

PROGRAMA DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE STPB EN CUENCAS HIDROLÓGICAS Y ACUÍFEROS

• Anne M. Hansen •
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

Resumen

El objetivo de este trabajo es contribuir a la preparación de un programa nacional de monitoreo de vigilancia de Sustancias Tóxicas Persistentes y Bioacumulables (STPB) en cuencas hidrológicas y acuíferos. Se definieron los criterios y se recomendaron STPB “iniciales”, cuyo monitoreo puede implementarse de forma inmediata sin cambios en regulaciones existentes e infraestructura, y STPB “emergentes”, que si bien hasta la fecha no han sido considerados como contaminantes, se presentan en el ambiente y deben investigarse con mayor detalle antes de ser incluidas en programas de monitoreo de vigilancia. 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 cincuenta 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 cuarenta STPB consideradas como relevantes para monitoreo de agua, sedimento y suelo por al menos tres países u organizaciones internacionales, se incluyen 38 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 iniciales, teniendo en cuenta la posibilidad de incluir sustancias emergentes 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; sustancias prioritarias; sustancias emergentes.

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, etcétera). La contaminación ambiental, en particular 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). Al respecto, la evaluación de la contaminación resulta ser un paso indispensable para solucionar problemas relacionados con riesgos a la salud y el

ambiente. De manera tradicional, la evaluación de la contaminación del agua se lleva a cabo de manera local para un determinado sitio, pero no cuantifica la contaminación en toda la corriente o cuerpo de agua (Trolborg *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 a las condiciones de las corrientes fluviales (Hansen y Corzo-Juárez, 2011). En México, la política hídrica ha establecido las cuencas hidrológicas como las unidades básicas para el manejo del agua, donde 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, 2011). Esta normatividad incluye sustancias químicas, que se ubican dentro de la categoría de 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 las obligaciones derivadas 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, es necesario 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), suelo y sedimento, 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 monitoreo 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 es desconocido el exceso en concentración de contaminantes o cuando los monitoreos de vigilancia indican que los objetivos ambientales para un medio específico probablemente no serán alcanzados y cuando aún no han sido establecidos monitoreos operacionales. El monitoreo de investigación debe servir para 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 prioritarias 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 de forma adecuada 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).
2. La ocurrencia actual (exposición) de las sustancias en el 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 ser razonablemente corta. Asimismo, no necesariamente se aplican los mismos criterios para agua subterránea, agua superficial, sedimento y suelo, y no 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. Esta metodología incluye cinco etapas, que se describen a continuación.

Etapla 1. Se seleccionaron aquellas STPB consideradas en criterios internacionales para su monitoreo. Para ello, se recopilaron y analizaron las listas de sustancias que cumplieran con los criterios de ser tóxicas, persistentes y bioacumulables, y que han sido definidas internacionalmente como STPB relevantes para monitoreo (cuadro 1).

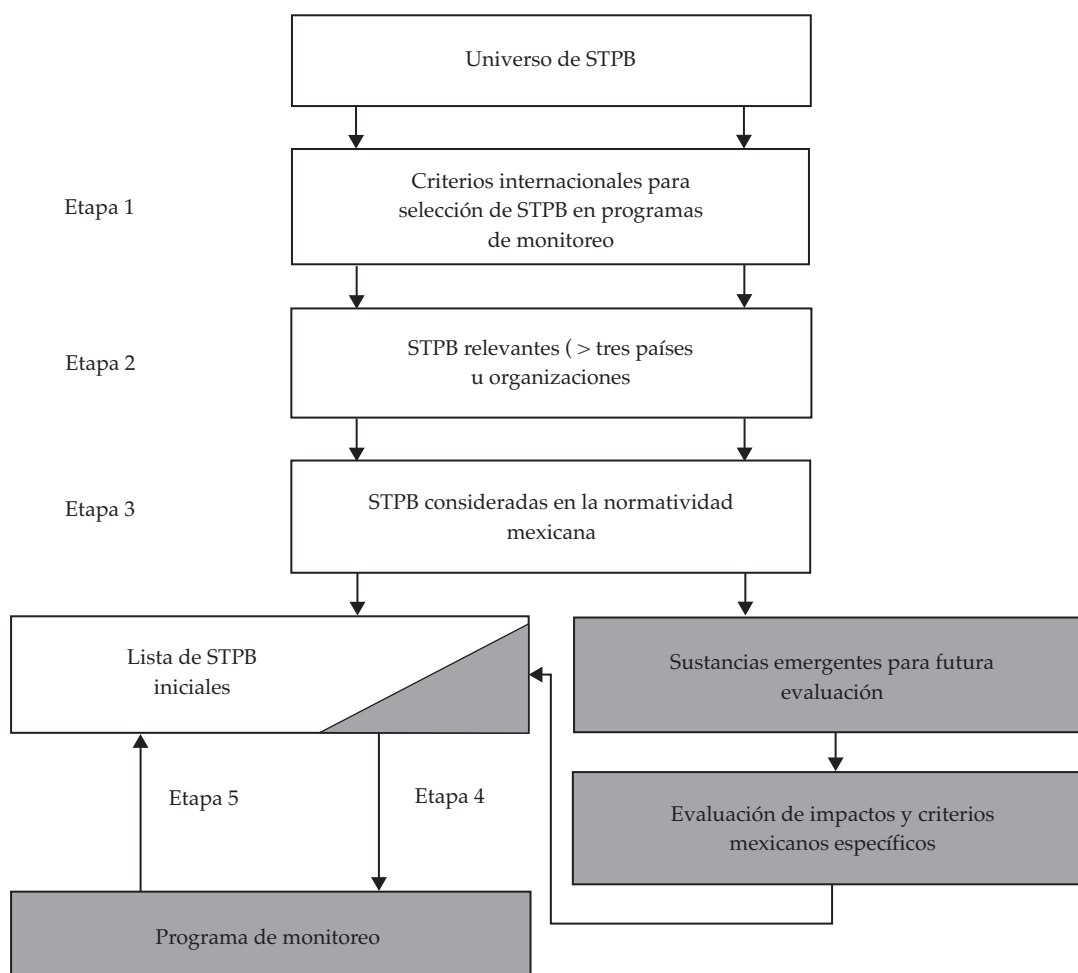


Figura 1. Procedimiento para identificar sustancias para un programa mexicano de monitoreo y evaluación de STPB en cuencas hidrológicas y acuíferos.

Cuadro 1. Criterios TPB adoptados por países u organizaciones internacionales.

Acuerdo/organización	Persistencia	Bioacumulación	Toxicidad	Núm. de STPB individuales o grupos de STPB	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)	Sustancias 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)	Sustancias 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; sedimento > 6 meses; suelo > 6 meses	FB o FBA > 5 000 o $\log K_{ow} > 5$	Potencial para afectar de forma adversa la salud humana y/o ambiental	12	UNECE, 1998
USEPA, Toxics Release Inventory (TRI)	Vida media en agua, sedimento 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 (sedimento); 6 meses (suelo)	Preferiblemente generada en campo FB 5 000 o FBC 5 000 o $\log K_{ow} > 5$	Potencial para afectar de forma adversa 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 sedimento marino; > 120 d en sedimento de agua dulce	FBC > 2 000	CSEO crónico < 0.01 mg/L; o CMR cat I&2, o efectos de disrupción endócrina	25	BMU, 2004; European Parliament, 2001 y 2006
Criterio de la Comunidad Europea (mPmB)	Vida media > 60 d en agua; > 180 d en sedimento	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 sedimento > 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; sedimento > 1 año; suelo > 6 meses	FB o FBC > 5 000 o $\log K_{ow} > 5$	Toxicidad acorde con 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.

Etapla 2. Entre las STPB definidas en el ámbito internacional, se identificaron aquellas donde al menos tres instituciones u organizaciones internacionales hayan especificado concentraciones límite para agua subterránea, agua superficial, suelo o sedimento. El resultado fue una lista preliminar de STPB internacionalmente relevantes para estos medios.

Etapla 3. Considerando la importancia de iniciar el programa de monitoreo de STPB sin necesidad de realizar investigaciones preliminares, 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:

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

Se recabó información sobre el último criterio mediante consulta de publicaciones científicas y gubernamentales, que fueron buscadas en bases de datos o páginas oficiales de universidades, centros de investigación, e instituciones federales, estatales y municipales, disponibles en Internet.

El resultado de aplicación de los cuatro criterios fue una lista inicial de STPB.

Etapla 4. Paralelamente se pueden incluir otras STPB en una lista de sustancias emergentes para su futura evaluación. Como procedimiento para evaluar su inclusión 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 emergentes 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 para la evaluación de STPB se presenta cuando las concentraciones de referencia son inferiores a los límites de cuantificación de los métodos analíticos. Por ello, antes de incluir nuevas STPB en la lista de sustancias emergentes o en programas de monitoreo deben definirse los métodos de muestreo y de preparación de muestras, para su extracción y análisis. Además, para garantizar resultados confiables y comparables, deben definirse estándares de calidad, y límites de detección y cuantificación.
- Criterios ecológicos y para salud humana, así como concentraciones de referencia de STPB.
- Presupuesto para el monitoreo. Dado que los costos de monitoreo son altos, antes de incluir una sustancia en el programa de monitoreo debe 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, sobre todo 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 en el nivel federal, estatal y municipal como en la sociedad, y qué sustancias emergentes deben incluirse en la lista de sustancias.

Etapla 5. Revisión de la lista de STPB. Para evitar gastos innecesarios de análisis, la lista de

STPB debe ser reevaluada con cierta frecuencia, considerando tanto los resultados del programa de monitoreo como la inclusión de sustancias emergentes.

Selección de sitios de monitoreo

El programa de monitoreo de STPB en agua, sedimento y suelo debe incluir tanto sitios afectados por actividades humanas como sitios de referencia o prístinos. Se aplicaron los siguientes criterios para la selección de sitios afectados:

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

Asimismo, para los sitios prístinos se siguieron los siguientes criterios (van Afferden *et al.*, 2003):

- Población $\leq 30\ 000$ habitantes.
- 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.

Para sitios tanto afectados como prístinos, se buscó que tuvieron accesibilidad o 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 existente de la RNM puede representar una excelente base para incluir el monitoreo de STPB, ampliando así la lista de parámetros que actualmente se evalúan.

Resultados

Selección de STPB

Acorde con los criterios PBT (cuadro 1) Hansen *et al.* (2006) identificaron más de 133 STPB consideradas por distintos países u organizaciones internacionales. Entre estas STPB, cuarenta están clasificadas como de importancia en al menos tres países u organizaciones internacionales (cuadro 2). Entre 33 STPB consideradas en normas y criterios mexicanos para calidad de agua subterránea (DOF, 2001a y 2009), agua superficial (DOF, 1989, 1997, 1998 y 2000) y suelo (DOF, 2003, 2005a, 2005b, 2007), se incluyen treinta de las cuarenta STPB de importancia internacional (cuadro 2). Se propone que estas treinta STPB representen la lista base para el programa nacional de monitoreo de agua, sedimento y suelo.

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

Lista inicial de STPB para agua

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

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

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

Cuadro 2. STPB relevantes en el ámbito internacional e incluidas en la normatividad mexicana.

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

Cuadro 2 (continuación). STPB relevantes en el ámbito internacional e incluidas en la normatividad mexicana.

BPC	Bifenilos policlorados (BPC)	ONU, UE, EU, Canadá, CCA	3, 4, 5, 6, 7, 8	Bifenilos policlorados (BPC)	d
PCF	Pentaclorofenol	UE, EU, Canadá, CCA	1, 2, 4, 7, 8	Pentaclorofenol	d
	Aldrín	ONU, EU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 7, 8	Aldrín	a, d
	Atrazina	OMS, EU, Canadá, EC	2, 9, 10		
	Clordano	ONU, EU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 7, 8	Clordano	a, d
	DDT, DDD, DDE	ONU, UE, EU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 7, 8	DDT, DDD, DDE	a, d
	Dieldrín	ONU, EU, Canadá, CCA	3, 5, 7	Dieldrín	a, d
	Endosulfán alfa, beta	UE, EU, Canadá	1, 2	Endosulfán alfa, beta	d
	Endrín	ONU, EU, Canadá, CCA	3, 5, 7, 8	Endrín	d
	Heptacloro / epóxido de heptacloro	ONU, EU, Canadá, CCA	2, 3, 5, 6, 7, 8	Heptacloro / epóxido de heptacloro	a, d
	Hexaclorociclohexano isómeros alfa y beta	UE, EU, Canadá, CCA	1, 2, 4, 7, 8	Hexaclorociclohexano isómeros alfa y beta	d
	Hexaclorociclohexano isómero gamma (Lindano)	UE, Canadá, CCA	1, 4	Hexaclorociclohexano isómero gamma (Lindano)	a, d
	Metoxicloro	UE, EU, Canadá	2, 6	Metoxicloro	a, d
	Mirex	ONU, EU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 8		
	Toxafeno	ONU, EU, Canadá, CCA	3, 5, 6, 7, 8	Toxafeno	d
	Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	EU, 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.
EU	Estados Unidos de América.	3	UNECE, 1998.	c	DOF, 1998.
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte.	4	Environment Canada y Ontario Ministry of Environment and Energy, 1994.	d	DOF, 2010.
		5	Washington State Department of Ecology, 2005.	e	DOF, 2003.
		6	USEPA, 2004.	f	DOF, 1994
		7	CEC, 2006.	g	DOF, 2007.
		8	Environment Canada y USEPA, 1997.		
		9	Environment Canada, 2003.		
		10	European Parliament, 1998.		
		11	BMU, 2004; UBA, 2005.		

Cuadro 3. STPB con límites y métodos analíticos definidos para agua 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 isómeros alfa y beta	Hexaclorociclohexano isómeros alfa y beta

Cuadro 3 (continuación). STPB con límites y métodos analíticos definidos para agua 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}
Plaguicidas	Isoproturón	Isoproturón
	Hexaclorocicloexano isómero gamma (Lindano)	Hexaclorocicloexano isómero gamma (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, 2005b; ⁶WHO, 2004; ⁷European Parliament, 1998.

Cuadro 4. Propuesta de STPB iniciales para agua superficial.

STPB iniciales	Infraestructura existente para monitoreo	Métodos analíticos definidos
Cadmio	Bueno	Nacionales
Plomo	Bueno	Nacionales
Mercurio	Bueno	Nacionales
Pentaclorofenol	Pobre	Nacionales
Endosulfán alfa, beta	Bueno	Nacionales
Hexaclorocicloexano isómero gamma (Lindano)	Bueno	Nacionales

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 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, 2001a), donde se especifican 11 STPB, o en los considerados para recarga artificial de acuíferos (DOF, 2009), donde se especifican veinte.

Para agua subterránea se propone considerar las 18 STPB incluidas en la normatividad nacional (cuadro 6), sujeto a disponibilidad de infraestructura, de acuerdo con las referencias identificadas en

Cuadro 5. Referencias sobre STPB en agua superficial.

Institución	Contaminantes	Número de referencias
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Varias 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), varias STPB (1)	11
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.	Varias STPB (1), metales (5), plaguicidas (1)	7
Universidad Autónoma de Baja California	Plaguicidas (1), metales (5)	6
Universidad Autónoma Metropolitana	Plaguicidas (1), metales (4), HPA (1)	6
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	Varias STPB (3), metales (1), plaguicidas (1)	5
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Plaguicidas (1), metales (2), varias STPB (2)	5
Instituto Politécnico Nacional	Metales (1), plaguicidas (1), varias STPB (1)	3
Universidad Autónoma de Tamaulipas	Varias STPB (3)	3
Universidad Autónoma de Zacatecas	Metales (2), varias STPB (1)	3
Universidad de Guadalajara	Varias STPB (3)	3
El Colegio de la Frontera Sur	Varias STPB (1), plaguicidas (1)	2
Universidad Autónoma de Querétaro	Plaguicidas (1), varias STPB (1)	2
Universidad Autónoma de Yucatán	Metales (1), plaguicidas (1)	2
Universidad Autónoma de Aguascalientes	Varias STPB (2)	2
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	Varias STPB (2)	2
Universidad del Mar	Varias STPB (2)	2
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	Varias STPB (1)	1
Cámara Nacional de la Industria de la Transformación	Metales (1)	1
Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS	Varias STPB (1)	1
Centro de Investigación y Asesoría Tecnológica en Cuero y Calzado	Metales (1)	1
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.	Varias 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	Metales (1)	1
Universidad Autónoma de Campeche	BPC (1)	1
Universidad Autónoma de Coahuila	Varias STPB (1)	1
Universidad Autónoma de Guadalajara	Varias STPB (1)	1
Universidad Autónoma de Nayarit	Varias STPB (1)	1
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Varias STPB (1)	1
Coastal Carolina University, Department of Marine Science	Metales (1)	1
Número total de estudios identificados		154

Cuadro 6. Propuesta de STPB iniciales para agua subterránea.

STPB iniciales	Infraestructura existente para monitoreo	Métodos analíticos definidos
Aldrín	Buena	Nacionales
Atrazina	Buena	Internacionales
Cadmio	Buena	Nacionales
Clordano (total de isómeros)	Buena	Nacionales
DDT (total de isómeros)	Buena	Nacionales
Dieldrín	Buena	Nacionales
Endrín	Buena	Nacionales
Hexaclorociclohexano isómero gamma (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

Cuadro 7. Referencias sobre STPB en agua subterránea.

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

Cuadro 8. Propuesta de STPB iniciales para sedimento.

STPB iniciales	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

la literatura. Son relativamente pocos los estudios realizados en nuestro país sobre STPB en agua subterránea, identificándose sólo 35 (cuadro 7), y los STPB evaluados pertenecen principalmente a la categoría de metales y plaguicidas. Debido a la falta de referencias sobre mercurio, benzo(a)pireno, BPC, simazina y toxafeno, se pueden excluir de la lista inicial de STPB, y realizar evaluaciones de riesgo, así como establecer la infraestructura y capacidades necesarias antes de considerar su inclusión para monitoreo en agua subterránea en México.

Lista inicial de STPB para sedimento

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

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

Lista inicial de STPB para suelo

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 (cuadro 10).

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

Lista inicial de STPB para agua, sedimento y suelo

El objetivo de este programa nacional de monitoreo es agua en cuencas hidrológicas y acuíferos. Como sedimentos y suelos actúan como medios de acumulación y de lixiviación de contaminantes que son transportados en el agua, se propone evaluar de manera conjunta los STPB en agua subterránea/suelo y agua superficial/sedimento. En el cuadro 12 se

Cuadro 9. Referencias sobre STPB en sedimento.

Institución	Contaminantes	Número de referencias
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Metales (5), plaguicidas (7), varias 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), varias STPB (3)	5
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	Metales (1), varias STPB (3)	4
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.	Metales (3)	3
Universidad Autónoma de Baja California	Varias STPB (3)	3
Universidad Autónoma de Yucatán	Metales (1), HPA (2)	3
Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS	Varias STPB (1), metales (1)	2
El Colegio de la Frontera Sur	Plaguicidas (1), HPA (1)	2
Universidad Autónoma de Zacatecas	Varias 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	Varias STPB (1)	1
Universidad Autónoma de Guadalajara	Varias STPB (1)	1
Universidad Autónoma de Tamaulipas	Varias STPB (1)	1
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Varias 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

Cuadro 10. Propuesta de STPB iniciales para suelo.

STPB iniciales	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

Cuadro 11. Referencias sobre STPB en suelo.

Institución	Contaminantes	Número de referencias
Universidad Nacional Autónoma de México	Varias STPB (3), plaguicidas (2), metales (27), HPA (2), BPC (1)	35
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Varias STPB (5), plaguicidas (6)	11
Colegio de postgraduados	Metales (6)	6
Instituto Nacional de Ecología	Varias STPB (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), varias STPB (1)	4
Instituto Politécnico Nacional	HPA (2), metales (1)	3
Universidad Autónoma de Querétaro	Varias STPB (1), plaguicidas (1), metales (1)	3
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	Varias STPB (2), plaguicidas (1)	3
Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS	Varias STPB (2)	2
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	Metales (1), varias STPB (2)	2
Universidad Autónoma Chapingo	Metales (2)	2
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	Metales (1), varias STPB (1)	2
Comisión Nacional del Agua, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México	Metales (1)	1
Instituto Mexicano del Petróleo	HPA (1)	1
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	Metales (1)	1
Universidad Autónoma de Guadalajara	Varias STPB (1)	1
Universidad Autónoma Metropolitana	HPA (1)	1
Universidad del Mar	Varias STPB (1)	1
Environment Canada	Plaguicidas (1)	1
Número total de estudios identificados		93

Cuadro 12. STPB propuestas para incluirse en un programa de monitoreo de vigilancia de agua, sedimento y suelo.

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 isómeros alfa y beta		
Hexaclorociclohexano isómero gamma (Lindano)	x	x
Hexaclorobenceno	x	
Metoxicloro	x	
Toxafeno	x	x

presenta la lista que resume las 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.

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 (N), centro (C) y sureste (S) (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).

Estos sitios fueron seleccionados de manera que fueran cercanos uno al otro en cada región. Asimismo, se consideró la cercanía de universidades o centros de investigación, que pudieran 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 formaran parte de la RNM de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2011).

Agua superficial/sedimento

Acorde con los criterios para la 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 Donaldo Colosio en Sinaloa; en el centro, lagunas de Zempoala, en el límite entre el Estado de México y Morelos; y en el sur, las lagunas de Montebello en el estado de Chiapas (cuadro 13).

Suelo/agua subterránea

Los sitios propuestos para monitoreo de STPB en suelos/agua subterránea fueron seleccionados cercanos a los sitios seleccionados para agua superficial/sedimento (cuadro 14).

Cuadro 13. Sitios propuestos para monitoreo de STPB en agua superficial/sedimento.

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 (Chicoasén)	Chiapas	S	16.937°	93.099°	386	Agricultura, descargas urbanas
Pristinos						
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 Morelos	C	19.050°	99.313°	2 817	Bosque
Lagunas de Montebello	Chiapas	S	16.089°	91.703°	1 540	Selva perennifolia mediana y alta



Figura 2. Regiones para la selección de los sitios de monitoreo.

Métodos de muestreo, preservación de muestras y análisis

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

Agua subterránea

Para el muestreo en pozos de agua subterránea, el procedimiento se describe en la NOM-230-SSA1-2002 (DOF, 2005b). Los métodos

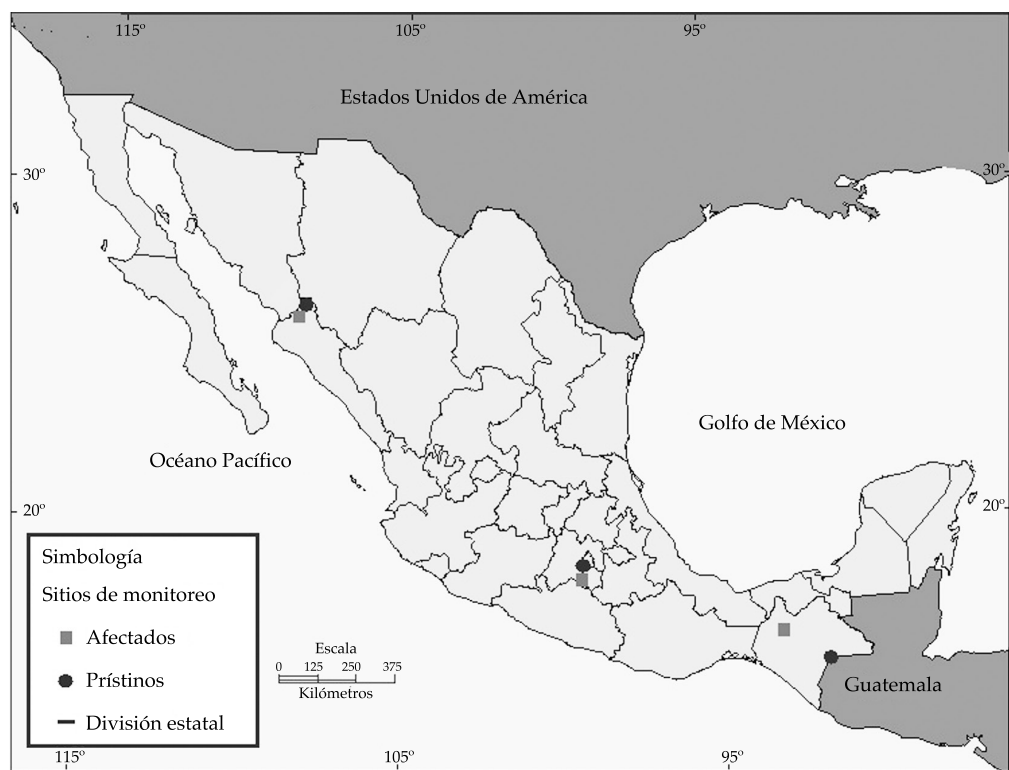


Figura 3. Localización de sitios propuestos para monitoreo de STPB.

Cuadro 14. Sitios propuestos para 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

de conservación y análisis de los STPB se presentan en el cuadro 15.

Agua superficial

En la norma mexicana NMX-AA-014-1980 (Secofi, 1980) se establece el procedimiento para muestreo de agua en cuerpos receptores.

Los métodos de conservación de muestras, así como los métodos analíticos, se presentan en el cuadro 15.

Suelo

Se recomienda obtener las muestras de suelo en sitios cercanos a los seleccionados

Cuadro 15. Métodos para muestreo y análisis de STPB en agua, sedimento y suelo.

Parámetro	Agua	Sedimento	Suelo
Metales			
Cadmio	PROY-NMX-AA-131 / 1-SCFI-2008 (SE 2009a) y PROY-NMX-AA-131 / 2-SCFI-2008 (SE, 2009b) PROY-NMX-AA-051 / 4-SCFI-2008 (SE, 2009b) PROY-NMX-AA-051 / 3-SCFI-2008 (SE, 2009c)	Technical Manual EPA 823-B-01-002 (USEPA, 2001) USEPA 6010B (USEPA, 1996)	
Plomo			
Mercurio			
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 isómeros alfa y beta			
Hexaclorociclohexano isómero gamma (Lindano)			
Hexaclorobenceno			
Metoxicloro			
Toxafeno			

para monitoreo de agua subterránea. El procedimiento de muestreo de suelo se describe en la norma mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 (SE, 2006). Los métodos de conservación de muestras, así como los métodos analíticos, se presentan en el cuadro 15.

Sedimento

Se recomienda obtener las muestras de sedimento cercanos a los seleccionados para monitoreo de agua superficial. 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 métodos de conservación

de muestras, así como los métodos analíticos, se presentan en el cuadro 15.

Métodos analíticos

Los métodos vigentes para análisis de agua, sedimento y suelo se indican en el cuadro 15. En la normatividad nacional se especifica el uso de espectroscopía 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).

Frecuencia de muestreo

Agua subterránea/suelo

Para el monitoreo de STPB en agua subterránea, se recomienda iniciar con muestreos semestrales durante los dos primeros años, para 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. Para suelo se recomienda realizar muestreos semestrales, de preferencia después del inicio de los ciclos de siembra en las zonas agrícolas.

Agua superficial/sedimento

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 sedimento 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 sedimentos con isótopos radiactivos y análisis químicos de los STPB en núcleos de sedimento de los sitios seleccionados. Una vez establecidas las frecuencias de muestreo, se puede dar seguimiento a las variaciones en calidad de sedimento mediante su monitoreo.

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 inter-

nacionalmente, prioridades definidas en la normatividad mexicana, 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, Axel Falcón Rojas y Carlos Corzo Juárez.

Recibido: 18/08/11

Aceptado: 30/04/12

Referencias

- BMU. *Die Wasserrahmenrichtlinie – Neues Fundament für den Gewässerschutz in Europa*. Langfassung, Bonifatius, Paderborn, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2004. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en *World Wide Web*: http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2342.de/wrrl_bmu.pdf.
- CCA. 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. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en *World Wide Web*: http://www.cec.org/Storage/44/3631_Crit-2-e_EN.pdf.
- CEC. 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. Commission of the European Communities, 2006. Fecha de consulta: 12 de julio de 2011. Disponible en *World Wide Web*: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0398:FIN:EN:PDF>.
- CONAGUA. *Estadísticas del Agua en México, edición 2011*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, marzo de 2011. Disponible en *World Wide Web*: <http://www.conagua.gob.mx>.

- conagua.gob.mx/OCB07/Contenido/Documentos/EstadisticaAguamexico2011.pdf, 181 pp.
- CONAGUA. *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, febrero de 2008. Fecha de consulta: 12 de julio de 2011. Disponible en *World Wide Web*: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/PNH_05-08.pdf, 158 pp.
- DOF. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Única sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 13 de diciembre de 1989, pp. 7-23.
- DOF. Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Federal de Derechos. Primera sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 18 de noviembre de 2010, pp. 2-13.
- DOF. Ley de Aguas Nacionales. Texto vigente. Última reforma publicada. *Diario Oficial de la Federación*. 20 de junio de 2011, pp. 1-104.
- DOF. 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. Primera sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría de Salud, 20 de junio de 2000, pp. 48-55.
- DOF. 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. Única sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría de Salud, 16 de agosto de 1995, pp. 42-56.
- DOF. 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. Única sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 6 de enero de 1997, pp. 68-85.
- DOF. 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. Primera sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 3 de abril de 1998, pp. 6-14.
- DOF. 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. Primera sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría de Salud, 24 de septiembre de 2001a, pp. 22-55.
- DOF. 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. Única sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 15 de agosto de 2003, pp. 18-59.
- DOF. Norma Oficial Mexicana NOM-133-SEMARNAT-2000. Protección ambiental-bifenilos policlorados (BPC's)-Especificaciones de manejo. Primera sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales 10 de diciembre de 2001b, pp. 3-13.
- DOF. Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. Primera sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 29 de marzo de 2005a, pp. 1-21.
- DOF. 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. Primera sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría de Salud, 13 de diciembre de 2005b, pp. 70-81.
- DOF. 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. Segunda sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2 de marzo de 2007, pp. 1-69.
- DOF. Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003. Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. Primera sección. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua, 18 de agosto de 2009, pp. 6-20.
- ENVIRONMENT CANADA AND ONTARIO MINISTRY OF ENVIRONMENT AND ENERGY. *The ARET substance selection process and guidelines*. Hull, Canada: National Office of Pollution Prevention, 1994.
- ENVIRONMENT CANADA and USEPA. *The Great Lakes Binational Toxics Strategy Canada - United States strategy for the virtual elimination of persistent toxic substances in the Great Lakes*. Environment Canada, U.S. Environmental Protection Agency, 1997. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en *World Wide Web*: <http://www.epa.gov/grtlakes/bns/strategy.html>.
- ENVIRONMENT CANADA. *Canadian Environmental Quality Guidelines, Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines*. Environment Canada, 2003. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en *World Wide Web*: http://www.ccme.ca/publications/ceqg_rcqe.html?category_id=125.

- ENVIRONMENT CANADA. *Toxic Substances Management Policy*. Environment Canada, 2004. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <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, Bruselas, 2001, pp 1-5.
- EUROPEAN PARLIAMENT. Criteria for the Identification of Persistent, Bioaccumulative and Toxic substances, and Very Persistent and Very Bioaccumulative Substances. *Official Journal of the European Union*. L 396/385 Annex XIII, 2006. Consultado el 12 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://kemi.prevent.se/includes/helpres.asp?resid=%7B031BCE8B-A9C8-47F3-A0FC-5CE9E4E963A5%7D>.
- EUROPEAN PARLIAMENT. *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council concerning the registration, evaluation, authorization and restrictions of chemicals (reach), establishing a European chemicals agency and amending directive 1999/45/ec and regulation (ec) (on persistent organic pollutants). Annex xii criteria for the identification of persistent, bioaccumulative and toxic substances, and very persistent and very bioaccumulative substances*. COM (2003) 644. October 29, 2003. Fecha de consulta: 20 de marzo de 2012. Disponible en World Wide Web: <http://www.nwicpc.ru/documents/REACH%20Directive.pdf>.
- FERNÁNDEZ-BREMAUNTZ, A., YARTO RAMÍREZ, M.A. y CASTRO-DÍAZ, J. (editores). *Las Sustancias Tóxicas Persistentes en México*, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, 2004, 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*. Aiken, USA: Westinghouse Savannah River Company, 2005.
- 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*. Cap. 26. Oswald-Spring, U., Sánchez-Cohen, I., Miranda, M., Pérez-Espejo, R., Martín-Domínguez, A., Garatuzayán, J. y Watts-Thorp, C.J. (editores). Red Temática del Agua de Conacyt. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2011, pp. 303-316.
- HANSEN, A.M., VAN AFFERDEN, M., VILLADA-CANELA, M., and SÁNCHEZ-CASTAÑEDA, L.F. *Scoping study for the evaluation of the national program of monitoring and environmental assessment in Mexico*. Contrato CCAAN-IMTA No. 811.211.N/D: 241 01057 TH-0614. Jiutepec, México: Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2006, 105 pp. y 2 anexos.
- MEAYS, CL., BROERSMA, K., NORDIN, R., MAZUMDER, A., and SAMADPOUR, M. Spatial and annual variability in concentrations and sources of Escherichia coli in multiple watersheds, *Environ. Sci. Technol.* Vol. 40, No. 17, 2006, pp. 5289-5296.
- ONU-WWAP. *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: Organización de las Naciones Unidas-Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y Berghahn Books, 2003, 575 pp.
- SE. NMX-AA-132-SCFI-2006. *Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra*. Secretaría de Economía, 2006. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2006/nmx-aa-132-scfi-2006.pdf>.
- SE. 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*. Secretaría de Economía, 2009c. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2009/proy-nmx-aa-051-3-scfi-08.pdf>.
- SE. 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*. Secretaría de Economía, 2009b. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2009/proy-nmx-aa-051-4-scfi-08.pdf>.
- SE. 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*. Secretaría de Economía, 2009a. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2009/proy-nmx-aa-131-2-scfi08.pdf>.
- SE. 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*. Secretaría de Economía, 2009d. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide

- Web: <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2009/proy-nmx-aa-071-scfi-08.pdf>.
- SECOFI. Norma Mexicana. NMX-AA-014-1980. Cuerpos receptores. Muestreo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1980. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/1980/nmx-aa-014-1980.pdf>.
- TROLDBORG, M., LEMMING G., BINNING, P.J., Tuxen, N., and BJERG, P.L. Risk assessment and prioritization of contaminated sites on the catchment scale. *Journal of Contaminant Hydrology*. Vol. 101, No. 1-4, 2008, pp. 14-28.
- UBA. *Overview of Quality Requirements for Chemicals in Surface Waters*. Umweltbundesamt, 2005. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/downloads/q-req_chem_surface_waters.pdf.
- UNECE. *Protocol on Persistent Organic Pollutants on 24 June 1998*. Aarhus, Denmark: United Nations Economic Commission for Europe. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: http://www.unece.org/env/lrtap/pops_h1.htm.
- USEPA. *Method 6010B. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry*. U.S. Environmental Protection Agency, 1996. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/EPA-Method-6010B.pdf>.
- USEPA. *List of Drinking Water Contaminants & MCLs*. U.S. Environmental protection Agency, 2005 b. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html#mcls>.
- USEPA. *Method 8081B. Organochlorine pesticides by gas chromatography*. U.S. Environmental Protection Agency, 2007. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8081b.pdf>.
- USEPA. *Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual EPA 823-B-01-002*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C., 2001.
- USEPA. *National Recommended Water Quality Criteria, Office of Water, Office of Science and Technology, 4304T*. U.S. Environmental Protection Agency, 2009. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/current/index.cfm>.
- USEPA. *PBT Strategy, A multimedia strategy for priority persistent, bioaccumulative, and toxic (PBT) pollutants*. U.S. Environmental Protection Agency, 1998. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://www.epa.gov/pbt/pubs/pbtstrat.htm>.
- USEPA. *Persistent Bioaccumulative and Toxic (PBT) Chemical Program*. U.S. Environmental Protection Agency, 2005a. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://www.epa.gov/pbt/resources.htm>.
- USEPA. *Persistent, Bioaccumulative, and Toxic (PBT) Chemicals Rules*. U.S. Environmental Protection Agency, 2004. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://www.epa.gov/tri/lawsandregs/pbt/pbtrule.htm#rule>.
- USEPA. *TSCA New Chemicals Program (NCP), Chemical Categories*. U.S. Environmental Protection Agency, 2002. Fecha de consulta: 13 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://www.epa.gov/oppt/newchemicals/pubs/cat02.pdf>.
- USGS. *Prediction of sediment toxicity using consensus-based freshwater sediment quality guidelines, EPA 905/R-00/007*. United States Geological Survey, 2000. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: <http://www.cerc.usgs.gov/pubs/center/pdffdocs/91126.pdf>.
- VAN AFFERDEN, M., HANSEN, A.M., GONZÁLEZ-FARIAS, F.A., and TREJO-PÉREZ, P. *Feasibility study for sampling and analysis of lake sediment cores in Mexico*. Final Report. Project No. 321.06.02. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - North American Commission for Environmental Cooperation (CEC), 2003.
- WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY. *Persistent bioaccumulative toxins*. Part I General provisions. Chapter 173-333. WAC, 2005. Fecha de consulta: 14 de julio de 2011. Disponible en World Wide Web: http://www.ecy.wa.gov/laws-rules/wac173333/p0407_cont_a.pdf.
- WHO. *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, (Clasificación NLM: WA 675). Ginebra: World Health Organization, 2004.

Anexo

Cuadro 16. Anexo. 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	Sí	Dos a cuatro por año	NOM-117-SSA1-1994 (DOF, 1995)
	Mercurio	0.001	No	No especificado	NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000)
	Plomo	0.01		Cuatro por año	
	Aldrin	0.00003		Cuatro por año	
	Dieldrin	0.00003			
	Clordano (total de isómeros)	0.0002			
	DDT (total de isómeros)	0.001			
	Hexaclorociclohexano isómero gamma (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	Sí	No especificado	NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997)
	Mercurio	0.005 – 0.02			
	Plomo	0.2 – 1.0			
	Cadmio	0.5-1			
Descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal	Mercurio	0.01-0.02	Sí	No especificado	NOM-002-SEMARNAT-1996 (DOF, 1998)
	Plomo	1-2			
	Cadmio	0.0002-0.01			
	Mercurio	0.0001-0.0005			
Agua para diferentes usos	Plomo	0.01-0.05	No	No especificado	CE-CCA-001 / 89 (DOF, 1989)
	Acenafteno	0.01-0.02			
	Aldrin	0.0003-0.02			
	Bifenilos policlorados (BPC)	0.0005			
	Hexaclorociclohexano isómeros alfa y beta	0.001-0.000004			

Cuadro 16 (continuación). Anexo. STPB considerados en la normatividad mexicana para agua.

Medio	STPB	Límite (mg/L)	Métodos analíticos definidos	Frecuencia de monitoreo	Referencia
Agua para diferentes usos	Hexaclorociclohexano isómero gamma (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			
	Dieldrin	0.0009-0.02			
	Endosulfán alfa, 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	No	No especificado	NOM-014-CONAGUA-2003 (DOF, 2009)
	Mercurio	0.001			
	Plomo	0.01			
	Aldrín	0.00003			
	Dieldrin	0.00003			NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000)

Cuadro 16 (continuación). Anexo. STPB considerados en la normatividad mexicana para agua.

Medio	STPB	Límite (mg/L)	Métodos analíticos definidos	Frecuencia de monitoreo	Referencia
Agua para diferentes usos	Clordano (total de isómeros)	0.0002			
	DDT (total de isómeros)	0.001			
	Hexaclorociclohexano isómero gamma (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			

Cuadro 17. Anexo. 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, 2001b)
Residencial		5			
Industrial/ comercial		25			
Suelo agrícola	Benzo(a)pireno	2	Sí	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			
	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			
	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	Sí	No especificado	NOM-147-SEMARNAT / SSA1-2004 (DOF, 2007)
	Mercurio	23			
	Plomo	400			
Suelo industrial	Cadmio	450	Sí	No especificado	NOM-147-SEMARNAT / SSA1-2004 (DOF, 2007)
	Mercurio	310			
	Plomo	800			

Cuadro 18. Anexo. STPB con límites y métodos analíticos establecidos en regulaciones internacionales para sedimento.

Grupo de contaminantes	EU ¹	Canadá ²
Metales	Cadmio	Cadmio
	Plomo	Plomo
	Mercurio	Mercurio
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		Dibenzo-p-dioxinas y dibenzofuranos policlorados
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 gamma (Lindano)	Hexaclorocicloexano isómero gamma (Lindano)
		Toxafeno
Surfactantes		Nonilfenoles/4-nonilfenol

¹USGS, 2000.²Environment Canada, 2003.

Abstract

HANSEN, A.M. Program of monitoring and evaluation of TPBS in river basins and aquifers. Water Technology and Sciences (in Spanish). Vol. III, No. 4, October-December, 2012, pp. 167-195.

The objective of this paper is to contribute to 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 PBTS were recommended: "priority" PBTS for immediate implementation and "emerging" PBTS that historically have not been considered as contaminants are present in the environment but need further assessment before they are included in surveillance monitoring programs. 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 to be 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: persistent, toxic, and bioaccumulative substances; priority substances; emergent substances.

Dirección institucional de la autora

Dra. Anne M. Hansen

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Coordinación de Hidrología
Subcoordinación de Hidrología Subterránea
Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso
62550 Jiutepec, Morelos, México
Teléfono: +52 (777) 3293600, extensiones 161 y 610
Fax: +52 (777) 3 29 36 00, extensión 620
ahansen@tlaloc.imta.mx