



**PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MONITOREO Y
EVALUACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS,
PERSISTENTES Y BIOACUMULABLES (STPB) EN
CUENCAS HIDROLÓGICAS Y ACUÍFEROS.**

Informe final

**SUBCOORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA
SUBTERRÁNEA**

COORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA

Dra. Anne Hansen Hansen

México, 2010

PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS, PERSISTENTES Y BIOACUMULABLES (STPB) EN CUENCAS HIDROLÓGICAS Y ACUÍFEROS.

Program of monitoring and evaluation of TPBS in river basins and aquifers

Anne M. Hansen

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

Resumen

El objetivo de este trabajo es contribuir en la preparación de un programa nacional de monitoreo de vigilancia de Sustancias Tóxicas Persistentes y Bioacumulables (STPB) en cuencas hidrológicas y acuíferos. Se definieron criterios de selección y se obtuvieron listas de STPB “prioritarias”, cuyo monitoreo puede implementarse de forma inmediata sin cambios en regulaciones existentes e infraestructura, y de STPB “candidatas”, que deben investigarse con mayor detalle antes de ser incluidas en el programa de monitoreo. A través de búsquedas en Internet de páginas de universidades, centros de investigación y organismos públicos, se recopiló información de trabajos realizados sobre STPB. Se identificaron 50 instituciones que han estudiado STPB en cuencas hidrológicas y acuíferos en México. En la mayoría de estos trabajos se estudiaron metales y plaguicidas, seguido por hidrocarburos poliaromáticos (HPA), bifenilos policlorados (BPC), dioxinas y furanos. Entre 40 STPB consideradas relevantes para monitoreo de agua, sedimentos y suelos por al menos tres países u organizaciones internacionales, se incluyen 30 en 8 regulaciones en México, siendo los más comunes HPA (13 sustancias), plaguicidas (12) y metales (3). Comparando esta lista de STPB con los trabajos publicados sobre muestreo y evaluación de STPB en México, aquí se proponen 15 STPB prioritarias, teniendo en cuenta la posibilidad de incluir

sustancias candidatas, que así lo ameritan. Se propusieron sitios de monitoreo tanto prístinos como contaminados para diferentes regiones de México.

Palabras clave: Sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables

Abstract

The objective of this paper is to contribute in the preparation of a national surveillance monitoring program for Persistent, Bio-accumulating, and Toxic, Substances (PBTS) in Mexican river basins and aquifers. Selection criteria were established and lists of “priority” PBTS for immediate implementation and “candidate” PBTS-list for further assessment, were recommended. For the priority list, PBTS were selected that allow for an immediate implementation without further investigation or changes of existing regulations and infrastructure. Information on work related to PBTS in Mexico was collected through Webpages from universities, research institutes, and public organizations. Fifty Mexican institutions were identified that carry out research on PBTS in river basins and aquifers. The most studied PBTS were metals and pesticides and, to a minor extent, Polychlorinated Aromatic Hydrocarbons (PAH), Polycyclic Benzenes (PCB), dioxins and furans. Among 40 PBTS considered relevant for monitoring water, sediments and soil by at least three different countries and international organizations, 30 are included in 8 Mexican regulations where the most abundant (13 substances) are PAH followed by pesticides (12), and metals (3). Comparing this list with published sampling and evaluation of PBTS in Mexico, a starting list of 15 priority PBTS was proposed, considering the inclusion candidate substances according to a previous assessment. Both pristine and polluted sites were proposed for different regions in Mexico.

Keywords: Persisten, toxic, and bioaccumulative substances

Introducción

La contaminación por sustancias químicas en el ambiente puede causar efectos ecológicos y de salud, dependiendo principalmente de las características de las sustancias y del tipo de receptor (ecosistema, especies biológicas individuales, humanos, etc.). La contaminación del medio ambiente, particularmente la del agua y su relación con la salud de la población, es uno de los problemas más importantes de atender en materia de agua (ONU-WWAP 2003). En este aspecto, la evaluación de la contaminación resulta ser un paso indispensable para solucionar cualquier problema relacionado con riesgos a la salud y el medio ambiente. Tradicionalmente, la evaluación de la contaminación del agua es llevada a cabo de manera local para un determinado sitio, pero no cuantifica la contaminación en toda la corriente o cuerpo de agua (Troldborg et al. 2008). Al considerar a la cuenca hidrológica como escala de estudio, a menudo se logra aumentar el control de las fuentes de contaminación (Meays et al. 2006) y proponer mejoras en las condiciones de las corrientes fluviales (Hansen y Corzo-Juárez 2011). En México, la política hídrica ha establecido a las cuencas hidrológicas como las unidades básicas para el manejo del agua. Dentro de este manejo del agua se ha colocado al uso para consumo humano en primer orden (CONAGUA 2008). El agua para consumo humano se debe ajustar a las exigencias de calidad señaladas en la normatividad vigente (DOF 2004). Esta normatividad incluye sustancias químicas que se ubican dentro de la categoría de las Sustancias Tóxicas, Persistentes y Bioacumulables (STPB). Por sus características fisicoquímicas, las STPB emitidas al ambiente pueden viajar largas distancias, tienen vidas medias largas y pueden tener efectos adversos sobre los ecosistemas y la salud de las personas.

Por otro lado, México está comprometido a cumplir con los compromisos derivados de convenios internacionales sobre STPB, tal como el Convenio de Estocolmo (Fernández Bremauntz et al. 2004) y en los programas regionales para el manejo adecuado de sustancias químicas de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA) con la participación de nuestro país en el Tratado de Libre Comercio.

Para identificar las fuentes de generación de STPB, su transporte, transformación e impacto en los ecosistemas, se requiere establecer programas de monitoreo y evaluación de estas sustancias tanto en cuerpos de agua como en su entorno. La evaluación de STPB en matrices ambientales debe incluir el monitoreo de agua (subterránea y superficial), suelos y sedimentos y proveer una descripción general, coherente y comprensiva de la condición de estos medios.

Existen diferentes tipos de monitoreo y cada uno de ellos presenta diferentes objetivos. El *monitoreo de vigilancia* consiste en un programa de inspección, a través del cual se genera información general para evaluar el estado global del ambiente o de la salud, así como para evaluar cambios a largo plazo debidos a las actividades antropogénicas. El *monitoreo operacional* se realiza para todas las regiones que, sobre la base de la evaluación de impactos o monitoreos de vigilancia, están identificadas como en riesgo de no cumplir sus objetivos ambientales y para aquellas en las que los contaminantes son descargados a través de fuentes puntuales. Mientras que el *monitoreo de investigación* se recomienda llevar a cabo, cuando la razón de cualquier exceso en la concentración de contaminantes es desconocida o cuando los *monitoreos de vigilancia* indican que los objetivos ambientales para un medio específico probablemente no serán alcanzados y cuando los *monitoreos operacionales* aún no han sido establecidos, a fin de determinar las causas que no permitieron alcanzar los objetivos ambientales. Así como para determinar la magnitud y los impactos de la contaminación no intencional (Hansen *et al.* 2006).

En este trabajo se propone un programa de monitoreo y evaluación de vigilancia de STPB en cuencas hidrológicas y acuíferos, basado en la revisión de este tipo de programas en otros países u organizaciones, la normatividad nacional e infraestructura existente.

Metodología

Un programa de monitoreo de vigilancia de STPB en cuencas hidrológicas y acuíferos, debe considerar la selección de STPB a monitorear, los medios ambientales y sitios potenciales para su implementación.

Selección de STPB

En 1982, la Unión Europea definió una lista con 129 sustancias prioritaria para agua (CEC 2006). Fue cuestionada la relevancia de la inclusión de varias de estas sustancias en programas de monitoreo y los análisis rutinarios del elevado número de STPB causó costos analíticos exorbitantes. A partir de esta experiencia, la estrategia fue de compilar listas cortas y manejables de contaminantes con relevancia indiscutible para la contaminación del agua, a fin de medir o monitorear adecuadamente la reducción de emisiones. Los principales criterios utilizados para definir las 25 sustancias prioritarias listadas en el actual Marco de Agua de la Unión Europea (European Parliament 2001) son:

- 1) el peligro potencial inherente de cada sustancia (toxicidad, persistencia y bioacumulación) (BMU 2004) y
- 2) la ocurrencia actual (exposición) de las sustancias en el medio ambiente y riesgos conocidos para ciertos ecosistemas y seres humanos.

Lo anterior demuestra claramente que, por razones prácticas y económicas, la lista de sustancias debe de ser razonablemente corta. Asimismo, no necesariamente se aplican los mismos criterios para agua subterránea, agua superficial, sedimentos y suelos y, en último lugar, no necesariamente deben considerarse las mismas prioridades que para otros países u organizaciones.

Para la identificación de sustancias a considerarse en un programa de monitoreo y evaluación de STPB en México, en este trabajo se utilizó la secuencia metodológica ilustrada en la Figura 1 y que a continuación se describe.

Etapa 1. Del universo de compuestos químicos, se seleccionaron aquellos STPB consideradas como relevantes en criterios internacionales para monitoreo de STPB. Para ello, se recopilaron y analizaron las listas de sustancias, que cumplan con el criterio de ser tóxicas, persistentes y bioacumulables y que han sido definidas internacionalmente como STPB (Tabla 1).



Figura 1 Procedimiento para identificar STPB prioritarios para México

Etapa 2. Entre las STPB definidas internacionalmente se identificaron aquellas donde al menos tres instituciones u organizaciones internacionales han especificado concentraciones límites para agua subterránea, agua superficial, suelos o sedimentos. El resultado fue una lista preliminar de STPB relevantes internacionalmente para estos medios.

Etapa 3. Considerando la importancia de iniciar el programa de monitoreo de STPB sin necesidad de realizar investigación preliminar, cambios en la normatividad o infraestructura existente, se identificaron las STPB incluidas en normas y criterios mexicanos, cuyo monitoreo puede ser implementado de manera inmediata. Estas STPB cumplen con los siguientes criterios:

Tabla 1 Criterios TPB adoptados por países u organizaciones internacionales

Acuerdo/organización	Persistencia	Bioacumulación	Toxicidad	No de STPB o de grupos de sustancias	Referencia
Programa ARET	Vida media ambiental > 50 d	FBC > 500	Toxicidad normalizada > 40 (Máx = 60)	16	Environment Canada y Ontario Ministry of Environment and Energy 1994
Environment Canada y USEPA Great Lakes Bi-National Toxics Strategy	Vida media > 56 d (alto), 7-56 d (moderado), y < 7 d (bajo)	FBA > 5,000 (alto); 1,000 – 5,000 (moderado); y < 1,000 (bajo)	Substancias que aparecen en una o más de una lista de sustancias tóxicas existentes	12 Nivel I 14 Nivel II	Environment Canada y USEPA 1997
USEPA, National PBT Strategy	Vida media > 56 d (alto); 7 – 56 d (moderado) y < 7 d (bajo)	FBA > 5,000 (alto); 1,000 – 5,000 (moderado); y < 1,000 (bajo)	Substancias que aparecen en una o más de una lista de sustancias tóxicas existentes	12	USEPA 1998
USEPA Waste Minimization Program	Vida media regional > 580 d (alto); 140-580 d (moderado); < 140 d (bajo)	FB/FBC > 1,000 (alto); 250 – 1,000 (medio); y < 250 (bajo)	Potencial para causar cáncer y efectos ecológicos	31	USEPA 2005a
UNECE POPs Protocol	Vida media en agua > 2 meses; sedimentos > 6 meses; suelos > 6 meses	FB o FBA > 5,000 o log K _{ow} > 5	Potencial para afectar adversamente la salud humana y/o ambiental	12	UNECE 1998
USEPA Toxics Release Inventory (TRI)	Vida media en agua, sedimentos y suelo > 2 meses; aire > 5 d	FB/FBC > 1,000	Compuestos químicos en los Grandes Lagos (Lista nivel I)	19	USEPA 2004
NAFTA region, CCA Sound Management of Chemicals	Vida media: 2 d (aire); 6 meses (agua); 1 año (sedimentos); 6 meses (suelo)	Preferiblemente generada en campo FB 5,000, o FBC 5,000 o log K _{ow} 5	Potencial para afectar adversamente la salud humana y/o ambiental	20	CCA 1997
Criterio de la Comunidad Europea (PBT)	Vida media > 60 d en agua de mar; > 40 d en agua dulce; > 180 d en sedimentos marinos; > 120 d en sedimentos de agua dulce	FBC > 2,000	CSEO crónico < 0.01 mg/L; o CMR cat 1&2; o efectos de disrupción endocrina	25	BMU 2004, European Parliament 2001 y 2006
Criterio de la Comunidad Europea (mPmB)	Vida media > 60 d en agua; > 180 d en sedimentos	FBC > 5,000	No aplica	No definido	European Parliament 2003
USEPA New Chemicals Policy	Vida media > 2 meses	FBC > 1,000	Datos de toxicidad basados en el nivel de riesgo de interés	No definido	USEPA 2002
USEPA Presumption of a ban	Vida media > 6 meses	FBC ≥ 5,000	Datos de toxicidad basados en el nivel de riesgo de interés	No definido	USEPA 2002
Washington State	Vida media en agua superficial, suelo y/o sedimentos > 60 d	FB o FBC > 1,000 o log K _{ow} > 5	Dosis de referencia o toxicidad equivalente < 0.003 mg/kg/día; o CSEO crónico; o toxicidad equivalente < 0.1 mg/L; o CSEO agudo; o toxicidad equivalente < 1.0 mg/L	89	Washington State Department of Ecology 2005
Environment Canada Toxic Substances Management Policy	Vida media aire > 2 d; agua > 6 meses; sedimentos > 1 año; suelo > 6 meses	FB o FBC > 5,000 o log K _{ow} > 5	Toxicidad acorde a la EPA	No definido	Environment Canada 2004

FBA = Factor de BioAcumulación
 FBC = Factor de BioConcentración
 CSEO = Concentración Sin Efecto Observado
 CMR = Carcinógeno Mutagénico o tóxico para la Reproducción
 mPmB = muy Persistente y muy Bioacumulable

- Se conoce que afectan o podrían afectar la calidad del agua subterránea, agua superficial, suelos o sedimentos o a la salud humana.
- Existen o pueden establecerse con facilidad criterios o límites de referencia.
- Se garantiza la exactitud de los métodos analíticos.
- Existe capacidad humana e infraestructura para llevar a cabo análisis de rutina y puedan ser incorporados en programas existentes de monitoreo.

Esta información se recabó mediante consulta de publicaciones científicas y gubernamentales que fueron consultadas a través de bases de datos o páginas oficiales de universidades, centros de investigación e instituciones federales, estatales y municipales. El resultado fue una lista inicial de STPB, consideradas como “prioritarias”.

Etapa 4. Paralelamente se puede incluir otras STPB en una lista de sustancias “candidatas” para su futura evaluación. Como procedimiento para su evaluación se proponen los siguientes:

- Muestreos y evaluaciones preliminares que indican que existen concentraciones elevadas en regiones de interés.
- Existencia de fuentes contaminantes o descargas de las sustancias candidatas en regiones de interés.
- Definición de concentraciones máximas permisibles para diferentes matrices ambientales a través de criterios TPB.
- Métodos analíticos y estándares de calidad. Un problema general de la evaluación de STPB es que actualmente, incluso a nivel internacional, las concentraciones recomendadas de algunas STPB están por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos. Por ello, antes de incluir nuevas STPB en la lista de sustancias candidatas o en programas de monitoreo, deben definirse los métodos de muestreo, de preparación de muestras, de su

extracción y análisis. Adicionalmente, para garantizar resultados confiables y comparables, deben definirse estándares de calidad, límites de detección y de cuantificación.

- Criterios ecológicos y para la salud humana así como concentraciones de referencia de los STPB.
- Presupuesto para el monitoreo. Dado que los costos de monitoreo son altos, antes de incluir una sustancia en el programa de monitoreo, deben considerarse la importancia del resultado esperado. Esto significa que una sustancia puede cumplir con todos los criterios TPB pero, por razones económicas, podrían tener prioridad otras sustancias cuando el presupuesto es limitado.
- Definición de responsabilidades. Por consenso entre las partes se debe precisar quiénes definirán las STPB a incluir en el programa de monitoreo y quiénes serán los responsables de su monitoreo tanto a nivel federal, estatal y municipal como en la sociedad, y qué sustancias candidatas deben incluirse en la lista de sustancias prioritarias.

Etapa 5. **Lista revisada de STPB.** Para evitar gastos innecesarios de análisis, la lista de STPB prioritarias debe ser reevaluada con cierta frecuencia, considerando tanto los resultados del programa de monitoreo como la inclusión de sustancias candidatas.

Selección de sitios de monitoreo.

El programa de monitoreo de STPB en agua, sedimentos y suelos, debe incluir tanto sitios afectados por actividades humanas como sitios de referencia o prístinos. Para la selección de sitios afectados y prístinos se aplicó la metodología establecida por van Afferden et al. (2003), siguiendo los siguientes criterios

- Población $\geq 30\ 000$ habitantes y uso de suelo agrícola $> 50\%$ en un radio de 20 km a partir del punto de monitoreo;

- Accesibilidad y cercanía a estaciones de programas existentes de monitoreo de contaminantes.

Para los sitios prístinos se siguieron los siguientes criterios

- Población $\leq 30\ 000$ habitantes y uso de suelo agrícola $\leq 20\%$ en un radio de 20 km a partir del punto de monitoreo, o elevación $> 1\ 000$ m
- Uso de suelo agrícola $\leq 50\%$ en un radio de 50 km o elevación de 500 m
- Accesibilidad y cercanía a estaciones de programas existentes de monitoreo de contaminantes.

Entre los programas de monitoreo de contaminantes se consideró la Red Nacional de Monitoreo (RNM) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA 2011), donde desde 1970 se monitorea la calidad fisicoquímica y microbiológica de agua subterránea y superficial en cuencas hidrológicas. La infraestructura y logística existentes pueden ser una buena base para incluir el monitoreo de STPB en la RNM, ampliando la lista de parámetros que actualmente se evalúan.

Resultados

Selección de STPB

Acorde a los criterios PBT (Tabla 1) Hansen et al. (2006) identificaron más de 133 STPB consideradas por distintos países u organizaciones internacionales. Entre estas STPB, 40 están consideradas de importancia por al menos tres países u organizaciones internacionales para el monitoreo en agua, sedimentos y suelos (Tabla 2).

En las normas y criterios mexicanos para calidad del agua subterránea (DOF 2001 y 2009), agua superficial (DOF 1989, 1997, 1998 y 2000) y suelos (DOF 2003, 2005a y b, y 2007), los 33 STPB considerados incluyen a 30 de las 40 STPB de relevancia internacional, mencionados en la Tabla 2. Estas 30 STPB podrían representar la lista base para el programa de monitoreo en agua, sedimentos

y suelos en nuestro país. Sin embargo, no todas estas STPB tienen la misma relevancia para todas las matrices ambientales, por lo que a continuación se definen las STPB relevantes para los medios de interés para este trabajo.

STPB prioritarias para agua

En regulaciones de Europa (BMU 2004, UBA 2005), EEUU (USEPA 2009) y Canadá (Environment Canada 2003), se identificaron 50 STPB con criterios ecológicos y métodos analíticos para agua (Tabla 3). De éstos, seis se incluyen en las regulaciones de al menos tres países u organizaciones así como en la normatividad mexicana (Tabla 4).

Se identificaron 154 referencias sobre STPB en cuerpos de agua superficial en México, mismos que se relacionan principalmente con plaguicidas y metales (Tabla 5). Esto sugiere que existe suficiente infraestructura para el monitoreo de estas sustancias (Tabla 4).

Tabla 2 STPB relevantes a nivel internacional e incluidas en la normatividad mexicana

Categoría	STPB relevantes a nivel internacional	País/ organización	Referencia	STPB en normatividad mexicana	Normatividad mexicana
Solventes clorados				Hexacloroetano	d
Clorobencenos				1,4-Diclorobenceno	d
	Hexaclorobenceno	ONU, UE, EEUU, Canadá, CCA	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Hexaclorobenceno	a, d
	Pentaclorobenceno	UE, EEUU, Canadá	1, 2, 5, 6, 8		
Dioxinas/ Furanos	Dibenzo-p-dioxinas y dibenzofuranos policlorados	ONU, EEUU, Canadá, CCA	2, 3, 5, 6, 7, 8		
Metales	Cadmio	UE, EEUU, Canadá, CCA	1, 2, 5, 7, 8	Cadmio	a, b, c, d, e, g
	Plomo	UE, EEUU, Canadá, CCA	1, 2, 5, 6, 7, 8	Plomo	a, b, c, d, e, g
	Mercurio	UE, EEUU, Canadá, CCA	1, 4, 5, 6, 7, 8	Mercurio	a, b, c, d, e, g
Otros orgánicos halogenados	Hexabromobifenil	EEUU, Canadá, CCA	5, 6		
	Hexaclorobutadieno	UE, EEUU, Canadá	1, 2, 5, 8	Hexaclorobutadieno	d
HPA	Acenafteno	EEUU, Canadá y Países Bajos	11	Acenafteno	d
	Acenaftileno	EEUU, Canadá y Países Bajos	11	Acenaftileno	d
	Antraceno	UE, EEUU, Canadá	1, 2, 8		f
	Benzo(a)antraceno	EEUU, Canadá y Países Bajos	11	Benzo(a)antraceno	f
	Benzo(a)pireno	UE, EEUU, Canadá	1, 4, 6, 8	Benzo(a)pireno	f
	Benzo(b)fluoranteno	UE, EEUU, Canadá	1, 4, 5	Benzo(b)fluoranteno	f
	Benzo(g,h,i)perileno	UE, EEUU, Canadá	1, 2, 4, 5, 6, 8		
	Benzo(k)fluoranteno	UE, EEUU, Canadá	1, 4, 5	Benzo(k)fluoranteno	f
	Dibenzo(a,h)antraceno	EEUU, Canadá y Países Bajos	11	Dibenzo(a,h)antraceno	f
	Fenantreno	EEUU, Canadá y Países Bajos	11		
	Fluoranteno	UE, EEUU, Canadá	4, 5	Fluoranteno	d
	Criseno	EEUU, Canadá y Países Bajos	11		
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	UE, EEUU, Canadá	1, 4, 5	Indeno(1,2,3-cd)pireno	f
	Naftaleno	EEUU, Canadá y Países Bajos	11	Naftaleno	d
	Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)	UE, EEUU, Canadá, CCA	1, 2, 4, 5, 6, 8	Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)	d
	Pireno	EEUU, Canadá y Países Bajos	11		
				4-Bromofenil fenil eter	d
BPC	Bifenilos policlorados (BPC)	ONU, UE, EEUU, Canadá, CCA	3, 4, 5, 6, 7, 8	Bifenilos policlorados (BPC)	d
PCF	Pentaclorofenol	UE, EEUU, Canadá, CCA	1, 2, 4, 7, 8	Pentaclorofenol	d

Plaguicidas	Aldrin	ONU, EEUU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 7,8	Aldrin	a, d
	Atrazina	OMS, EEUU, Cañada, EC	2, 9, 10		
	Clordano	ONU, EEUU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 7,8	Clordano	a, d
	DDT, DDD, DDE	ONU, UE, EEUU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 7, 8	DDT, DDD, DDE	a, d
	Dieldrin	ONU, EEUU, Canadá, CCA	3, 5, 7	Dieldrin	a, d
	Endosulfan alfa, beta	UE, EEUU, Cañada	1, 2	Endosulfan alfa, beta	d
	Endrin	ONU, EEUU, Canadá, CCA	3, 5, 7, 8	Endrin	d
	Heptacloro/epóxido de heptacloro	ONU, EEUU, Canadá, CCA	2, 3, 5, 6, 7, 8	Heptacloro/epóxido de heptacloro	a, d
	Hexaclorociclohexano (alfa, beta)	UE, EEUU, Canadá, CCA	1, 2, 4, 7, 8	Hexaclorociclohexano (alfa, beta)	d
	Hexaclorociclohexano isómero gamma (Lindano)	UE, Canadá, CCA	1, 4	Hexaclorociclohexano isomero gama (Lindano)	a, d
	Metoxicloro	UE, EEUU, Canadá	2, 6	Metoxicloro	a, d
	Mírex	ONU, EEUU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 8		
	Toxafeno	ONU, EEUU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 7, 8	Toxafeno	d
Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	EEUU, Canadá y Países Bajos	11	Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	d	

EC	Comunidad Europea	1	European Parliament 2001	a	DOF 2000
UNECE	Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas	2	USEPA 2005a	b	DOF 1997
EEUU	Estados Unidos de América	3	UNECE 1998	c	DOF 1998.
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte	4	Environment Canada 1994	d	DOF 2010
		5	Washington State Department of Ecology 2005	e	DOF 2003
		6	USEPA 2004	f	DOF 1994
		7	CEC 2005	g	SAGARPA 1994a
		8	Environment Canada and USEPA 1997	h	DOF 2001
		9	Environment Canada 2003		
		10	European Parliament 1998		
		11	BMU 2004, UBA 2005		

Tabla 3 STPB con límites y métodos analíticos definidos en al menos una de las regulaciones analizadas

Grupo de contaminantes	Agua superficial ^{1,2,3,4}	Agua subterránea/agua potable ^{2, 5, 6, 7}
Clorobencenos	1,2,3,4-Tetraclorobenceno	
	1,2,4-Triclorobenceno	1,2,4-Triclorobenceno
	1,4-Diclorobenceno	1,4-Diclorobenceno
	Hexaclorobenceno	Hexaclorobenceno
	Pentaclorobenceno	
	Triclorobenceno	Triclorobenceno
Dioxinas/Furanos		2,3,7,8 Tetraclorodibenzo-p-dioxina
Metales	Cadmio	Cadmio
	Plomo	Plomo
	Mercurio	Mercurio
Otros orgánicos halogenados	Clorpirifos	Clorpirifos
	C10-13-cloroalcanos	
	Hexaclorobutadieno	Hexaclorobutadieno
Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)	Acenafteno	
	Antraceno	
	Benzo(a)antraceno	
	Benzo(a)pireno	Benzo(a)pireno
	Benzo(b)fluoranteno	Benzo(b)fluoranteno
	Benzo(g,h,i)perileno	Benzo(g,h,i)perylene
	Benzo(k)fluoranteno	Benzo(k)fluoranteno
	Fluoranteno	
	Fluoreno	
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	Indeno(1,2,3-cd)pireno
	Naftaleno	
	Fenantreno	
	Pireno	
		HPA totales
PBDEs	Polibromodifenil éteres (PBDE)	
BPC	Bifenilos policlorados (BPC)	Bifenilos policlorados (BPC)
PCF	Pentaclorofenol	Pentaclorofenol
Plaguicidas	Aldrín	Aldrín
	Atrazina	Atrazina
	Clordano	Clordano
		Clordecona (Kepona)
	DDT, DDD, DDE	DDT, DDD, DDE
	Dieldrín	Dieldrín
	Diuron	Diuron
	Endosulfán alfa, beta	Endosulfán alfa, beta
	Endrín	Endrín
	Heptacloro y epóxido de heptacloro	Heptacloro y epóxido de heptacloro
	Hexaclorociclohexano (alfa, beta)	Hexaclorociclohexano (alfa, beta)
	Isoproturón	Isoproturón
	Lindano	Lindano
		Metoxicloro
	Mirex	Mirex
		Pendimetalina
	Simazina	Simazina
	Toxafeno	Toxafeno
	Compuestos tributiltin	
	Tributiltin -catión	
Trifluralin	Trifluralin	
Ftalatos	Di(2-etilhexil)ftalato	Di(2-etilhexil)ftalato
Surfactantes	Nonilfenoles/4-nonilfenol	
	Octilfenoles	

	Para-tert-octilfenol	
--	----------------------	--

¹USEPA 2009, ²Environment Canada 2003, ³BMU 2004, ⁴UBA 2005, ⁵USEPA 2005c, ⁶WHO 2004b, ⁷European Parliament 1998

Tabla 4 Propuesta de STPB prioritarias para agua superficial

STPB prioritarias preliminares	Infraestructura existente para monitoreo	Métodos analíticos definidos
Cadmio	Bueno	Nacionales
Plomo	Bueno	Nacionales
Mercurio	Bueno	Nacionales
Pentaclorofenol	Pobre	Nacionales
Endosulfán alfa, beta	Bueno	Nacionales
Lindano	Bueno	Nacionales

Tabla 5 Referencias sobre STPB en agua superficial

Institución	Contaminantes	Número de referencias
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Varios STPB (37) Metales (3) Plaguicidas (9)	49
Universidad Nacional Autónoma de México	Plaguicidas (4) Metales (21)	25
Universidad Autónoma de Sinaloa	Plaguicidas (8) Metales (2) Varios STPB (1)	11
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.	Varios STPB (1) Metales (5) plaguicida (1)	7
Universidad Autónoma de Baja California	Plaguicida (1) Metales (5)	6
Universidad Autónoma Metropolitana	Plaguicida (1) Metales (4) HPA (1)	6
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	Varios STPB(3) Metales (1) Plaguicidas (1)	5
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Plaguicidas (1) Metales (2) Varios STPB(2)	5
Instituto Politécnico Nacional	Metales (1) Plaguicidas (1) Varios STPB(1)	3
Universidad Autónoma de Tamaulipas	Varios STPB(3)	3
Universidad Autónoma de Zacatecas	Metales (2) Varios STPB(1)	3
Universidad de Guadalajara	Varios STPB(3)	3
El Colegio de la Frontera Sur	Varios STPB(1) Plaguicidas (1)	2
Universidad Autónoma de Querétaro	Plaguicidas (1) Varios STPB(1)	2
Universidad Autónoma de Yucatán	Metales (1) Plaguicidas (1)	2
Universidad Autónoma de Aguascalientes	Varios STPB(2)	2
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	Varios STPB(2)	2
Universidad del Mar	Varios STPB(2)	2
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	Varios STPB(1)	1
Cámara Nacional de la Industria de la Transformación	Metales (1)	1
Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS	Varios STPB(1)	1
Centro de Investigación y Asesoría Tecnológica en Cuero y Calzado	Metales (1)	1
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.	Varios STPB(1)	1
Harvard School of Public Health	Metales (1)	1
Instituto Nacional de Ecología	Plaguicidas (1)	1
Texas A&M University	Metales (1)	1
Instituto Nacional de Salud Pública	Metales (1)	1
Instituto Tecnológico de Tijuana	Metal (1)	1
Universidad Autónoma de Campeche	BPC (1)	1
Universidad Autónoma de Coahuila	Varios STPB(1)	1
Universidad Autónoma de Guadalajara	Varios STPB(1)	1

Universidad Autónoma de Nayarit	Varios STPB(1)	1
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Varios STPB(1)	1
Coastal Carolina University Department of Marine Science	Metal (1)	1
Número total de estudios identificados		154

La principal fuente de agua para abastecimiento público en nuestro país es el agua subterránea, que representa 37% del consumo total (CONAGUA 2011). En regulaciones sobre agua potable a nivel internacional se especifican concentraciones límite y métodos analíticos para 38 STPB (Environment Canada 2003, USEPA 2005b, WHO 2004, European Parliament 1998) de los cuales los siguientes cinco se repiten en tres o más países u organizaciones: cadmio, plomo, mercurio, atrazina, benzo(a)pireno y metoxicloro. Estas STPB están también incluidas en la normatividad nacional relacionada con la vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público (DOF 2001), donde se especifican 11 STPB y en los STPB considerados para recarga artificial de acuíferos (DOF 2009), donde se especifican 20.

Para agua subterránea se propone considerar las 18 STPB incluidas en la normatividad nacional (Tabla 6), sujeto a disponibilidad de infraestructura de acuerdo a las referencias identificadas en la literatura. Son relativamente pocos los estudios realizados en nuestro país sobre STPB en agua subterránea, identificándose sólo 35 (Tabla 7) y los STPB evaluados pertenecen principalmente a la categoría de metales y plaguicidas. Debido a la falta referencias sobre mercurio, benzo(pireno), BPC, simazina y toxafeno, se recomienda excluir estas STPB de la lista de STPB prioritarias, realizar evaluaciones de riesgo, así como establecer la infraestructura y capacidades necesarias antes de considerar su inclusión para monitoreo en agua subterránea en México.

Tabla 6 Propuesta de STPB prioritarias para agua subterránea

STPB prioritarias preliminares	Infraestructura existente para monitoreo	Métodos analíticos definidos
Aldrín	Buena	Nacional
Atrazina	Buena	Internacionales
Cadmio	Buena	Nacionaleses

Clordano (total de isómeros)	Buena	Nacionales
DDT (total de isómeros)	Buena	Nacionales
Dieldrín	Buena	Nacionales
Endrín	Buena	Nacionales
Gamma-HCH (lindano)	Buena	Nacionales
Heptacloro y epóxido de heptacloro	Buena	Nacionales
Hexaclorobenceno	Buena	Nacionales
Mercurio	Pobre	Nacionales
Metoxicloro	Buena	Nacionales
Pentaclorofenol	Buena	Nacionales
Plomo	Buena	Nacionales
Benzo(a)pireno	Pobre	Internacionales
Bifenilos policlorados (BPC)	Pobre	Internacionales
Simazina	Pobre	Internacionales
Toxafeno	Pobre	Internacionales

Tabla 7 Referencias sobre STPB en agua subterránea

Institución	Contaminantes	Número de referencias
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Varios STPB (9) Plaguicidas (3)	14
Universidad Nacional Autónoma de México	Metales (1) Varios STPB (4)	5
Universidad Autónoma de Nuevo León	Varios STPB (3)	3
Instituto Politécnico Nacional	Metales (1) Varios STPB (1)	2
Universidad Autónoma de Aguascalientes	Varios STPB (2)	2
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.	Metales (1)	1
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	Varios STPB (1)	1
Instituto Nacional de Ecología	Plaguicidas (1)	1
Universidad Autónoma de Coahuila	Varios STPB (1)	1
Universidad Autónoma de Querétaro	Plaguicidas (1)	1
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Varios STPB (1)	1
Universidad Autónoma de Tamaulipas	Plaguicidas (1)	1
Universidad Autónoma de Yucatán	Plaguicidas (1)	1
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	Varios STPB (1)	1
Número total de estudios identificados		35

STPB prioritarias para sedimentos

De 23 STPB identificados para sedimentos en guías internacionales (Friday 2005), 12 se incluyen en las regulaciones de al menos tres países u organizaciones (Tabla 8).

Tabla 8 Propuesta de STPB prioritarias propuestos para sedimentos

STPB prioritarias preliminares	Infraestructura existente para monitoreo	Métodos analíticos definidos
Cadmio	buena	Internacionales
Plomo	buena	Internacionales
Mercurio	buena	Internacionales
Antraceno	regular	Internacionales
Benzo(a)antraceno	regular	Internacionales
Benzo(a)pireno	regular	Internacionales
BPC	regular	Internacionales

Criseno	regular	Internacionales
Fenantreno	regular	Internacionales
Fluoranteno	regular	Internacionales
Naftaleno	regular	Internacionales
Pireno	regular	Internacionales

Se identificaron 103 referencias sobre STPB en sedimentos, mismos que se relacionan principalmente con plaguicidas y metales, así como algunos con HPA y BPC (Tabla 9), sugiriendo que existe infraestructura buena para monitoreo de metales y regular, para monitoreo de HPA (Tabla 8).

Tabla 9 Referencias sobre STPB en sedimentos

Institución	Contaminantes	Número de referencias
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Metales (5) Plaguicidas (7) Varios STPB (15)	27
Universidad Nacional Autónoma de México	Metales (19) Plaguicidas (1)	20
Universidad Autónoma Metropolitana	Metales (7) Plaguicidas (2) HPA (1)	10
Instituto Politécnico Nacional	Metales (1) Plaguicidas (3) HPA (1)	5
Universidad Autónoma de Baja California	Metales (1) Plaguicidas (1) Varios STPB (3)	5
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	Metales (1) Varios STPB (3)	4
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.	Metales (3)	3
Universidad Autónoma de Baja California	Varios STPB (3)	3
Universidad Autónoma de Yucatán	Metales (1) HPA (2)	3
Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS	Varios STPB (1) Metales (1)	2
El Colegio de la Frontera Sur	Plaguicidas (1) HPA (1)	2
Universidad Autónoma de Zacatecas	Varios STPB (1) Metales (1)	2
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Metales (2)	2
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.	Metales (1)	1
Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-IPN. Universidad Autónoma de Sinaloa. ICMYL-UNAM. CIAD. México.	Metales (1)	1
Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales	Metales (1)	1
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Varios STPB (1)	1
Universidad Autónoma de Guadalajara	Varios STPB (1)	1
Universidad Autónoma de Tamaulipas	Varios STPB (1)	1
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Varios STPB (1)	1
Instituto Nacional de Ecología	Metales (1)	1
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	Metales (1)	1
Southern California Coastal Water Research Project	Metales (1)	1
Texas A&M University	Metales (1)	1
Universidad Autónoma de Campeche	BPC (1)	1
Instituto Tecnológico de Mazatlán	Metales (1)	1
Coastal Carolina University Department of Marine Science	Metales (1)	1
Número total de estudios identificados		102

Lista prioritaria de STPB para suelos

De los 33 STPB identificados en guías internacionales (Friday 2005), cinco se incluyen en las regulaciones de al menos tres países u organizaciones. En la normatividad mexicana se incluyen seis STPB adicionales para un total de 11 (Tabla 10).

Tabla 10 Propuesta de STPB prioritarias propuestos para suelos

STPB prioritarias preliminares	Infraestructura existente	Métodos analíticos definidos	Infraestructura para monitoreo existente
Cadmio	Buena	Nacionales	Buena
Plomo	Buena	Nacionales	Buena
Mercurio	Buena	Nacionales	Buena
BPC	Regular	Nacionales	Regular
Pentaclorofenol	Regular	Nacionales	Regular
Benzo(a)pireno	Regular	Nacionales	Regular
Dibenzo(a,h)antraceno	Regular	Nacionales	Regular
Benzo(a)antraceno	Regular	Nacionales	Regular
Benzo(b)fluoranteno	Regular	Nacionales	Regular
Benzo(k)fluoranteno	Regular	Nacionales	Regular
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Regular	Nacionales	Regular

Se identificaron 93 referencias sobre STPB en suelos a nivel nacional, mismos que se relacionan principalmente con plaguicidas y metales, así como HPA y BPC en algunos de ellos (Tabla 11), sugiriendo que existe infraestructura buena y regular, respectivamente, para el monitoreo de estas sustancias.

Tabla 11 Referencias sobre STPB en suelo

Institución	Contaminantes	Número de referencias
Universidad Nacional Autónoma de México	Varios STPBs (3) Plaguicidas (2) Metales (27) HPAs (2) BPC (1)	35
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Varios STPBs (5) Plaguicidas (6)	11
Colegio de postgraduados	Metales (6)	6
Instituto Nacional de Ecología	Varios STPBs (1) Plaguicidas (1) Metales (3)	5
Universidad Autónoma de Nuevo León	Metales (4)	4
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Metales (4)	4
Universidad Autónoma de Zacatecas	Metales (3) Varios STPBs (1)	4
Instituto Politécnico Nacional	HPAs (2) Metal (1)	3
Universidad Autónoma de Querétaro	Varios STPBs (1) Plaguicidas (1) Metales (1)	3
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Varios STPBs (2) Plaguicidas (1)	3

Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS	Varios STPBs (2)	2
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	Metales (1) Varios STPBs (2)	2
Universidad Autónoma Chapingo	Metales (2)	2
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	Metales (1) Varios STPBs (1)	2
Comisión Nacional del Agua, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México	Metales (1)	1
Instituto Mexicano del Petróleo	HPAs (1)	1
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	Metales (1)	1
Universidad Autónoma de Guadalajara	Varios STPBs (1)	1
Universidad Autónoma Metropolitana	HPAs (1)	1
Universidad del Mar	Varios STPBs (1)	1
Environment Canada	Plaguicidas (1)	1
Número total de estudios identificados		93

Lista de sustancias prioritarias para monitoreo de STPB en agua, sedimentos y suelos

Como el objetivo del programa de monitoreo es agua en cuencas hidrológicas y acuíferos y los sedimentos y suelos actúan como medios de acumulación y de lixiviación de contaminantes, que son transportados en el agua, se propone evaluar conjuntamente los STPB en agua subterránea/suelos y agua superficial/sedimentos. En la Tabla 12 se presenta la lista de sustancias propuestas para incluirse en un programa de monitoreo de vigilancia de STPB en cuencas hidrológicas y acuíferos. Incluye 15 STPB, de las cuales 12 son plaguicidas y tres son metales.

Tabla 12 STPB propuestas para incluirse en un programa de monitoreo de vigilancia de agua, sedimentos y suelos

STPB	Agua subterránea/ Suelo	Agua superficial/ Sedimento
Cadmio	X	X
Plomo	X	X
Mercurio	X	X
Aldrín	X	
Clordano (isómeros totales)	X	X
DDT, DDD, DDE	X	X
Dieldrín	X	X
Endosulfán alfa, beta		X
Endrín	X	X
Heptacloro/ Epóxido de heptacloro	X	X
Hexaclorociclohexano (alfa y beta)		
Hexaclorociclohexano isómero gamma (Lindano)		
Hexaclorobenceno	X	
Metoxicloro	X	
Toxafeno	X	X

Como resultados del análisis anterior, se propone evaluar 12 de estos STPB en agua subterránea/suelos y 10 en agua superficial/sedimentos.

Selección de sitios de monitoreo

Se propone iniciar el programa de monitoreo de vigilancia de STPB en cuencas hidrológicas y acuíferos en seis sitios ubicados en las siguientes tres regiones del país: Norte, Centro, Sureste (Figura 2). Para ello se propone para cada región seleccionar un sitio representativo como referencia (o prístinos) y un sitio afectado por actividades humanas (Figura 3).



Figura 2 Regiones para la selección de los sitios de monitoreo

Estos sitios fueron seleccionados de manera que fueron cercanos uno al otro en cada región. Asimismo, se consideró la cercanía de universidades o centros de investigación, que pueden participar en el monitoreo y, por último, para contar con información histórica de la calidad del agua en los sitios seleccionados, en lo posible se seleccionaron sitios que forman parte de la RNM de CONAGUA (CONAGUA 2011).

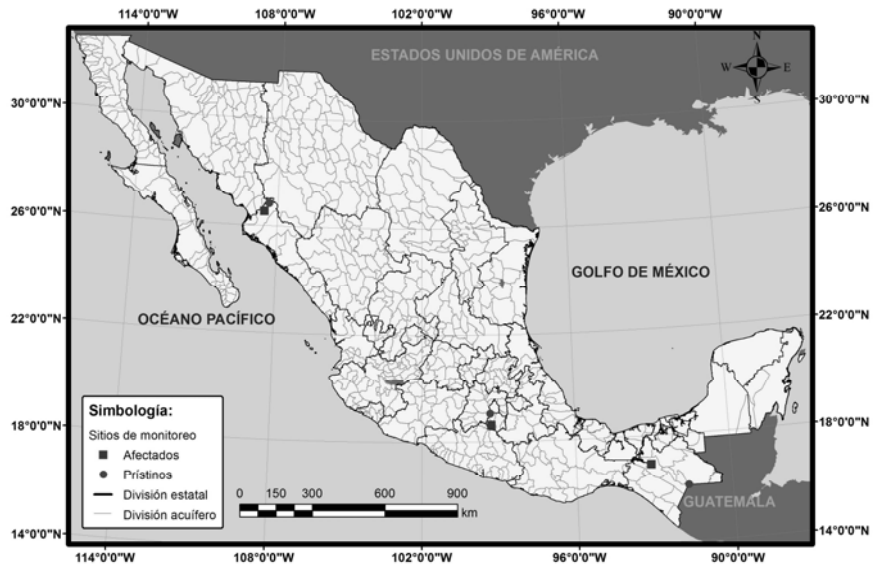


Figura 3 Sitios de monitoreo seleccionados

Agua superficial/sedimentos

Acorde a los criterios para selección de sitios afectados por las actividades humanas, en la región Norte se identificó la presa Miguel Hidalgo en Sinaloa; en la región Centro, el Lago de Tequesquitengo en Morelos; y en la región Sur, la Presa Chicoasén en Chiapas. Los cuerpos de agua de referencia identificados son, para la región Norte, presa Luis Donald Colosio en Sinaloa; en el centro, Lagunas de Zempoala, en el límite entre el Estado de México y de Morelos; y en el Sur, Lagunas de Montebello en Chiapas (Tabla 13).

Los sitios propuestos para monitoreo de STPB en suelos/agua subterránea fueron seleccionados cercanos a los sitios seleccionados para agua superficial/sedimentos. Los sitios propuestos para el monitoreo de STPB en suelo/agua subterránea se presentan en la Tabla 14.

Tabla 13 Sitios seleccionados para el monitoreo de STPB en agua superficial/sedimentos

Nombre	Estado	Región	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Afectación humana/uso de suelo
Afectados por actividades humanas						
Presa Miguel Hidalgo	Sinaloa	N	26.548°	108.547°	104	Agricultura
Lago de Tequesquitengo	Morelos	C	18.621°	99.267°	896	Agricultura, descargas domésticas

Presa Manuel Moreno Torres (Chicoasen)	Chiapas	S	16.937°	93.099°	386	Agricultura, descargas urbanas
Prístinos						
Presa Luis Donaldo Colosio (Huites)	Sinaloa	N	26.845°	108.368°	231	Selva baja caducifolia
Lagunas de Zempoala	Límite entre el Estado de México y de Morelos	C	19.050°	99.313°	2817	Bosque
Lagunas de Montebello	Chiapas	S	16.089°	91.703°	1540	Selva perennifolia mediana y alta

Suelo/Agua subterránea

Tabla 14 Sitios seleccionados para el monitoreo de STPB en suelo/agua subterránea

Nombre	Estado	Región
Afectados por actividades humanas		
Acuífero Río Fuerte	Sinaloa	N
Acuífero Zacatepec	Morelos	C
Acuífero Tuxtla	Chiapas	S
Prístinos		
Acuífero Río Fuerte	Sinaloa	N
Acuífero Cuernavaca	Estado de México	C
Acuífero Ocosingo	Chiapas	S

Métodos de muestreo y de preservación de muestras

A continuación se presentan los procedimientos para el muestreo de agua, suelos y sedimentos, así como los criterios de conservación y análisis de las muestras.

Agua subterránea

Para el muestreo de agua subterránea en pozos, el procedimiento se describe en la NOM-230-SSA1-2002 (DOF 2005b). Se activa la bomba y se deja correr el agua durante aproximadamente 3 min, hasta que la temperatura del agua sea estable o hasta que el agua de la tubería ha sido renovada. Los métodos de conservación y análisis de los STPB se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15 Métodos para muestreo y análisis de STPB en agua, sedimentos y suelos

Parámetro	Agua	Sedimentos	Suelos
Metales			
Cadmio	PROY-NMX-AA-131/1-SCFI-2008 (SE 2009a) y	Technical Manual EPA 823-B-01-002	

Plomo	PROY-NMX-AA-131/2-SCFI-2008 (SE 2009b)	(USEPA, 2001)
	PROY-NMX-AA-051/4-SCFI-2008 (SE 2009b)	USEPA 6010B (USEPA 1996)
Mercurio	PROY-NMX-AA-051/3-SCFI-2008 (SE 2009c)	
Plaguicidas		
Aldrín	PROY-NMX-AA-071-SCFI-2008 (SE 2009d)	Technical Manual EPA 823-B-01-002 (USEPA, 2001) USEPA 8081B (USEPA 2007)
Clordano (isómeros totales)		
DDT, DDD, DDE		
Dieldrín		
Endosulfán alfa, beta		
Endrín		
Heptacloro/ Epóxido de heptacloro		
Hexaclorociclohexano (alfa y beta)		
Hexaclorociclohexano isómero gamma (Lindano)		
Hexaclorobenceno		
Metoxicloro		
Toxafeno		

Agua superficial

En la norma mexicana NMX-AA-014-1980 (SECOFI, 1980) se establece el procedimiento para muestreo de agua en cuerpos receptores. Las muestras se deben de tomar en la parte superior, media o inferior de la columna de agua con botella van Dorn o equipo similar donde se aprecie una mezcla uniforme. Los métodos de conservación de muestras así como los métodos analíticos se presentan en la Tabla 15.

Suelo

Se recomienda obtener las muestras de suelo en sitios cercanos a los seleccionados para monitoreo de agua subterránea. El procedimiento de muestreo de suelos se describe en la norma mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 (SE 2006). Dependiendo de los análisis a realizar, el muestreo de suelo debe realizarse con cuchara o espátula de acero inoxidable o de plástico. Se pueden realizar muestras compuestas por muestras simples obtenidas uniformemente en el sitio de muestreo. Los requerimientos para la conservación de las muestras se presentan en la Tabla 15.

Sedimento

Se recomienda obtener las muestras de sedimentos cercanos a los seleccionados para monitoreo de agua superficial. Las muestras deben obtenerse con draga van Veen o equipo similar. Se puede aplicar la metodología de muestreo y conservación de muestras descrita en la norma mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 (SE 2006) o en la USEPA (2001). Los requerimientos para la conservación de muestras se presentan en la Tabla 15.

Muestreo y métodos analíticos

A continuación se recomiendan los métodos de muestreo y las técnicas analíticas a emplear.

Agua subterránea

Para el monitoreo de STPB en agua subterránea, se recomienda iniciar con muestreos semestrales durante los dos primeros años, con el fin de determinar tendencias temporales de las concentraciones; posteriormente y dependiendo de los resultados obtenidos, se pueden establecer las épocas y frecuencias de muestreo de STPB en los años siguientes.

Agua superficial

Al igual que para agua subterránea, el monitoreo en agua superficial debe iniciar con muestreos semestrales durante los primeros dos años y posteriormente, a través del análisis de los resultados, se definirán las épocas y frecuencias de muestreo en los siguientes años.

Sedimento

Como la frecuencia de los muestreos de sedimentos depende de la velocidad de sedimentación en los cuerpos de agua, se recomienda primero determinar las velocidades de sedimentación y la tendencia histórica de STPB mediante fechado de los sedimentos con isótopos radiactivos y análisis químicos de los STPB en núcleos de sedimentos de los sitios seleccionados. Una vez establecidas las

frecuencias de muestreo, se puede dar seguimiento a las variaciones en calidad de los sedimentos mediante su monitoreo.

Suelo

Para suelo se recomienda realizar muestreos semestrales, preferentemente después del inicio de los ciclos de siembra en las zonas agrícolas.

Técnicas analíticas

Las técnicas analíticas para análisis de agua, sedimentos y suelos se indican en la Tabla 15. En la normatividad nacional se especifica el uso de espectroscopia de emisión atómica de plasma por acoplamiento inductivo y/o absorción atómica para análisis de metales (SE 2009a, b y c) y extracción en fase sólida o líquido/líquido y cromatografía de gases con detector de captura de electrones para análisis de plaguicidas (SE 2009d).

Conclusiones

Se presentó una metodología y resultados de selección de sustancias para un programa de monitoreo de STPB en cuencas hidrológicas y acuíferos. Esta selección se llevó a cabo con base en prioridades establecidas internacionalmente, prioridades definidas en la normatividad mexicana y capacidad e infraestructura existente. Asimismo, para iniciar el programa de monitoreo de vigilancia de STPB en cuencas hidrológicas y acuíferos, se recomendaron sitios, tanto prístinos como afectados en el Norte, Centro y Sureste de México.

Agradecimientos

La autora agradece al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por el financiamiento para la realización de este trabajo a través del proyecto TH-1007.1. Asimismo, agradece el apoyo de las siguientes personas: Manfred van Afferden, Luis Carlos González-Márquez y Carlos Corzo-Juárez.

Referencias

- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). Die Wasserrahmenrichtlinie – Neues Fundament für den Gewässerschutz in Europa, 2004, Langfassung, Bonifatius, Paderborn [Julio 13, 2011] [http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2342.de/wrrl_bmu.pdf]
- CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte). Process for Identifying Candidate Substances for Regional Action under the Sound Management of Chemicals Initiative. Report to the North American Working Group on the Sound Management of Chemicals by the Task Force on Criteria, 1997 [Julio 14, 2011] [http://www.cec.org/Storage/44/3631_Crit-2-e_EN.pdf]
- CEC (Commission of the European Communities. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. Integrated prevention and control of chemical pollution of surface waters in the European Union, 2006 [Julio 12, 2011] [<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0398:FIN:EN:PDF>]
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). Estadísticas del Agua en México, edición 2011 [junio 12, 2011]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF, Marzo de 2011, [<http://www.conagua.gob.mx/OCB07/Contenido/Documentos/EstadisticaAguamexico2011.pdf>], 181 pp.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). Programa Nacional Hídrico 2007-2012 [Julio 12, 2011], Secretaría del medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF, Febrero de 2008, [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PNH_05-08.pdf], 158 pp.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México DF, Diciembre 13, 1989, Única Sección, pp. 7-23.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales, Abril 29, 2004, Primera Sección, pp. 27-95.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). Modificación a la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, Secretaría de Salud, México DF, Junio 20, 2000, Primera Sección, pp. 48-55.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica, Secretaría de Salud, Agosto 16, 1995, Única Sección, pp. 42-56.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas

residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, Enero 6, 1997, Única Sección, pp. 68-85.

DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Abril 3, 1998, Primera Sección, pp. 6-14.

DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-1998, Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. Secretaría de Salud, México DF, Septiembre 24, 2001, Primera Sección, pp. 22-55.

DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF, Agosto 15, 2003, Única sección, pp 18-59.

DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana NOM-133-SEMARNAT-2000, Protección ambiental-Bifenilos policlorados (BPC's)-Especificaciones de manejo, Diciembre 10, 2001, Primera Sección, pp. 3-13.

DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF, Marzo 29, 2005a, Primera Sección, pp. 1-21.

DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo, Secretaría de Salud, México DF, Diciembre 13, 2005b, Primera Sección, pp. 70-81.

DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana 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, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México DF, Marzo 02, 2007, Segunda Sección, pp. 1-69.

DOF (Diario Oficial de la Federación). Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada, Comisión Nacional del Agua, México DF, Agosto 18, 2009, Primera Sección, pp. 6-20.

DOF (Diario Oficial de la Federación). Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Federal de Derechos, Secretaría de Hacienda y Crédito Público, México DF, Noviembre 18, 2010, Primera Sección, pp. 2-13.

Environment Canada and Ontario Ministry of Environment and Energy. The ARET substance selection process and guidelines. 1994. National Office of Pollution Prevention, Hull, PQ, Canada.

Environment Canada y USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). The Great Lakes Binational Toxics Strategy Canada - United States strategy for the virtual elimination of

- persistent toxic substances in the Great Lakes, 1997 [Julio 13, 2011]
[<http://www.epa.gov/grtlakes/bns/strategy.html>]
- Environment Canada. Canadian Environmental Quality Guidelines, Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines, Environment Canada, 2003, [Julio 13, 2011]
[http://www.ccme.ca/publications/ceqg_rcqe.html?category_id=125]
- Environment Canada. Toxic Substances Management Policy, 2004 [Julio 13, 2011],
<http://www.ec.gc.ca/Publications/2EE9E1E8-1DC4-4886-93B1-D67A085FBAA3/Toxic-Substances-Management-Policy.pdf>
- European Parliament. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Official Journal of the European Communities, L 330/32, 1998, pp 32-54.
- European Parliament. Decision No 2455/2001/EC of the European Parliament and of the Council of 20 November 2001 establishing the list of priority substances in the field of water policy and amending Directive 2000/60/UE, L 331, 2001, pp 1-5.
- European Parliament. Official Journal of the European Union L 396/385 Annex XIII, Criteria for the Identification of Persistent, Bioaccumulative and Toxic sSubstances, and Very Persistent and Very Bioaccumulative Substances, 2006, [July 12, 2011],
[<http://kemi.prevent.se/includes/helpres.asp?resid=%7B031BCE8B-A9C8-47F3-A0FC-5CE9E4E963A5%7D>]
- Fernández Bremauntz A., Yarto Ramírez M.A. y Castro Díaz J. (eds.). Las Sustancias Tóxicas Persistentes en México, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México DF, 2004, ISBN: 968-817-703-2, 257 pp.
- Friday G.P. Ecological screening values for surface water, sediment and soil. Report WSRC-TR-98-00110 prepared for the US Department of Energy, Westinghouse Savannah River Company, Savannah River Site, Aiken, South Carolina 29808
- Hansen A.M. y Corzo-Juárez C. Evaluación de la contaminación en cuencas hidrológicas: Prioridades y necesidades. Retos de la Investigación del Agua en México. Garatuza J., Gómez E., Martín A., Oswald U., Pérez R. y Sánchez I. (eds). Red Temática del Agua de Conacyt. 2011, Cap. 26, pp. 303-316. En prensa.
- Hansen A.M., van Afferden M., Villada-Canela M. y Sánchez Castañeda L.F. Scoping study for the evaluation of the national program of monitoring and environmental assessment in Mexico. Contrato no. CCAAN-IMTA No. 811.211. N/D: 241 01057 TH-0614. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2006. 105 pp. y 2 anexos.
- Meays C.L., Broersma K., Nordin R., Mazumder A. y Samadpour M. Spatial and annual variability in concentrations and sources of Escherichia coli in multiple watersheds, Environ. Sci. Technol. 40, 17, 5289-5296.
- ONU-WWAP (Organización de las Naciones Unidas-Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). 1er Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo : Agua para todos, agua para la vida. París, Nueva York y Oxford, UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y Berghahn Books, 2003, 575 pp.

- SE (Secretaría de Economía). NMX-AA-132-SCFI-2006. Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra, 2006 [Julio 14, 2011] [<http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2006/nmx-aa-132-scfi-2006.pdf>]
- SE (Secretaría de Economía). PROY-NMX-AA-051/3-SCFI-2008. Análisis de agua.-determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.- método de prueba-parte 3: determinación del mercurio, 2009c [Julio 14, 2011] [<http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2009/proy-nmx-aa-051-3-scfi-08.pdf>]
- SE (Secretaría de Economía). PROY-NMX-AA-051/4-SCFI-2008. Análisis de agua.-determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.- método de prueba-parte 4: determinación de cobalto, níquel, cobre, zinc, cadmio y plomo-métodos de espectrometría de absorción, 2009b [Julio 14, 2011] [<http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2009/proy-nmx-aa-051-4-scfi-08.pdf>]
- SE (Secretaría de Economía). PROY-NMX-AA-131/1-SCFI-2008 y PROY-NMX-AA-131/2-SCFI-2008. Análisis de agua-determinación de metales por espectroscopia de emisión atómica de plasma por acoplamiento inductivo (ICP), en aguas naturales, potables y residuales-método de prueba. Parte 1 y 2, 2009a [Julio 14, 2011] [<http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2009/proy-nmx-aa-131-2-scfi08.pdf>]
- SE (Secretaría de Economía).2009d. PROY-NMX-AA-071-SCFI-2008. Análisis de agua.- determinación de plaguicidas organoclorados-método de cromatografía de gases, extracción en fase sólida, extracción líquido/líquido y cromatografía de gases-detector de captura de electrón, 2009d, [Julio 14, 2011] [<http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2009/proy-nmx-aa-071-scfi-08.pdf>]
- SECOFI (Secretaria de Comercio y Fomento Industrial). 1980. Norma Mexicana. NMX-AA-014-1980. Cuerpos receptores.- Muestreo, 1980 [Julio 14, 2011] [<http://200.77.231.100/work/normas/nmx/1980/nmx-aa-014-1980.pdf>]
- Troldborg, M., Lemming G., Binning P.J., Tuxen N. y Bjerg P.L. Risk assessment and prioritization of contaminated sites on the catchment scale, *Journal of Contaminant Hydrology*, 101, 1-4, 2008, 14-28.
- UBA (Umweltbundesamt). 2005. Overview of Quality Requirements for Chemicals in Surface Waters [Julio 14, 2011] [http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/downloads/q-req_chem_surface_waters.pdf]
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) Protocol on Persistent Organic Pollutants on 24 June 1998, Aarhus, Denmark [Julio 14, 2011] [http://www.unece.org/env/lrtap/pops_h1.htm]
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1996. Method 6010B. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry [Julio 14, 2011] [<http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/EPA-Method-6010B.pdf>]
- USEPA (U.S. Environmental protection Agency). 2005b. List of Drinking Water Contaminants & MCLs, 2005 b [Julio 13, 2011] <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html#mcls>
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Method 8081B. Organochlorine pesticides by gas chromatography, 2007 [Julio 14, 2011] [<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8081b.pdf>]

- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual EPA 823-B-01-002. 2001. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). National Recommended Water Quality Criteria, Office of Water, Office of Science and Technology, 4304T, 2009 [Julio 13, 2011] [<http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/current/index.cfm>]
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). PBT Strategy, A multimedia strategy for priority persistent, bioaccumulative, and toxic (PBT) pollutants, 1998 [Julio 13, 2011] [<http://www.epa.gov/pbt/pubs/pbtstrat.htm>]
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Persistent Bioaccumulative and Toxic (PBT) Chemical Program. 2005a [Julio 13, 2011] [<http://www.epa.gov/pbt/resources.htm>]
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Persistent, Bioaccumulative, and Toxic (PBT) Chemicals Rules, 2004 [Julio 13, 2011] [<http://www.epa.gov/tri/lawsandregs/pbt/pbtrule.htm#rule>]
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). TSCA New Chemicals Program (NCP), Chemical Categories, 2002 [Julio 13, 2011] [<http://www.epa.gov/oppt/newchems/pubs/cat02.pdf>]
- USGS (United States Geological Survey). Prediction of sediment toxicity using consensus-based freshwater sediment quality guidelines, EPA 905/R-00/007, 2000 [Julio 14, 2011] [<http://www.cerc.usgs.gov/pubs/center/pdfdocs/91126.pdf>]
- van Afferden M., Hansen A.M., González-Farías F.A. y Trejo-Pérez P. Feasibility study for sampling and analysis of lake sediment cores in Mexico. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - North American Commission for Environmental Cooperation (CEC). Final Report. Project No. 321.06.02, 2003.
- Washington State Department of Ecology, Persistent bioaccumulative toxins, Part I General provisions, Chapter 173-333 WAC, 2005 [Julio 14, 2011] [http://www.ecy.wa.gov/laws-rules/wac173333/p0407_cont_a.pdf]
- WHO (World Health Organization). Guidelines for Drinking-Water Quality. Vol. 1: 3a ed. 1.Potable water – standards 2.Water – standards 3.Water quality – standards, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 92 4 154638 7 (Clasificación NLM: WA 675), 2004, Ginebra

Anexo

Tabla 16 STPB considerados en la normatividad mexicana para agua

Medio	STPB	Límite (mg/L)	Métodos analíticos definidos	Frecuencia de monitoreo	Referencia
Agua para uso y consumo humano	Cadmio	0.005	Si	2 a 4 por año	NOM-117-SSA1-1994 (DOF 2000)
	Mercurio	0.001	No	No especificado	NOM-127-SSA1-1994 (DOF 2000)
	Plomo	0,01		4 por año	
	Aldrín	0.00003		4 por año	
	Dieldrín	0.00003			
	Clordano (total de isómeros)	0.0002			
	DDT (total de isómeros)	0.001			
	Gamma-HCH (lindano)	0.002			
	Hexaclorobenceno	0.001			
	Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.0003			
	Metoxicloro	0.020			
Descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	Cadmio	0.1 – 0.4	Si		No especificado
	Mercurio	0.005 – 0.02			
	plomo	0.2 – 1.0			
Descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal	Cadmio	0.5-1	Si	No especificado	NOM-002-SEMARNAT-1996 (DOF 1998)
	Mercurio	0.01-0.02			
	Plomo	1-2			
Agua para diferentes usos	Cadmio	0.0002-0.01	No	No especificado	CE-CCA-001/89 (DOF 1989)
	Mercurio	0.0001-0.0005			
	Plomo	0.01-0.05			
	Acenafteno	0.01-0.02			
	Aldrin	0.0003-0.02			
	Bifenilos policlorados (BPC)	0.0005			
	Hexaclorociclohexano (alfa, beta)	0.001-0.000004			
	Hexaclorociclohexano isómero gama (Lindano)	0.002-0.0002			
	Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	0.02944-0.0094			
	4-Bromofenilfenil éter	0.01			
	Clordano (cis, trans 7)	0.00009-0.003			
	DDT, DDD, DDE (o,p'-DDT)	0.001-0.0001			
	Diclorobencenos	0.01-0.4			
	Dieldrín	0.0009-0.02			
	Endosulfán alpha, beta	0.00003-0.07			
	Endrín	0.00002-0.0005			
	Fluoranteno	0.0004-0.04			
Heptacloro	0.0001-0.02				

	Hexaclorobenceno	0.00005-0.0025			
	Hexaclorobutadieno	0.0003-0.004			
	Hexacloroetano	0.009-0.02			
	Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)	0.1-0.0001			
	Metoxicloro	0.000005-0.03			
	Naftaleno	0.02			
	Pentaclorofenol	0.03-0.0005			
	2,3,7,8 Tetraclorodibenzo-p-dioxina	0.0001			
	Toxafeno	0.0002-0.005			
	Cadmio	0.005			
	Mercurio	0.001			
	Plomo	0,01			
	Aldrín	0.00003			
	Dieldrín	0.00003			
	Clordano (total de isómeros)	0.0002			
	DDT (total de isómeros)	0.001			
	Hexaclorociclohexano isómero gama (Lindano)	0.002			
	Hexaclorobenceno	0.001			
	Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.0003			
	Metoxicloro	0.020			
	Atrazina	0.002			
	Benzo(a)pireno	0.0002			
	Bifenilos policlorados (BPC)	0.0005			
	Endrín	0.002			
	Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.001			
	Pentaclorofenol	0.001			
	Simazina	0.004			
	Toxafeno	0.003			
	Metoxicloro	0.02			
			No	No especificado	NOM-014-CONAGUA-2003 (DOF 2009) NOM-127-SSA1-1994 (DOF 2000)

Tabla 17 Normas y regulaciones que consideran STPB en suelo

Medio	STPB	Límite (mg/L)	Métodos analíticos definidos	Frecuencia de monitoreo	Referencia
Suelo agrícola	BPC	0.5	No	No especificado	NOM-133-SEMARNAT-2000 (DOF 2001)
Residencial		5			
Industrial/Comercial		25			
Suelo agrícola	Benzo(a)pireno	2	Si	No especificado	NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 (DOF 2005a)
	Dibenzo(a,h)antraceno	2			
	Benzo(a)antraceno	2			
	Benzo(b)fluoranteno	2			
	Benzo(k)fluoranteno	8			
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	2			
Suelo residencial	Benzo(a)pireno	2	Si	No especificado	NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 (DOF 2005a)
	Dibenzo(a,h)antraceno	2			
	Benzo(a)antraceno	2			
	Benzo(b)fluoranteno	2			
	Benzo(k)fluoranteno	8			
	Indeno (1,2,3-cd)pireno	2			
Suelo industrial	Benzo(a)pireno	10	Si	No especificado	NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 (DOF 2005a)
	Dibenzo(a,h)antraceno	10			
	Benzo(a)antraceno	10			
	Benzo(b)fluoranteno	10			
	Benzo(k)fluoranteno	80			
	Indeno (1,2,3-cd)pireno	10			
Suelo agrícola/residencial/comercial	Cadmio	37	Si	No especificado	NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (DOF 2007)
	Mercurio	23			
	Plomo	400			
Suelo industrial	Cadmio	450	Si	No especificado	NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (DOF 2007)
	Mercurio	310			
	Plomo	800			

Tabla 18 STPB con límites y métodos analíticos establecidos en regulaciones internacionales para sedimentos

Grupo de contaminantes	EEUU ¹	Canadá ²
Metales	Cadmio	Cadmio
	Plomo	Plomo
	Mercury	Mercury
HPA		Acenafteno
		Acenaftileno
	Antraceno	Antraceno
	Benzo(a)antraceno	Benzo(a)antraceno
	Benzo(a)pireno	Benzo(a)pireno
	Criseno	Criseno
		Dibenzo(a,h)antraceno
	Fluoranteno	Fluoranteno
	Fluoreno	Fluoreno
	Naftaleno	Naftaleno
	Fenantreno	Fenantreno
	Pireno	Pireno
		Total HPA
	Dioxinas/Furanos	
BPC	Bifenilos policlorados (BPC)	Bifenilos policlorados (BPC)
Plaguicidas	Clordano	Clordano
	DDT, DDD, DDE	DDT, DDD, DDE
	Dieldrín	Dieldrín
	Endrín	Endrín
	Heptacloro/epóxido de heptacloro	Heptacloro/epóxido de heptacloro
	Hexaclorocicloexano isómero gama (Lindano)	Hexaclorocicloexano isómero gama (Lindano)
		Toxafeno
Surfactantes		Nonilfenoles/4-nonilfenol

¹USGS 2000

²Environment Canada 2003