÍTULO 2.....	5
2. PROBLEMA.....	6
2.1 Descripción del Problema	6
2.2 Justificación	7
2.3 Hipótesis.....	7
2.4 Objetivos	7
2.4.1 Objetivo general	7
2.4.2 Objetivos específicos.....	7
CAPÍTULO 3.....	9
3. MARCO TEÓRICO	10
3.1 Bifenilos Policlorados.....	10
3.1.1 Propiedades físicas y químicas.	10
3.1.2 Leyes y regulaciones.....	11
CAPÍTULO 4.....	13
4. METODOLOGÍA GENERAL	14
4.1 Extracción Asistida por Microondas	14
4.2 Limpieza de Muestra	15
4.2.1 Limpieza con ácido sulfúrico.....	16
4.2.2 Limpieza con Florisil	17
4.3 Análisis por Cromatografía de Gases con Detector de Captura de Electrones	18
CAPÍTULO 5.....	21
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	22
CAPÍTULO 6.....	29
6. CONCLUSIONES	30
6.1 Conclusiones.....	30
6.2 Recomendaciones	30
6.3 Limitaciones.....	31
REFERENCIAS	33
APÉNDICE	35
ANEXOS.....	38

ABREVIATURAS

CG	Cromatografía de Gases
DCE	Detector de Captura de Electrones
EAM	Extracción Asistida por Microondas
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PCBs	Policlorobifenilos, o Bifenilos Policlorados
TULSMA Ambiente	Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

SIMBOLOGÍA

g	Gramo
mg	Miligramo
µm	Microgramo
m	Metro
mm	Milímetro
µm	Micrómetro
L	Litro
mL	Mililitro
µL	Microlitros
min	Minutos
ppb	Partes por billón
°C	Grados Celsius

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentraciones de PCBs en sedimentos de área agrícola ($\mu\text{g}/\text{kg}$).....	22
Tabla 2. Concentraciones de PCBs en sedimentos de área residencial ($\mu\text{g}/\text{kg}$).	23
Tabla 3. Concentraciones de PCBs en sedimentos de área industrial ($\mu\text{g}/\text{kg}$).	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de recolección de muestras.	3
Figura 2. Molécula de bifenilo y posiciones de los átomos de cloro (excepto 1 y 1'). ...	10
Figura 3. Extractor microondas.	15
Figura 4. Evaporador rotatorio.	16
Figura 5. Limpieza con ácido sulfúrico.	17
Figura 6. Limpieza con Florisil.	18
Figura 7. CG con DCE y automuestreador.....	19
Figura 8. Cromatograma del punto 7.	28

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribución de la contaminación por PCB 101.	24
Gráfico 2. Distribución de la contaminación por PCB 105.	25
Gráfico 3. Distribución de la contaminación por PCB 118.	25
Gráfico 4. Distribución de la contaminación por PCB 138.	26
Gráfico 5. Distribución de la contaminación por 5 congéneres de PCBs.	26

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los policlorobifenilos o mejor conocidos por su abreviación PCB son compuestos organoclorados que engloban aproximadamente 209 compuestos bifenilclorados conocidos como congéneres (State of Washington, n.d), que se usan en el ámbito industrial, en su mayoría como dieléctricos, fluidos refrigerantes y en fluidos usados en la transferencia del calor (Ullmann & Ullmann, 2006). Por su gran tiempo de vida útil, siguen siendo ampliamente usados, aunque su manufacturación ha decaído considerablemente desde que se lo vinculó a problemas tanto ambientales como de salud en la década de 1960 (Robertson & Hansen, 2001). A los PCBs se los vincula desde ese entonces con problemas de salud como cáncer, llevando a que la IRAC (Agencia Internacional de Investigación del Cáncer) los clasifique como un agente cancerígeno definitivo en los seres humanos y en animales.

Las propiedades de los PCBs que fomentaron su uso en la industria es la gran resistencia que estos tienen a degradarse, su resistencia a los ácidos, bases, oxidación, hidrólisis y su fortaleza ante diferenciales de temperatura (Kimbrough & Jensen, 1989). También se disuelven fácilmente en la mayoría de solventes orgánicos, pero son hidrofóbicos. Suelen encontrarse mayoritariamente en capas de sedimentos de ríos o lagos, donde se propagan y pueden ocasionar graves emergencias ambientales.

En este trabajo se va a analizar la concentración de 5 congéneres de PCBs en secciones de los Ríos Daule y Babahoyo, en la provincia del Guayas, Ecuador, mediante el uso del método de CG con DCE.

1.2 Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en dos secciones del Río Daule y el Río Babahoyo, dentro de la provincia del Guayas, cubriendo los cantones Daule, Guayaquil y Samborondón como se muestra en la siguiente imagen.

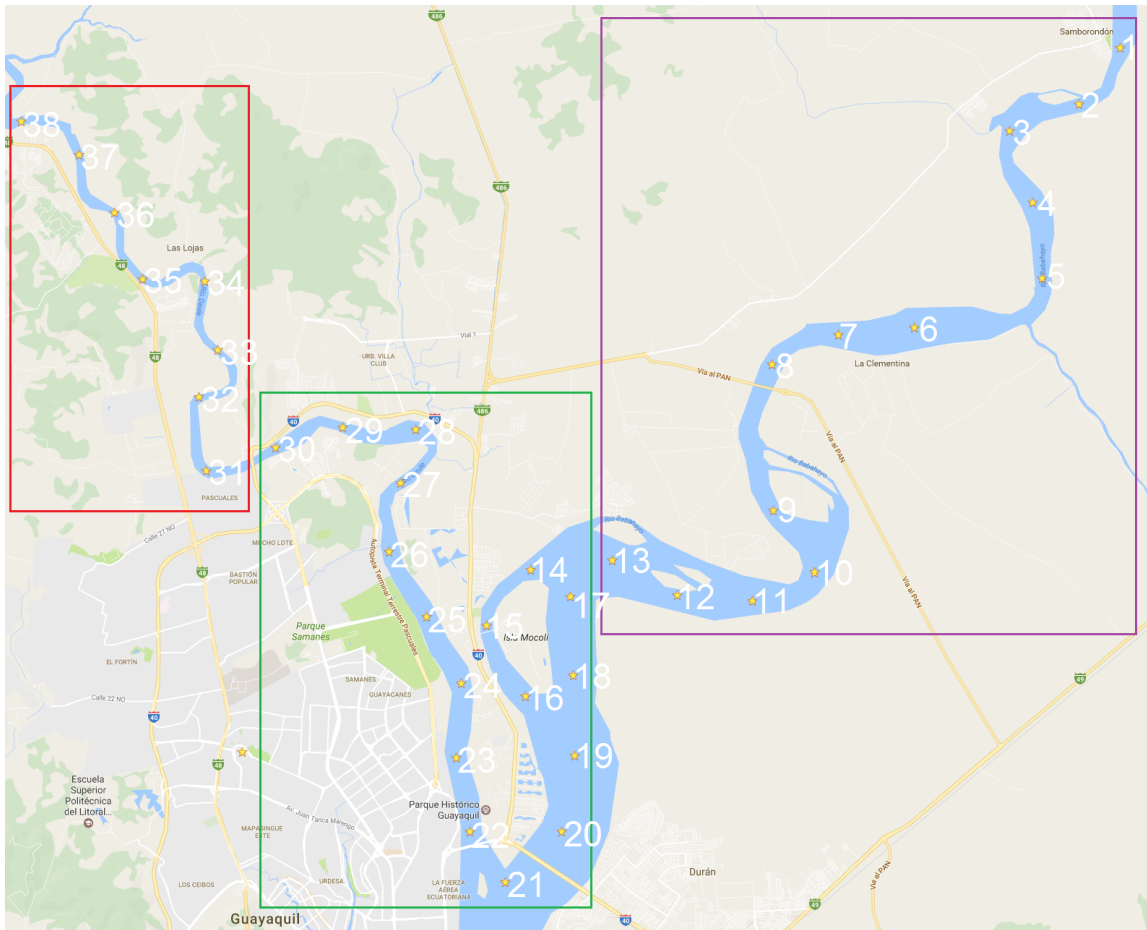


Figura 1. Mapa de recolección de muestras.

Fuente: Hiltzinger, 2017

Elaboración propia

En general, las actividades de los sectores en los cuales fueron recogidas las muestras de sedimento se pueden dividir en:

- **Residencial:** Se da en las áreas marcadas en el recuadro verde. La actividad es marcada por las urbanizaciones ubicadas a las orillas de los ríos. La principal fuente de desechos en estas zonas son los desechos producidos por viviendas o baterías sanitarias.

- *Industrial:* Se da en las áreas marcadas de rojo, en la zona norte de la sección del Río Daule en la cual se tomó la muestra. Se caracteriza por tener escasa población, pero aloja empresas de mediana a larga escala cerca de las orillas del río. La mayor parte de los desechos en esta zona provienen de empresas, de las cuales la mayoría están destinadas al procesamiento de alimentos.
- *Agrícola/Rural:* Se da en la sección que se seleccionó del Río Babahoyo, la cual está enmarcada en morado. La actividad en esta zona mayoritariamente se registra en asentamientos rurales sin mayor control ambiental, y toda la actividad en esta zona es exclusivamente para la agricultura y ganadería, con los asentamientos en la zona siendo fincas.

CAPÍTULO 2

PROBLEMA

2. PROBLEMA

2.1 Descripción del Problema

Los PCBs son fabricados desde 1920, pero recién fueron considerados una amenaza, tanto ambiental como de salud desde 1966 (Jensen,1966). Se estima que desde su inepción se han producido 2×10^9 kg de estos compuestos. Los PCBs han sido identificados como agentes carcinógenos por la USEPA y por varios estudios, también se los vincula a problemas de genotoxicidad, fertilidad, crecimiento y desarrollo, inmunológicos y neurológicos (Faroon, 2003). Dado todas estas amenazas contra la salud humana, los PCBs son ampliamente considerados como contaminantes extremadamente peligrosos y nocivos.

Las primeras acciones contra el uso de los PCBs fueron tomadas en la década de 1970, cuando muchos países tomaron condicionantes contra su uso industrial. En 1989, se firmó el acuerdo de Basilea, donde sus miembros acordaron reducir el “comercio” de desechos industriales; tomando las primeras acciones internacionales contra los PCBs. En este acuerdo no solo se trata de eliminar el comercio de desechos, sino que también se da guías para la eliminación de desechos tóxicos, entre ellos los PCBs. No pasarían si no más de 10 años, hasta la firma del Convenio de Estocolmo en 2001, en donde se levantaría la prohibición definitiva de la manufactura de PCBs y se limitaría en gran medida el uso de los ya existentes.

Localmente, en Ecuador como en muchos países en vías de desarrollo, el manejo de desechos tóxicos es un tema todavía novedoso, aunque Ecuador se ratificó en el acuerdo de Estocolmo en el año 2001 (*Status of ratifications of the Stockholm Convention*), y también ratificó el acuerdo de Basilea. En años recientes la administración ecuatoriana ha tomado medidas serias de información, contención y prevención en contra de este contaminante ("Ecuador cuenta con un Acuerdo Ministerial para la gestión

de los contaminantes PCB", 2015), para ayudar en su definitiva erradicación del medio local.

2.2 Justificación

Los PCBs son contaminantes extremadamente nocivos para la salud humana, y el método predilecto de esparcimiento y transporte de este contaminante son los ríos y lagos, ya que no tienen el suficiente volumen para dispersarlos (Faroon, 2003). Por este motivo se debe analizar y monitorear exhaustivamente en cualquier locación que se encuentre cerca de grandes centros urbanos o rurales, ya que también es posible la contaminación por medio de alimentos y por medio del agua usada para su irrigación (Faroon, 2003). Por su cercanía al centro metropolitano más extenso del Ecuador se ha elegido monitorear secciones de los Ríos Daule y Babahoyo, para así tener una medida de la cantidad de PCBs dentro de los sedimentos de río y poder tomar medidas pertinentes.

2.3 Hipótesis

Se encontrará contaminación por PCBs en los puntos sobre el río Daule por influencia del sector industrial, mientras que no así en los puntos sobre el río Babahoyo.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general. Analizar la presencia y concentración de 5 congéneres de PCBs en 38 muestras de sedimentos de los ríos Daule y Babahoyo usando un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones.

2.4.2 Objetivos específicos. Estos son:

- Desarrollar un método de preparación de muestras de sedimentos para análisis de PCBs adaptado a las condiciones del Laboratorio de Espectrometría de la ESPOL.

- Comparar los resultados obtenidos con los límites ambientales establecidos por instituciones regulatorias nacionales (Ministerio del Ambiente del Ecuador) e internacionales (USEPA).
- Elaborar un perfil de contaminación por PCBs de los ríos Daule y Babahoyo.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Bifenilos Policlorados

3.1.1 Propiedades físicas y químicas. Los PCBs tienen como fórmula $C_{12}H_{10-x}Cl_x$, y son variaciones de moléculas de bifenil donde algunos o todos los átomos de hidrógeno son reemplazados por átomos de cloro. Dado la estructura de la molécula de bifenilo, se pueden obtener hasta 209 compuestos clorados, todos diferentes variaciones de PCB llamadas congéneres con diferentes cantidades de hidrógeno y cloro en sus moléculas (Faroon, 2003).

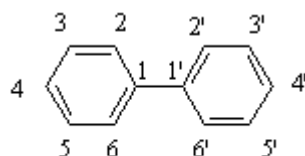


Figura 2. Molécula de bifenilo y posiciones de los átomos de cloro (excepto 1 y 1').

Fuente: CLU-IN EPA, 2017

Los PCBs poseen múltiples cualidades que los convierten en compuestos bastante útiles en la industria. Algunas de estas cualidades son su capacidad de ser químicamente inerte, resisten tanto a ácidos como a alcalinos, tienen estabilidad termal, convirtiéndoles en componentes claves dentro de variadas aplicaciones de la industria, como transformadores eléctricos, capacitores y lubricantes (Faroon, 2003). Estas mismas cualidades hacen de los PCBs un contaminante persistente en el ambiente.

Se presentan como fluidos oleosos y resinas transparentes dependiendo del grado de cloración de la molécula. Esto significa que su viscosidad aumenta conforme lo hace el número de átomos de cloro presente en la molécula de bifenilo (Dirección Nacional de Control Ambiental, 2015).

Expuestos a altas temperaturas, los PCBs se convierten en combustibles, cuyos productos resultantes de combustión pueden llegar a ser más tóxicos y peligrosos que los compuestos originales. Entre los derivados producidos de la combustión de PCBs se encuentra el cloruro de hidrógeno.

El Factor de Toxicidad Equivalente (TEF, por sus siglas en inglés) es un valor que indica la toxicidad y carcinogenicidad a los humanos que significa una determinada mezcla de PCBs. Esta se calcula comparando cada uno de los 12 congéneres coplanares, que actúan por un mecanismo similar a las dioxinas, con una concentración de 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina, y sumando las concentraciones resultantes para obtener el equivalente de la mezcla de PCBs. Es útil al momento de analizar los riesgos ambientales y biológicos (State of Washington, n.d).

En un análisis de varios estudios sobre criterios de calidad de sedimentos, se llegó a un consenso sobre las concentraciones de PCBs en sedimentos con efectos tóxicos en la biota (Burton, 2002). La concentración mínima en la que empieza a demostrar toxicidad es de 35 ppb (ver Anexo 1) y la concentración en la que 50% de la biota se ve afectada es de 340 ppb (ver Anexo 2).

Los sedimentos superficiales suelen actuar como sumideros de este contaminante, puesto que los reciben de la fuente no sólo por descarga directa, sino también por la escorrentía que arrastra los PCBs de los suelos hacia los ríos. Este fenómeno se observó en Bahía Blanca, Argentina, al encontrar que el total de 7 congéneres de PCBs en muestras de suelos resultaba entre el 6 y 10% del total encontrado en muestras de sedimentos, ambos en peso seco (Tombesi et al., 2017).

3.1.2 Leyes y regulaciones. Los PCBs forman parte los tratados de Basilea y de Estocolmo. El primero lo describe como un

potencial desecho industrial, el cuál debe ser debidamente procesado bajos los estándares propuestos dentro del acuerdo. Para la eliminación de los PCBs se debe incinerar a altas temperaturas, en un ambiente controlado para evitar derrames y posibles subproductos tóxicos de la combustión de estos ("Policy and Guidance for Polychlorinated Biphenyl (PCBs) | Polychlorinated Biphenyls (PCBs) | US EPA", 2015). En cambio, el Convenio de Estocolmo dictamina la ilegalidad de la producción de PCBs, efectivamente parando la producción de PCBs a escala mundial. También limita su uso a ambientes controlados donde haya el menor riesgo posible de fuga de material.

De manera local, Ecuador es miembro ratificado de los tratados de Basilea y Estocolmo, y desde el 2015 lleva a cabo un programa de educación y prevención de posibles riesgos relacionados a los PCB, que lleva por nombre “Procedimientos para la Gestión Integrada y Ambientalmente Racional de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador”, que provee no solo a la población de ayuda y educación en este tipo de desechos, sino también un marco legal para para realizar controles con respecto al tema. ("Ecuador cuenta con un Acuerdo Ministerial para la gestión de los contaminantes PCB", 2015).

Sin embargo, estos controles se limitan a la creación de un inventario nacional de aparatos eléctricos y el análisis de presencia de PCBs en los aceites dieléctricos que estos contienen. Además, en el Libro VI Anexo 1 del TULSMA se establece un “límite máximo permisible” para aguas dulces frías o cálidas, marina y de estuario de 0,001 mg/L, que equivale a 1 ppb de PCBs totales diluidas en agua. A pesar de ello, no menciona parámetro alguno para suelos y/o sedimentos. Esto significa que por el momento no existe un programa oficial de monitoreo ambiental de PCBs en el Ecuador, ni parámetros toxicológicos para su presencia en sedimentos.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA GENERAL

4. METODOLOGÍA GENERAL

Se utilizaron muestras recogidas el día 22 de marzo de 2016. Los sedimentos, previo a este u otros análisis químicos cuantitativos, deben de pasar por un proceso de homogenización. Este consistió en secarlos en una estufa a 105°C durante 24 horas, enfriar en un desecador por 4 horas, y finalmente triturar hasta obtener una granulometría igual o menor a 0,060 mm. De esa forma se aumenta la superficie de contacto de la muestra beneficiando la eficiencia de la extracción, a la vez que se reduce la interferencia de la humedad.

4.1 Extracción Asistida por Microondas

En esta fase se extraerán la mayor parte de los compuestos semivolátiles disueltos en el sedimento, entre los cuales se incluyen los PCBs, usando un solvente apropiado. Los parámetros usados están basados en recomendaciones del método de la USEPA 3546, parte de su compendio SW-846.

Se introduce en el recipiente de PTFE 20,000 ± 0,010 g de muestra de sedimento y se agregan 30 mL de n-hexano, cuidando de no salpicar por fuera del vaso. Se coloca la tapa de PTFE, escudo, soporte, resorte, y se atornilla en su respectivo segmento del rotor usando una llave dinamométrica hasta que esta haga clic. Al primer recipiente, que posee una tapa especial, se le inserta el sensor de temperatura y conecta al microondas. Se colocan los segmentos de rotor en sus respectivos puestos dentro del extractor microondas, y se ubica la tapa del rotor. Se cierra la puerta y da inicio al programa de extracción.

El programa a ejecutarse consiste en una rampa desde la temperatura ambiental hasta 110°C que dura 10 minutos, seguido por un periodo donde dicha temperatura se mantiene estable por 20 minutos, y finalmente, una fase de ventilación hasta que la temperatura interna sea menor a 30°C.



Figura 3. Extractor microondas.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

Los segmentos de rotor se retiran del extractor microondas, se abren, y su contenido se gotea en un embudo que sostiene un papel filtro, que a su vez contiene 1 g de sulfato de sodio anhidro. El extracto filtrado y deshidratado se recolecta en un matraz corazón rotulado adecuadamente.

4.2 Limpieza de Muestra

En esta fase se eliminarán compuestos que más tarde podrían causar interferencias o ruido que dificulten el análisis de los cromatogramas resultantes. Como se busca obtener 1 ml de volumen de extracto final, lo recolectado en la fase anterior se debe concentrar en un evaporador rotatorio a 360 mbar de presión y 60°C de temperatura de baño María. Una vez que se haya evaporado todo el solvente, se acaba de secar con una corriente de gas nitrógeno. Se coloca 1 mL de n-hexano con una micropipeta cuya punta haya sido enjuagada 3 veces, y se homogeniza con un mezclador vórtex durante 1 minuto.



Figura 4. Evaporador rotatorio.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

4.2.1 Limpieza con ácido sulfúrico. Este paso busca eliminar la materia orgánica, incluyendo algunos pesticidas, reduciendo así la mayor parte de las interferencias. Las instrucciones están inspiradas en las del método de la USEPA 3665A.

Se transfiere el extracto a un tubo de ensayo usando una pipeta Pasteur de vidrio, y se añade 1 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se coloca en un mezclador vórtex, se agita a velocidad máxima por 1 minuto, y luego se deja reposar por 1 a 2 minutos. Usando una pipeta Pasteur de vidrio y con cuidado de no tocar la capa ácida, retirar la capa de n-hexano (la de encima) y mandarla al siguiente paso.

A la capa ácida se le añade 1 mL de n-hexano con una micropipeta cuya punta haya sido enjuagada 3 veces y se repite el procedimiento. De esta manera se asegura la recuperación cuantitativa completa de PCBs.

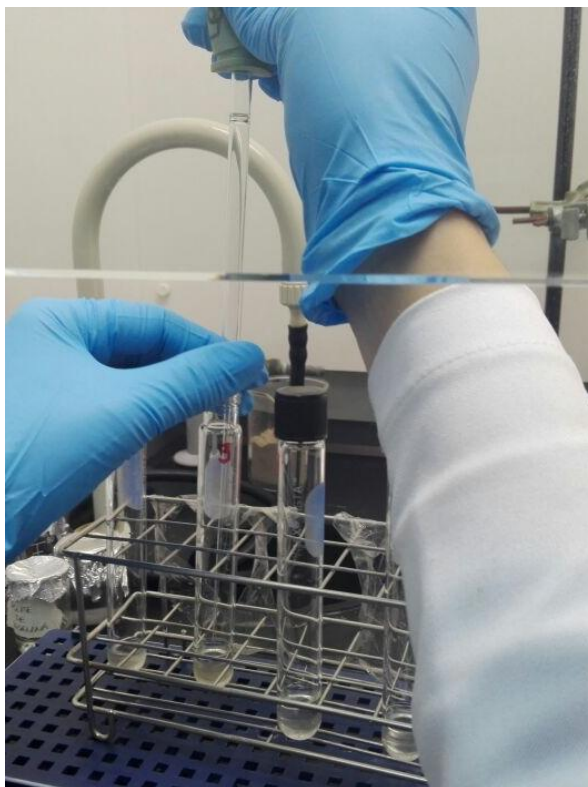


Figura 5. Limpieza con ácido sulfúrico.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

4.2.2 Limpieza con Florisil. Este paso busca eliminar los pesticidas organoclorados del extracto. Consiste en tomar una punta de pipeta, introducirle una bolita de fibra de vidrio, y tapar la punta de la misma. La fibra de vidrio sirve como soporte al ingresar $0,200 \pm 0,001$ g de Florisil en la punta de pipeta. Cebear la punta de pipeta con n-hexano hasta que tanto el Florisil como la fibra de vidrio estén húmedos. Colocar esta “columna” de forma que gotee dentro del matraz corazón.

Transferir el extracto al interior de la columna, y dejar gotear. En la misma columna colocar el segundo mL resultante de la limpieza con ácido. Una vez deje de gotear, usar una micropipeta para soplar en la punta tres veces y así empujar las últimas gotas de la columna.

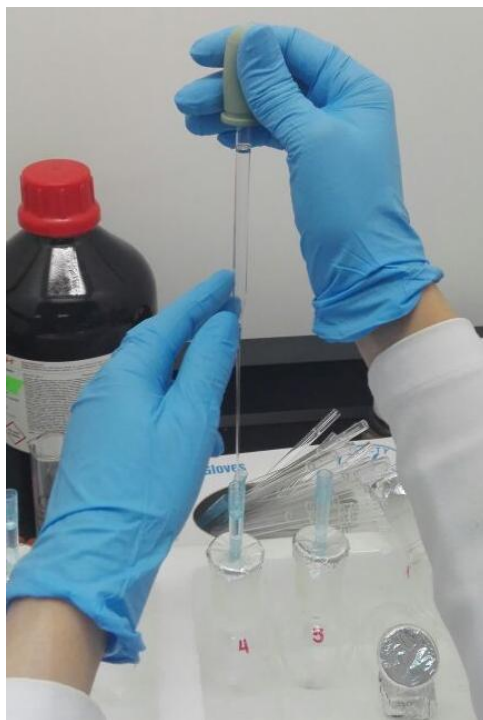


Figura 6. Limpieza con Florisil.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

4.3 Análisis por Cromatografía de Gases con Detector de Captura de Electrones

Previo al análisis, se debe realizar un cambio de matriz al solvente de los estándares con los que se realizó la curva de calibración. Para esto, se coloca el matraz corazón en un evaporador rotatorio, y se separa el n-hexano a 360 mbar de presión y 60°C de temperatura de baño María. Una vez que se haya evaporado todo el solvente, se acaba de secar con una corriente de gas nitrógeno. Se coloca 1 mL de isoctano con una micropipeta cuya punta haya sido enjuagada 3 veces, y se homogeniza con un mezclador vórtex durante 1 minuto. Finalmente, se transfiere a un vial de 2 mL usando una pipeta Pasteur de vidrio, se tapa, se rotula, y se sella con cinta de parafina. De no usarse inmediatamente, guardar en refrigeración, y al sacarlo, esperar a que alcance la temperatura ambiental antes de agitar en un mezclador vórtex nuevamente antes del análisis.

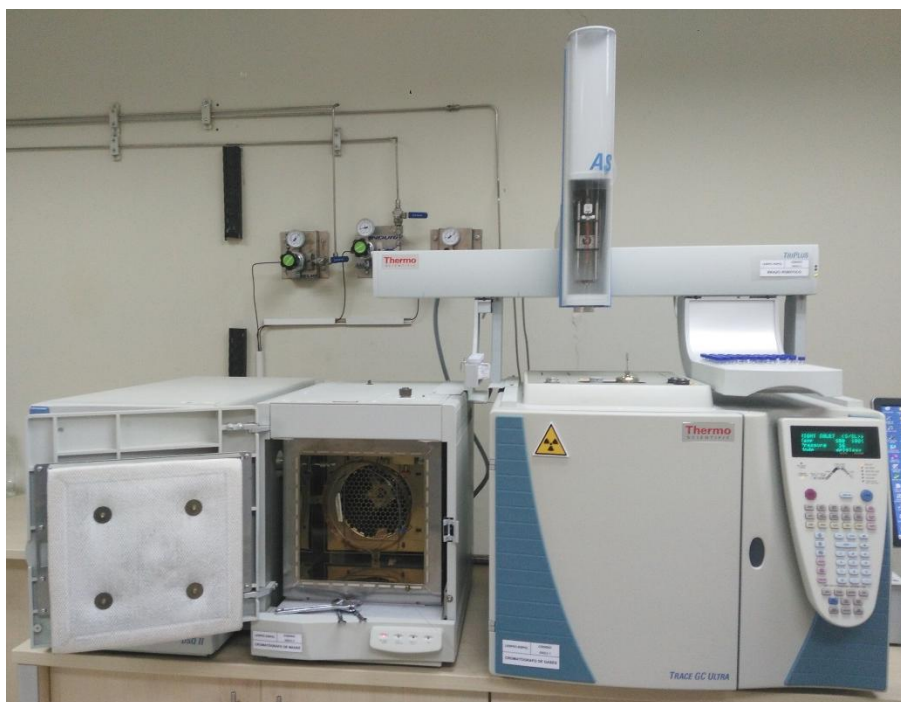


Figura 7. CG con DCE y automuestreador.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

Se instala una columna cromatográfica de fase estacionaria 100% dimetilpolisiloxano, 30 m de longitud por 0,25 mm de diámetro externo y 0,25 μm de diámetro interno. El gas de arrastre es helio, y se usa un flujo constante de 1,0 mL/min. Se usa en modo Splitless con temperatura del inyector a 260°C, la temperatura del DCE a 300 °C, y makeup de 30 mL/min de gas nitrógeno. Se inyecta 1,0 μL de muestra. El programa de temperatura a seguir es de un periodo estable a 110°C durante 5 minutos, seguido por una rampa hasta 280°C a un ritmo de 5°C/min, y finalmente un periodo estable a 280°C durante 15 minutos. En total, el programa toma 54 minutos por muestra. Además, cada 10 análisis se realizó una limpieza de columna con solvente puro.

La curva de calibración se elaboró para los congéneres PCB 101, PCB 105, PCB 118, PCB 138 y PCB 180. Los puntos usados para ello fueron 10

ppb, 50 ppb, 100 ppb, 150 ppb, 200 ppb y 250 ppb para cada uno de los congéneres.

CAPÍTULO 5

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se puede observar que en 10 de los 13 puntos pertenecientes al área agrícola las concentraciones de los congéneres analizados se mantuvieron por debajo del límite de detección, lo que significa que no se detectó contaminación alguna de los 5 congéneres analizados. Sin embargo, en los puntos 4, 7 y 10 se detectaron PCBs. Se observa que el punto 4 está influenciado por la actividad de Tarifa y el punto 7 por la hacienda La Clementina. El punto 10 se encuentra en medio de sembríos, sin fuente aparente de contaminación, pero está ubicado en donde el río Babahoyo forma una curva muy cerrada, por ende podría tratarse de una acumulación por turbulencia.

Tabla 1. Concentraciones de PCBs en sedimentos de área agrícola ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

<i>Río</i>	<i>Muestra</i>	<i>PCB 101</i>	<i>PCB 105</i>	<i>PCB 118</i>	<i>PCB 138</i>	<i>PCB 180</i>
Babahoyo	P01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P04	>1,36	n.d.	n.d.	>1,36	n.d.
Babahoyo	P05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P07	$\leq 1,36$	>1,36	$\leq 1,36$	n.d.	n.d.
Babahoyo	P08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P10	n.d.	n.d.	$\leq 1,36$	n.d.	n.d.
Babahoyo	P11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = no detectado

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

En la Tabla 2 se observa, al igual que en la zona agrícola, una predominancia por concentraciones menores al límite de detección. Sobre el río Babahoyo destaca el punto 15, ubicado entre la isla Mocolí y La

Puntilla, por lo que es influenciada por actividades de construcción. Sobre el río Daule destacan los puntos 22, 25, 26 y 30. Se observa que el punto 22 se encuentra influenciado por el Terminal Terrestre, el Centro de Revisión Vehicular y un taller automotriz. En los puntos 26 y 30 hay gasolineras. El punto 30 además tiene influencia de una planta de productos lácteos y una reencauchadora.

Tabla 2. Concentraciones de PCBs en sedimentos de área residencial ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

Río	Muestra	PCB 101	PCB 105	PCB 118	PCB 138	PCB 180
Babahoyo	P14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P15	>1,36	n.d.	n.d.	>1,36	n.d.
Babahoyo	P16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Babahoyo	P20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Guayas	P21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P22	$\leq 1,36$	n.d.	n.d.	>1,36	n.d.
Daule	P23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P24	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P25	n.d.	$\leq 1,36$	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P26	$\leq 1,36$	>1,36	$\leq 1,36$	n.d.	n.d.
Daule	P27	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P29	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P30	>1,36	n.d.	>1,36	n.d.	n.d.

n.d. = no detectado

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

En la Tabla 3 se mantiene la predominancia por concentraciones debajo del límite de detección. Destacan los puntos 34 y 37. El punto 34 se ve influenciado por la presencia de una recicladora, una fábrica de aceites, y una planta de alimentos congelados y bebidas. El punto 37 se ve influenciado por otro centro de reciclaje.

Tabla 3. Concentraciones de PCBs en sedimentos de área industrial (µg/kg).

Río	Muestra	PCB 101	PCB 105	PCB 118	PCB 138	PCB 180
Daule	P31	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P32	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P33	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P34	>1,36	n.d.	n.d.	>1,36	n.d.
Daule	P35	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P36	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P37	n.d.	>1,36	n.d.	n.d.	n.d.
Daule	P38	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = no detectado

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

En ninguno de los puntos se pudo apreciar presencia de PCB 180. Sin embargo, el PCB 101 forma el perfil ilustrado en el siguiente gráfico.

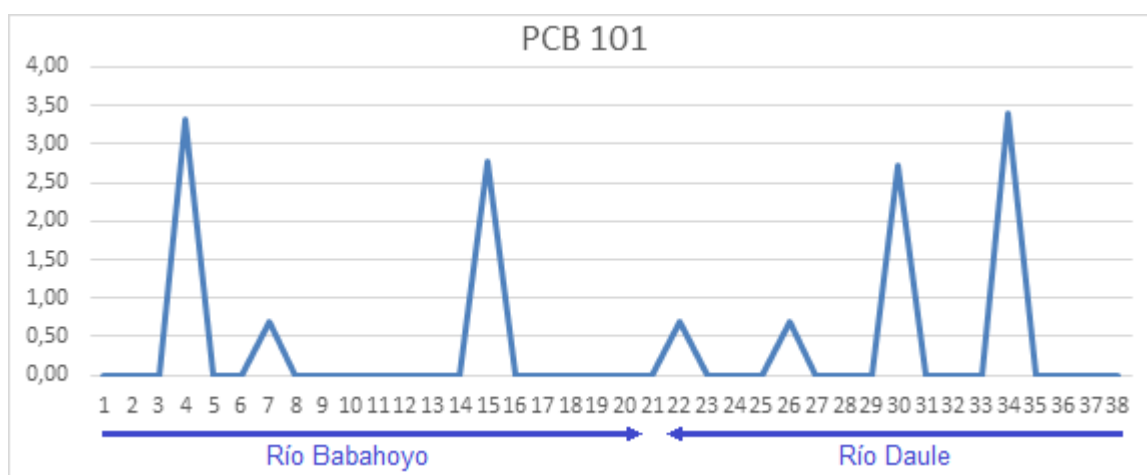


Gráfico 1. Distribución de la contaminación por PCB 101.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

Se puede observar que el río Daule posee más puntos contaminados por este congéner que el río Babahoyo; cuatro y tres puntos, respectivamente. Esta tendencia se vuelve a observar en la distribución del PCB 105.

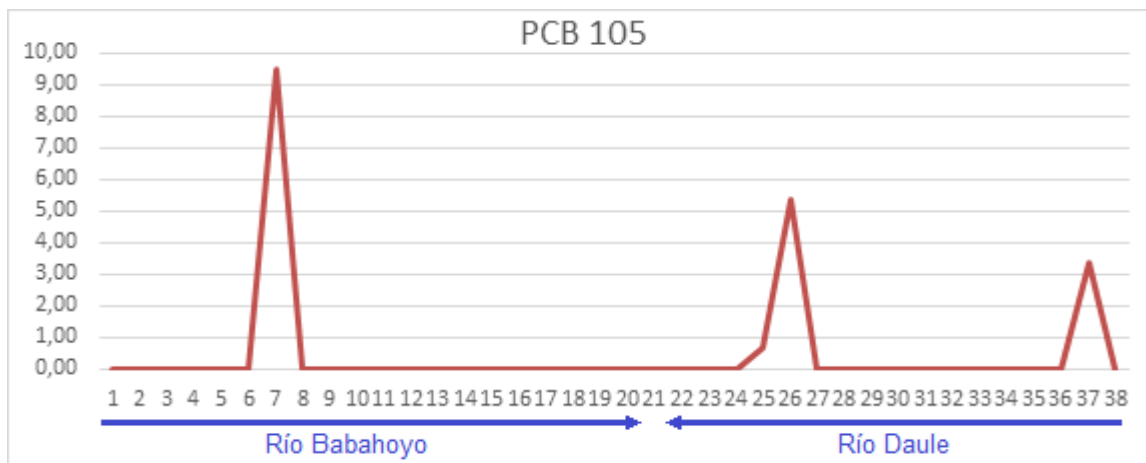


Gráfico 2. Distribución de la contaminación por PCB 105.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

A pesar de que para el PCB 105 los puntos contaminados son menos que para el PCB 101, habiendo sólo uno en el río Babahoyo y tres en el río Daule, estos se presentan en concentraciones mayores, con la concentración más alta en el río Babahoyo. En cambio para el PCB 118, la distribución es la siguiente.

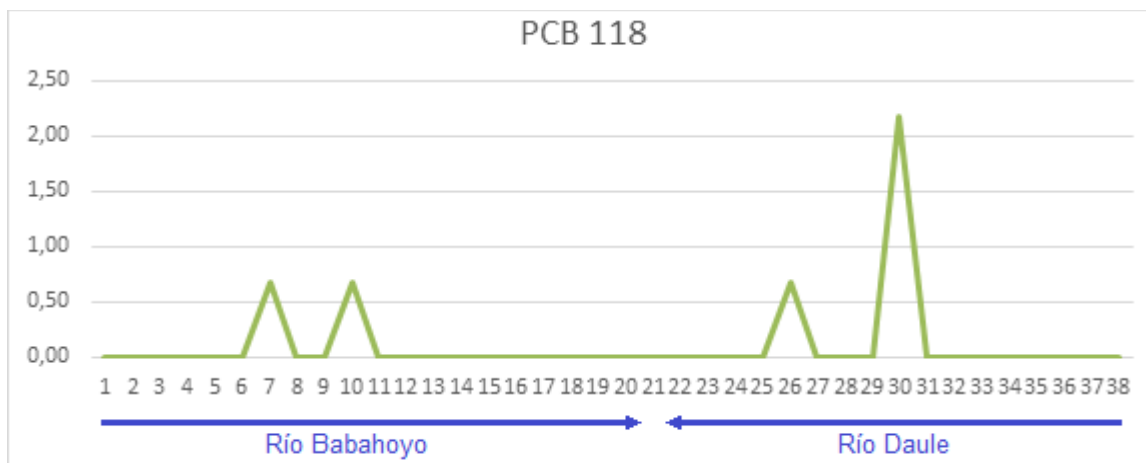


Gráfico 3. Distribución de la contaminación por PCB 118.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

En este caso las concentraciones son menores y existen dos puntos de contaminación en cada uno de los ríos. Sin embargo, el río Daule contiene la mayor concentración de PCB 118. Finalmente, el PCB 138 forma esto:

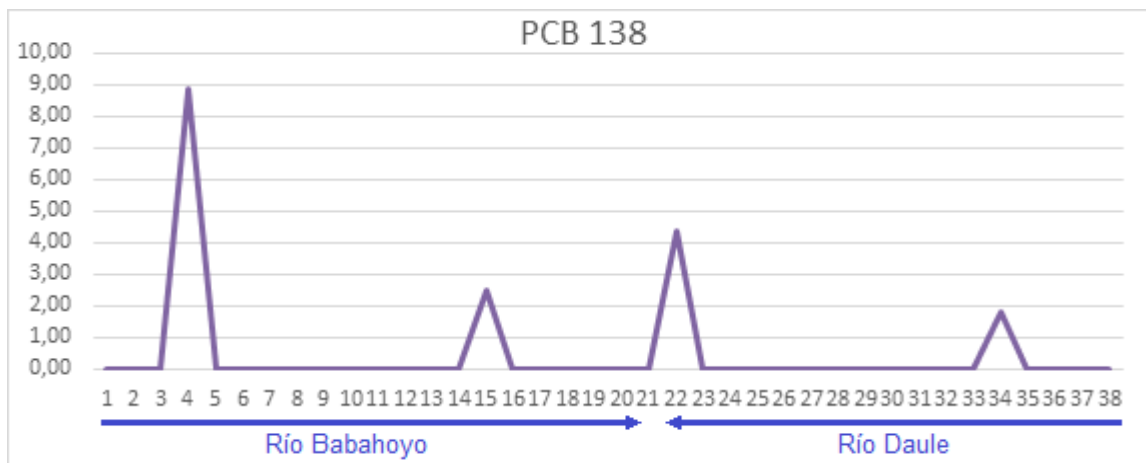


Gráfico 4. Distribución de la contaminación por PCB 138.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

En este caso la distribución tiende a parecerse a la del PCB 118, con dos puntos de contaminación por cada río. A pesar de ello, las concentraciones son mayores y además esta vez es el río Babahoyo el que presenta la mayor concentración de PCB 138. Si tomamos en cuenta a todos los congéneres analizados, obtenemos el siguiente perfil.

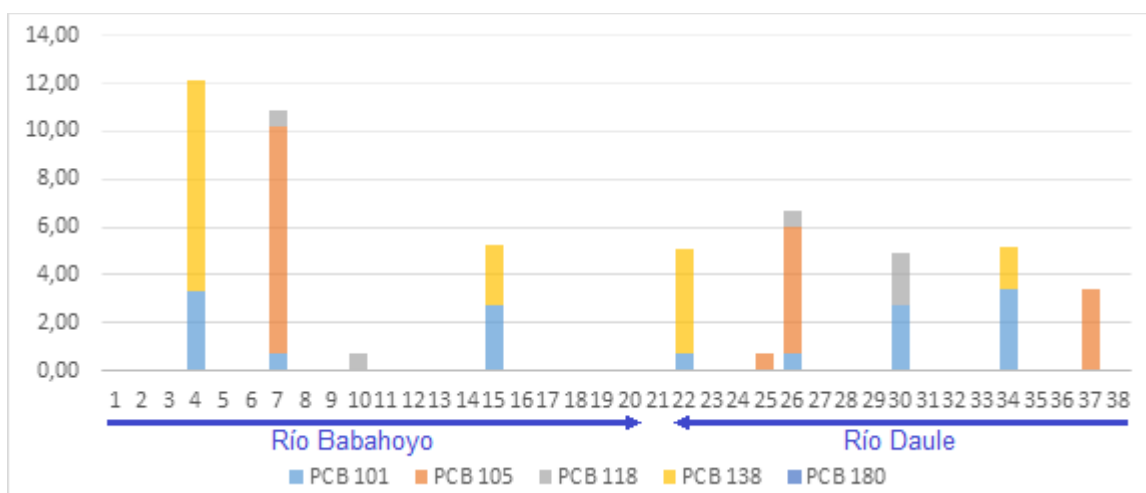


Gráfico 5. Distribución de la contaminación por 5 congéneres de PCBs.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

De los 38 puntos analizados, se detectó contaminación en 10 de ellos por al menos uno de los cinco congéneres utilizados para este análisis. Si bien hay más puntos contaminados en el río Daule que en el río Babahoyo, con

6 y 4 puntos respectivamente, se observa que el río Babahoyo presenta mayores concentraciones de PCBs.

Existe cierta proporcionalidad entre la distribución de PCBs en ciertos puntos, lo que sugiere que la contaminación en esos puntos fue causada por el mismo producto. Por ejemplo, en los puntos 4, 15, 22 y 34 se encontraron mezclas de PCB 101 con PCB 138. Así mismo, en los puntos 7 y 26, se encontraron mezclas donde predomina el PCB 105 junto con PCBs 101 y 118 en menor grado. Es posible que esta misma mezcla sea la causante de la contaminación en los puntos 25 y 37, pero los PCBs 101 y 118 no aparezcan por encontrarse debajo del límite de detección.

Cabe notar que este estudio cubre apenas 5 congéneres de 209 existentes, por lo que no se puede determinar un valor total de PCBs. Así mismo, en los cromatogramas se observaron picos que no se pudieron identificar, mucho menos cuantificar, que sugiere presencia de congéneres de PCBs con mayor influencia sobre el total que los utilizados para este análisis. En el siguiente gráfico se observan algunos picos de área similar a los analizados en el mismo rango de tiempo (recuadro principal). Además, consistentemente aparecen tres picos de área mucho mayor con tiempos de retención menores (recuadro secundario). Se sospecha que corresponden a congéneres de PCBs con menor grado de cloración, o a pesticidas organoclorados. De tratarse de lo primero, esto sugeriría que los congéneres de PCBs que mejor reflejan la concentración total son aquellos de menor grado de cloración a los utilizados para este análisis.

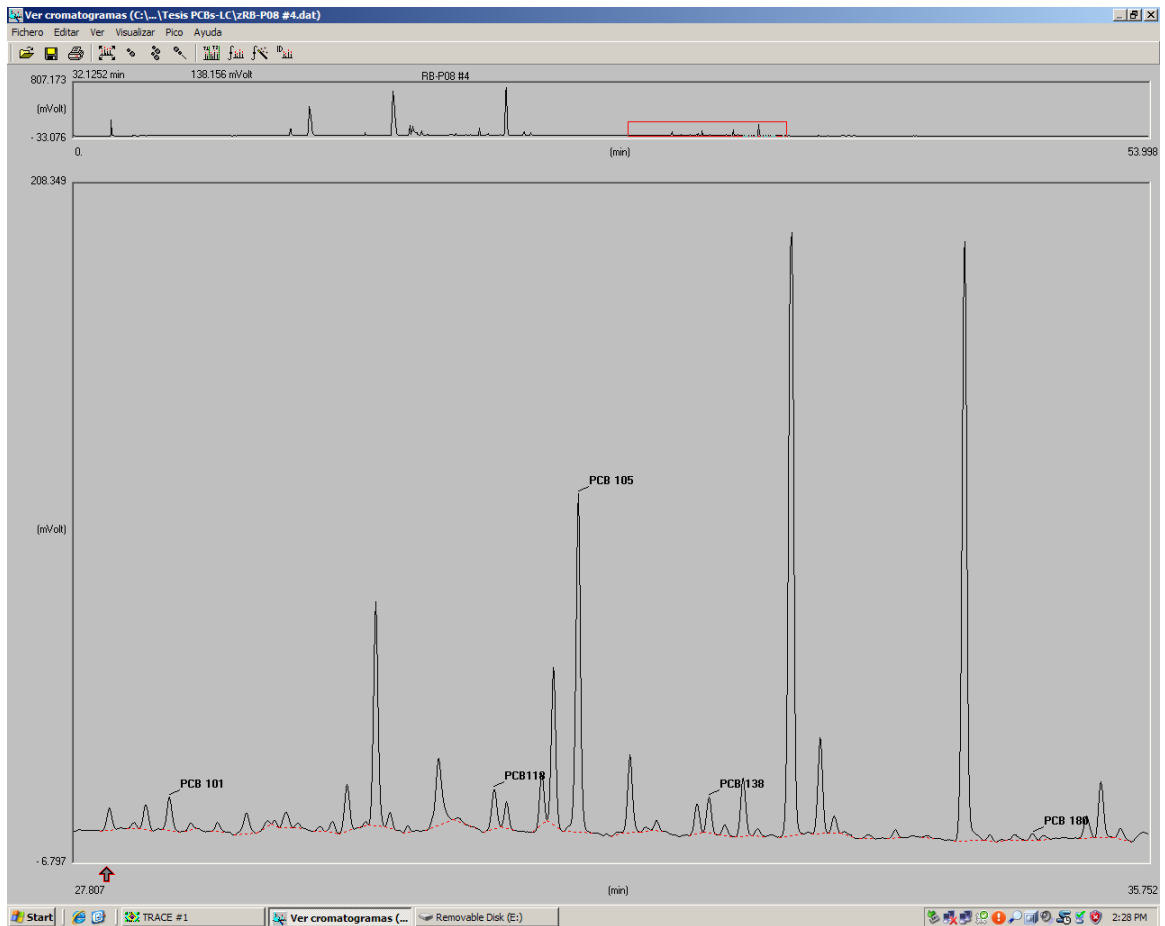


Figura 8. Cromatograma del punto 7.

Fuente: Hilzinger, 2017

Elaboración propia

Esto también significaría que es muy probable que en los 10 puntos donde se detectó contaminación, la concentración total de PCBs en sedimentos supere el límite de efectos toxicológicos leves establecido en 35 ppb.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

Existe contaminación por PCBs sobre el río Babahoyo en los puntos 4, 7, 10 y 15; y sobre el río Daule en los puntos 22, 25, 26, 30, 34 y 37. Las posibles fuentes de contaminación incluyen gasolineras, fábricas y áreas urbanas en construcción excepto para el punto 10, en donde no se pudo identificar fuente aparente.

La distribución de los congéneres de PCBs en los puntos contaminados sugiere que los puntos 4, 15, 22 y 34 fueron contaminados por la misma mezcla comercial. Así mismo, los puntos 7, 25, 26 y 37 probablemente fueron contaminados por otra mezcla comercial de PCBs.

Se observaron picos en los cromatogramas que no pudieron ser identificados ni mucho menos cuantificados, pero que se sospecha corresponde a otros congéneres de PCBs de menor grado de cloración a los usados para este análisis y, debido a su área, podrían representar una porción más representativa de la concentración total de PCBs en los sedimentos.

La contaminación total por PCBs en los puntos 4, 7, 15, 22, 26, 30, 34, y 37 podrían superar los 35 ppb de límite de efecto toxicológico leve, al considerar que el análisis cubrió 5 de los 209 congéneres posibles dejando a muchos picos, especialmente los de menor grado de cloración, sin cuantificar.

6.2 Recomendaciones

- Durante la limpieza de muestras, al pasar la capa de hexano de la limpieza con ácido sulfúrico a la columna con Florisil, no tocar la capa de ácido con la pipeta Pasteur. La presencia de ácido podría dañar la columna del cromatógrafo. Es preferible hacer un enjuague

de la capa ácida con solvente además del estipulado en la metodología para mayor recuperación de analito.

- Al usar el mezclador vórtex, asegurarse de que el recipiente a agitar esté bien cerrado. Una salpicadura no sólo representa pérdida de analito, sino que además podría resultar en una quemadura por ácido sulfúrico.
- Colocar los residuos de sedimentos con solvente que quedan de la EAM en un recipiente amplio, como un vaso de precipitación de 250 mL, y dejar secar en la sorbona antes de desecharlos. Así se evita la contaminación del aire del laboratorio y con ello la exposición de las vías respiratorias al n-hexano.
- Previo a la realización de análisis, limpiar el colector de electrones con óxido de aluminio y agua destilada, luego en ultrasonido con hexano-metanol 1:1. También, cambiar la septa y el liner para evitar contaminación.

6.3 Limitaciones

Este proyecto tuvo limitaciones de tiempo y de recursos que se deben tomar en cuenta para futuras investigaciones.

Debido a la diferencia de biodegradabilidad entre componentes de una mezcla de PCBs, el cromatograma de una muestra fresca se verá muy diferente al de la misma muestra que ha estado expuesta al ambiente por meses o años. Esto dificulta su análisis como mezcla Aroclor u otra formulación comercial, por lo que se prefirió el análisis por congéneres individuales. Sin embargo, durante el proyecto sólo estuvieron disponibles 5 de 209 congéneres. Esto deja a muchos de los picos del cromatograma sin identificar, mucho menos medir, a la vez que los resultados de este proyecto quedan incapaces de reflejar la totalidad de PCBs en los sedimentos.

Esta misma limitación impide que se pueda hacer un cálculo del Factor de Toxicidad Equivalente. Este cálculo permitiría evaluar con mayor precisión el riesgo real de la contaminación para los habitantes de la zona estudiada.

REFERENCIAS

- Kumar, B., Verma, V. K., Singh, S. K., Kumar, S., Sharma, C. S., & Akolkar, A. B. (2014). *Polychlorinated Biphenyls in Residential Soils and their Health Risk and Hazard in an Industrial City in India*. *Journal of Public Health Research*, 3(2), 252. <http://doi.org/10.4081/jphr.2014.252>
- Ullmann, F. & Ullmann, F. (2006). *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry* (1st ed.). New York: Wiley.
- State of, Washington. *Evaluating the Toxicity and Assessing the Carcinogenic Risk of Environmental Mixtures Using Toxicity Equivalency Factors*. Department Of Ecology
- Robertson, L. & Hansen, L. (2001). *PCBs* (1st ed.). Lexington, Ky.: University Press of Kentucky.
- Kimbrough, R. & Jensen, A. (1989). *Halogenated biphenyls, terphenyls, naphthalenes, dibenzodioxins, and related products*. Amsterdam: Elsevier.
- Faroon, O. (2003). *Polychlorinated biphenyls*. Geneva: World Health Organization. S.
- Dirección Nacional de Control Ambiental, Proyecto PCB. (2015). *Guía Técnica para la Gestión Ambientalmente Racional de PCB*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Jensen (1966). "Report of a new chemical hazard". *New Sci.* 32: 612.
- Tombesi, N., Pozo, K., Álvarez, M., Přebilová, P., Kukučka, P., Audy, O., & Klánová, J. (2017). *Tracking polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediments and soils from the*

southwest of Buenos Aires Province, Argentina (South eastern part of the GRULAC region). *Science Of The Total Environment*, 575, 1470-1476. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.013>

Burton, G. (2002). *Sediment quality criteria in use around the world*. The Japanese Society Of Limnology, 3, :65–75.

Status of ratifications of the Stockholm Convention. Chm.pops.int. Retrieved 2 February 2017, from <http://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatoires/tabid/4500/Default.aspx>

Ecuador cuenta con un Acuerdo Ministerial para la gestión de los contaminantes PCB. (2015). El PNUD en Ecuador. Retrieved 6 February 2017, from <http://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/presscenter/articles/2016/01/15/ecuador-cuenta-con-un-acuerdo-ministerial-para-la-gesti-n-de-los-contaminantes-pcb.html>

Afghan BK, Chau ASY (1989) *Analysis of trace organics in the aquatic environment*. Boca Raton, FL, CRC Press, pp. 33–68.

Policy and Guidance for Polychlorinated Biphenyl (PCBs) | Polychlorinated Biphenyls (PCBs) | US EPA. (2015). *Epa.gov*. Retrieved 7 February 2017, from <https://www.epa.gov/pcbs/policy-and-guidance-polychlorinated-biphenyl-pcbs>

APÉNDICE

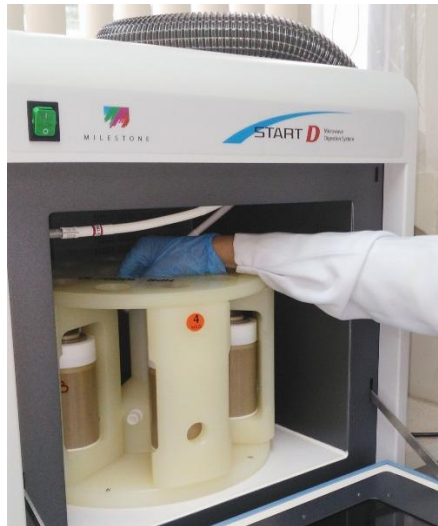


Foto 1. Interior del extractor microondas.

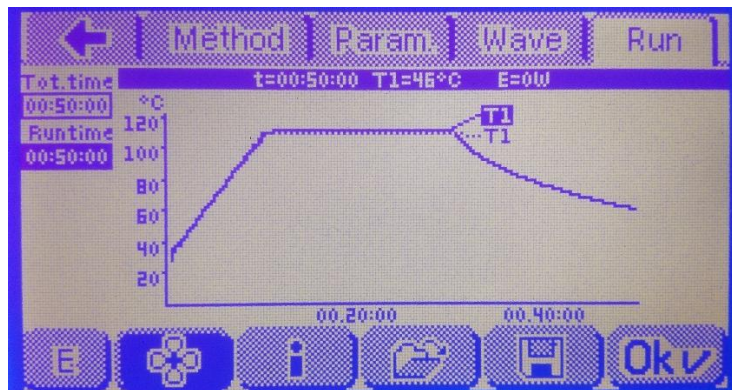


Foto 2. Programa de la EAM.

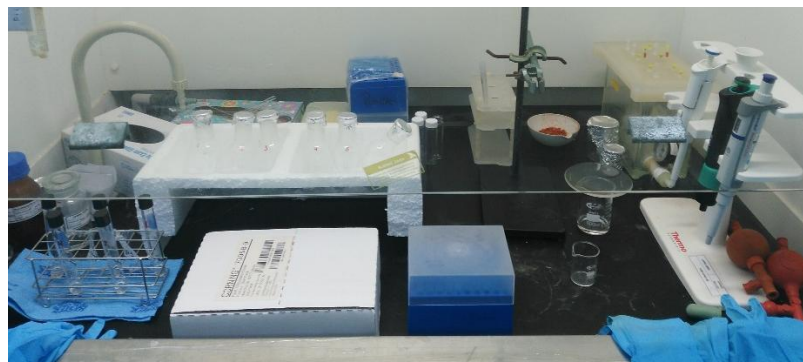


Foto 3. Espacio de trabajo en la sorbona.

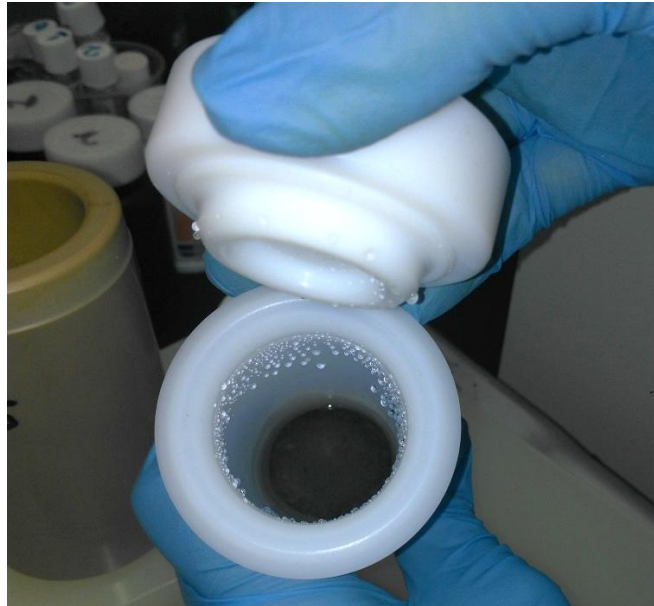


Foto 4. Interior del recipiente luego de la EAM.

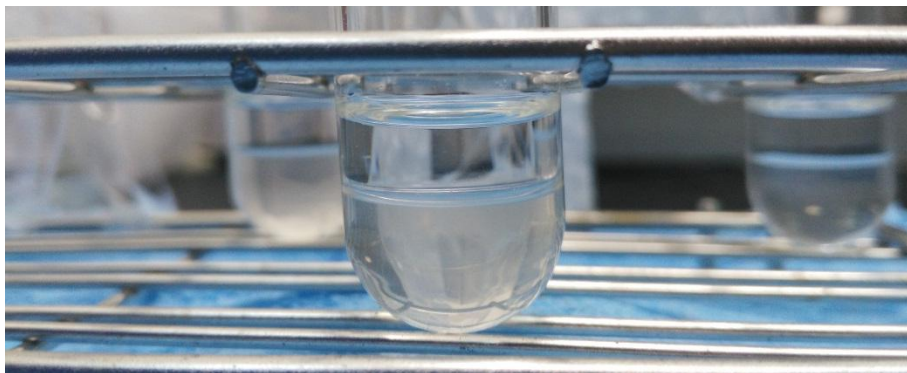


Foto 5. Limpieza con ácido sulfúrico.

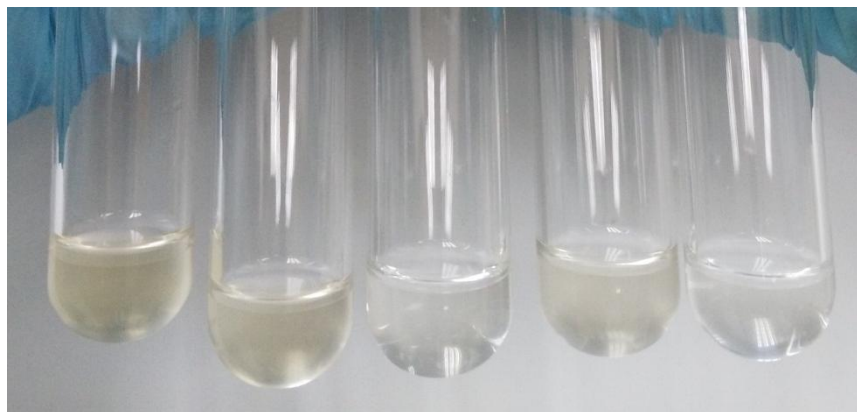


Foto 6. Residuos ácidos de muestras de puntos 34, 30, 26, 22 y 18, respectivamente.



Foto 7. Efectos del ácido sulfúrico sobre el Florisil.



Foto 8. CG tomando una muestra para análisis.

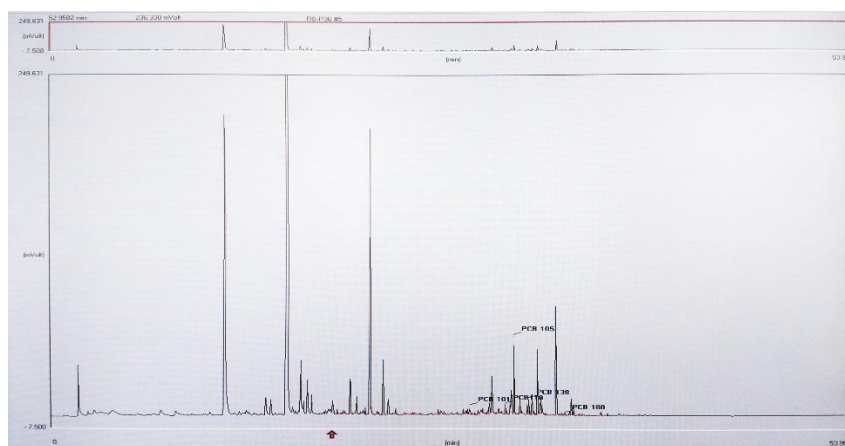


Foto 9. Cromatograma de la muestra del punto 34.

ANEXOS

Table 4. Threshold effect sediment quality guidelines for organics ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Substance	SLC	TEL ¹	ERL	LEL	MET	CB TEC 95% CI	Ontario Minimum Environmental Screening Level-low	NOAA freshwater TEL ³	NOAA TEL marine ²	NOAA ERL ¹
Acenaphthene	60	10	20						6.71	16
Acenaphthylene	50	10	40						5.87	44
Anthracene	160	50	90						46.85	85.3
Fluorene	100	20	20						21.17	19
Naphthalene	410	30	160						34.57	160
Phenanthrene	270	90	240					41.9	86.68	240
LMW PAHs									311.7	552
B(a)Anthracene	260	70	260					31.7	74.83	261
Benzo(b)fluor	320	70	320							
Benzo(k)fluor	280	60	280							
Benzo(a)pyrene	400	90	430					31.9	88.81	430
Dibenzo(a,h)anthracene									6.22	63.4
Chrysene	380	110	380					57.1	107.77	384
Fluoanthene	640	110	600					111	112.82	600
Pyrene	660	150	660					53	152.66	665
HMW PAHs									655.34	1700
Total PAHs	4090	870	3500			2900 1190-4610	2000		1684.06	4022
p,p'-DDD		3.54	2	8	10	4.88		3.54	1.22	2
p,p'-DDE		1.42	2	5	7	3.16		1.42	2.07	2.2
p,p'-DDT			1	8	9	4.16			1.19	1
Total DDT		7	3	7	9	5.28	7	6.98	3.89	1.58
Chlordane		4.5	0.5	7	7	3.24	7	4.5	2.26	0.5
Dieldrin		2.85	0.02	2	2	1.9	2	2.85	0.715	0.02
Endrin		2.67	0.02	3	8	2.22	3	2.67		0.02
Heptachlor epoxide		0.06		5	5	2.47	5	0.6		
Lindane		0.09		3	3	2.37	3	0.94	0.32	0.32
Total PCBs	3	34	50	70	200	35	70	34.1	21.55	22.7
Reference	a	a	a	a	a	a	b	c	c	b,c

SLC, screening level contamination; TEL, threshold effect level; ERL, effects range low; LEL, lowest effect level; MET, minimal effect threshold; CB, Consensus Based; TEC, threshold effect concentration; CI, confidence interval; NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration; LMW, low-molecular-weight; PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons; HMW, high-molecular-weight; DDD, dichlorodiphenyldichloroethane; DDE, dichlorodiphenyldichloroethylene; DDT, dichlorodiphenyltrichloroethane; PCBs, polychlorinated biphenyls; ISQG, Interim Sediment Quality Guidelines; ISQV, Interim Sediment Quality Value; ANZECC, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council; FDEP, Florida Department of Environmental Protection

¹ Same as Hong Kong ISQG-low^b, does not include DDT, DDE, DDT, chlordane, dieldrin, endrin, heptachlor epoxide, and lindane

Same as Hong Kong ISQV-low^d, does not include DDT, DDE, DDT, chlordane, dieldrin, endrin, heptachlor epoxide, and lindane

Same as ANZECC ISQG-low^b, does not include heptachlor epoxide

Same as ANZECC guidelines for sediments sea disposal^b, screening level effects range low, except Chlordane and Dieldrin

² Same as Canadian sediment quality criteria^a

Same as FDEP Guidelines^b

Same as Canadian Marine Sediment Quality Guidelines^b

³ Same as Canadian Freshwater Sediment Quality Guidelines^b

^a Swartz 1999

^b ANZECC 1997

^c NOAA 1999

^d Chapman et al. 1999a

^e Smith et al. 1996

Anexo 1. Tabla de concentración en sedimentos para efectos toxicológicos leves.

Fuente: Burton, 2002.

Table 5. Median effect sediment quality guidelines for organics (µg/kg)

Substance	NEC	PEL	ERM	CB MEC 95% CI	NOAA PEL freshwater ¹	NOAA PEL marine ²	NOAA ERM ³	Ontario Minimum Environmental Screening Level-severe
Acenaphthene		90	500			88.9	500	
Acenaphthylene		130	640			127.87	640	
Anthracene		240	1100			245	1100	
Fluorene		140	540			144.35	540	
Naphthalene		390	2100			390.64	2100	
Phenanthrene		540	1500		515	543.53	1500	
LMW PAHs						1442	3160	
B(a)Anthracene		690	1600		385	692.53	1600	
Benzo(b)fluor		710	1880					
Benzo(k)fluor		610	1620					
Benzo(a)pyrene		760	1600		782	763.22	1600	
Dibenzo(a,h)anthracene						134.61	260	
Chrysene		850	2800		682	845.98	2800	
Fluoranthene		1490	5100		2355	1493.54	5100	
Pyrene		1400	2600		875	1397.6	2600	
HMW PAHs						6676.14	9600	
				18000				
Total PAHs		8040	23580	6820-28540		16770.4	44792	110000
p,p'-DDD		8.51	20		8.51	7.81	20	
p,p'-DDE		6.8	15		6.75	374.17	27	
p,p'-DDT			7			4.77	7	
Total DDT		4500	350		4450	51.7	46.1	120
Chlordane		8.9	6		8.9	4.79	6	60
Dieldrin		6.67	8		6.67	4.3	8	910
Endrin		62.4	45		62.4		8	1300
Heptachlor epoxide		2.7			2.74			50
Lindane		1.38			1.38	0.99	1	10
Total PCBs	190	277	400	340	277	188.79	180	5300
Reference	a	a	a	a	b	b	b,c	c

NEC, no effect concentration; PEL, probable effects level; ERM, effect range median; CB, Consensus Based; MEC, midrange effect concentration; CI, confidence interval; NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration; LMW, low-molecular-weight; PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons; HMW, high-molecular-weight; DDD, dichlorodiphenyldichloroethane; DDE, dichlorodiphenyldichloroethylene; DDT, dichlorodiphenyltrichloroethane; PCBs, polychlorinated biphenyls; FDEP, Florida Department of Environmental Protection; ISQV, Interim Sediment Quality Value; ISQG, Interim Sediment Quality Guidelines; ANZECC, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council

¹ Same as Canadian Freshwater Sediment Quality Guidelines^c

² Same as Canadian sediment quality criteria^d

Same as FDEP Guidelines^e

Same as Canadian Marine Sediment Quality Guidelines^f

³ Same as Hong Kong ISQV-high^f, not including DDT, DDE, DDT, chlordane, dieldrin, endrin, hepta epoxide, lindane

Same as Hong Kong ISQG-high^f, not including PCB, DDT, DDE, DDT, chlordane, dieldrin, endrin, hepta epoxide, lindane

Same as ANZECC sediment quality guidelines^e, does not include heptachlor epoxide

Same as ANZECC guideline for sediments sea disposal^f, screen level-low, not acenaphthylene, DDT, chlordane, dieldrin

Same as combined ERM/PEL^a

^a Swartz 1999

^b NOAA 1999

^c ANZECC 1997

^d Smith et al. 1996

^e Hyland et al. 1999

Anexo 2. Tabla de concentración en sedimentos para efectos toxicológicos medianos.

Fuente: Burton, 2002.