
Impacto y riesgo ambiental de un sitio contaminado con Bifenilos Policlorados en Alpuyecá, Morelos

R. Castro¹, A. Ramírez¹, A. Monrroy¹, C. Izcapa², R. Rodríguez², M. Gayosso³, G. Cruz⁴,
C. Flores⁴, D. Hernández^{4*}

¹FES-Zaragoza, ²Cinvestav., ³Instituto de Tecnológico de Tulancingo, ⁴Universidad Guanajuato, Juárez No. 77 Zona Centro Guanajuato Gto.

Recibido 24 mayo 2007, revisado 22 septiembre 2007, aceptado 10 noviembre 2007

Impact and environmental risk of a site contaminated with polychlorinated biphenyls in Alpuyecá, Morelos

Abstract

This work present the risk analysis, that shows to values of 2.2×10^{-1} mg (kg day)⁻¹ superior to the rank of 10^{-4} to 10^{-6} of acceptable risk of the US-EPA for carcinogenic risks that is to say, the exposed citizens to the polychlorinated biphenyls by all means and studied routes, face a risk of contracting cancer of 211 people in a population of one million. The studies of exposure in animals to these polluting agents have demonstrated the cancer incidence (B2 classification of the US-EPA) thus, is considered prudent to limit the exposure of humans. The results of the present study provide the scientific bases to establish the actions of prevention, control and restoration on the part of the takers of decisions and corresponding authorities. Reason why the alternative is suggested to make the excavation and elimination of the capacitors of the focus of contamination and the remediation of the surrounding soil by means of bioremediation techniques “*In-situ*”.

Keywords: Polychlorinated biphenyls, pollution, impact and environmental risk.

Resumen

Este trabajo presenta el análisis de riesgo, que muestra valores de 2.2×10^{-1} mg (kg día)⁻¹ superior al rango de 10^{-4} a 10^{-6} aceptable de la US-EPA para riesgos cancerígenos es decir, los ciudadanos expuestos a los bifenilos policlorados por todos los medios y rutas estudiadas, enfrentan un riesgo de contraer cáncer de 211 personas en una población de un millón. Los estudios de exposición en animales a estos contaminantes han demostrado la incidencia de cáncer (clasificación B2 de la US-EPA) por lo cual, se considera prudente limitar la exposición de humanos. Los resultados del presente estudio proveen las bases científicas para el establecimiento de acciones de prevención, control y restauración por parte de los tomadores de decisiones y autoridades correspondientes. Razón por la cual se sugiere la alternativa de llevar a cabo la excavación y eliminación de los capacitores del foco de contaminación y la remediación del suelo circundante mediante las técnicas de bioremediación “*in-situ*”

Palabras claves: Bifenilos policlorados, contaminación ambiental, impacto y riesgo ambiental.

Introducción

Los Bifenilos Policlorados (BPCs) son una familia

de compuestos sintetizados comercialmente por cloración directa del bifenilo, las sustituciones de cloro pueden ocupar 209 posiciones diferentes en la

* Autor de correspondencia
E-mail: dannhc@quijote.ugto.mx
Tel. (473) 732-1990. Ext. 2224. Fax. Ext. 2230

molécula. Debido a sus principales propiedades fisicoquímicas tales como: baja presión de vapor, baja solubilidad en agua y baja reactividad, estabilidad a la oxidación y resistencia al fuego se utilizaron industrialmente como fluidos: de transferencia de calor, hidráulicos y dieléctricos en capacitores y transformadores; además de usarlos como: plastificantes y disolventes (Kimbrough, 1980). Los BPC's son contaminantes ubicuos y sus niveles de concentración generalmente se incrementan en los niveles tróficos (Bernard et al., 2002; Tanabe et. al., 1983). Estudios de exposición en animales a estos contaminantes han demostrado la incidencia de cáncer por lo que la US-EPA los ha clasificado como B2 posibles cancerígenos para el humano. Dados sus efectos tóxicos, el Programa Ambiental de Naciones Unidas incluyó a los BPC's dentro de la lista de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP's) al considerarlo una sustancia altamente peligrosa. Así mismo, dentro del tratado de libre comercio de América del Norte fue incluido como una de las tres sustancias orgánicas de atención prioritaria con el fin de reducir su uso, liberación al medio ambiente y de ser posible eliminarla (INE-SEMARNAP, 1997). Algunos otros efectos comunes causados por BPC's son: Hepatomegalia, desbalance hormonal con daños en la tiroides, supresión de la muerte celular, incremento de aborto, bronquitis crónica, entre otros (Safe et.al., 1987). La producción comercial de BPCs inició a finales de los años veinte y hasta 1977. La compañía Monsanto Chemicals de San Louis, Missouri, USA fue la más grande productora de mezclas de BPC's conocidas bajo el nombre de Aroclor, aunque también existieron otras compañías que producían productos con BPC's bajo los nombres de Kanechlor por las compañías Kanegafuchi Chemicals en Japón; Clophen por la compañía Bayer de Alemania y Fenclor por la compañía Caffaro de Italia (Meijer, 2003). Se ha estimado que durante 50 años fueron producidas

634,200 Ton de BPC's de las cuales, 40,000 Ton residen en la biosfera como contaminantes del suelo, aire, ríos y bioacumulados en animales de vida silvestre (Kimbrough, 1980). En el país uno de los problemas que requiere rápida atención es el relativo a la detección y evaluación de suelos contaminados con BPC's, por sus graves riesgos a la salud pública y el medio ambiente. Para justificar

una gestión de sitios contaminados con BPC's, es necesario enfatizar sus posibles efectos y realizar un profundo análisis de costo-beneficio con el objetivo de evaluar y mejorar los programas y acciones de remediación para el desarrollo de investigación, equipos e instalaciones adecuadas para su tratamiento. El objetivo del presente estudio fue evaluar el nivel de contaminación ambiental en agua, suelo, flora y fauna causado por BPC's de capacitores abandonados en una planta industrial en el municipio de Alpuyecá, Morelos, México; mediante estudios de monitoreo ambiental y su análisis cromatográfico, para determinar el grado de contaminación de cada uno de estos compartimientos ambientales; y lograr el diagnóstico integral de la problemática. La relevancia del trabajo, es la evaluación del riesgo ambiental, mediante datos estadística y analíticamente consistentes; dando especial énfasis en la salud humana, la calidad ambiental y el establecimiento de prioridades de restauración para presentar las bases científicas que lleven a la elaboración de una propuesta de remediación y minimización del impacto ambiental producido por estos contaminantes.

Material y métodos

La valoración del impacto producido por los BPC's se realizó mediante el estudio del medio, identificando: elementos susceptibles de alteración, análisis de los impactos por magnitud de la contaminación productora de alteraciones, definición de los elementos ambientales alterados, relación causa-efecto, caracterización de cada uno de los impactos identificados, valoración de importancia y magnitud de cada impacto. En el pueblo de Alpuyecá, del municipio de Xilotepec estado de Morelos, en las coordenadas geográficas 18° 43.947' N y 99° 15.465' W y a una altitud de 1029 msnm se localiza una planta industrial (donde anteriormente se fabricaban productos eléctricos). Posee una superficie de 50,025 m² de los cuales 3,045 m² son de construcción. Dentro de la planta se encuentran enterrados (desde aproximadamente 37 años) en una fosa de 48 m³ aproximadamente, pequeños capacitores que contienen BPC's. A 100 m del sitio hacia a el sureste pasa un pequeño arroyo cuyas paredes han sido revestidas de concreto para formar una acequia que desemboca en río Apatlaco situado aproximadamente a 150 m de distancia. En la zona existen gran cantidad

de liebres, aves, insectos, pequeños reptiles y gran variedad de vegetación que se presume están siendo afectados por la contaminación del sitio. La precipitación pluvial anual es de 840 mm. Con base en lo anterior se dividió el sitio en tres zonas de muestreo, identificando los diferentes medios ambientales (suelo, agua, fauna y flora): zona 1 foco de contaminación, zona 2 área circundante al foco de contaminación; y zona 3 acequia y ojo de agua. Se abarco aproximadamente 150 m² a partir del foco de contaminación. De la zona 1 y 2 se tomaron muestras de suelo al azar en zig-zag a 10 m de distancia entre ellas y una profundidad de 10-15 cm utilizando un equipo nucleador, se almacenaron a 4° C en bolsas debidamente etiquetadas para su transporte, también se muestrearon plantas herbáceas y arbustivas que fueron debidamente herborizadas y etiquetadas para su posterior procesamiento. Los sedimentos al igual que el agua tanto de la acequia y el ojo de agua fueron tomados en frascos ámbar etiquetados y almacenados a 4°C (Erickson, 1984; Dobson y Van Esch, 1993). El muestreo en fauna se llevo a cabo principalmente en lombrices de tierra. El suelo, los sedimentos, plantas y las lombrices fueron secados previamente a la extracción del contaminante con Sulfato de Sodio anhidro en una estufa a 70 °C durante 2 días. Se utilizó como estándar el Aroclor 1254 para los análisis cromatograficos. El análisis cuantitativo de BPC's se realizó con equipo de cromatografía de gases con un detector de captura de electrones (CG/DCE), el análisis cualitativo se realizó con equipo de CG acoplado a espectrometría de masas (MS); ya que desde la introducción de este equipo se logro detectar BPC's en el ambiente (Colbrun y Mathew, 1979). En 1966, los BPC's se identificaron como contaminantes (Wasserman et. al., 1979). El análisis de riesgo se realizó siguiendo la metodología descrita por Peña et. al., 2001. Considerando variables como: tipo de contaminante, efectos potenciales sobre salud y/o ambiente, rutas de migración de la contaminación,

Compartimiento ambiental	Concentración de BPCs en el sitio de muestreo
Suelo	3307.13 ± 9367.51 mg kg ⁻¹
Sedimentos	4 ± 1.2 mg kg ⁻¹
Plantas zona 1	13 ± 2.3 mg kg ⁻¹
Plantas zona 2	5 ± 0.54 mg kg ⁻¹
Fauna (lombrices)	5.4 ± 1.03 mg kg ⁻¹
Agua	8.4 ² mg l ⁻¹

existencia y número de receptores de la contaminación además de la localización específica del sitio, escenario de exposición, estimación de la

exposición, presencia de sub-poblaciones sensibles, rutas de exposición, transporte y destino, vías de exposición, evaluación de la exposición, evaluación de la toxicidad y la estimación final del riesgo a que están comprometidos la población aledaña del sitio. Se tomaron consideraciones especiales: en todos los casos se realizaron suposiciones conservadoras para simplificar el modelo, tales como: la única fuente de emisión del contaminante provienen del sitio contaminado y es probable que debido a los microorganismos del suelo se este llevando a cabo la biodegradación del contaminante. Para desarrollar la hipótesis del peor escenario, se supuso que las poblaciones Zacatepec de Hidalgo y Jotutla de Juárez que se encuentran a 8 y 12 km río abajo del sitio contaminado han sido afectadas por la contaminación del manto acuífero subterráneo y por la contaminación del río Apatlaco que pasa por estas localidades. Además de que en el área que circunda al sitio contaminado, se ha proyectado el establecimiento de una unidad habitacional residencial con albercas cuyo abastecimiento seria suministrado por el mismo acuífero. Se identificaron los factores de la pendiente carcinogénica (FPC), mediante los índices toxicológicos, utilizando la última información disponible de toxicología y los Límites de Concentración Máxima de Contaminantes para proteger el agua de consumo humano propuestos por la EPA además de seguir los criterios de calidad de agua para la vida de peces y protección del medio ambiente (Díaz-Barriga, 1998).

Resultados y discusión

La determinación cromatográfica por GC/MS en las muestras de suelo del sitio detectó BPCs (isómeros desde algunos tetraclorados hasta heptaclorados), lo cual justifica la realización del análisis de riesgo. Los valores de concentración determinados, en un radio de 150 m² a partir del foco de contaminación; para cada compartimiento ambiental se muestran en el Tabla 1. Cabe señalar que se encontraron valores 185 mg·kg⁻¹ en raíces de plantas del foco de contaminación.

Tabla 1. Concentraciones de BPCs en los diferentes compartimientos ambientales.

El sitio posee una pendiente del 3 % que hace posible el arrastre del contaminante por

precipitación pluvial. El suelo es franco arenoso con una unidad geo-hidrológica de alta permeabilidad. En la zona existen aproximadamente 56 especies entre peces, anfibios, insectos, plancton y fitoplancton, además de 134 especies de vegetales sumergidas y riparias (Trujillo et. al., 2002), que se presume por las concentraciones del contaminante tanto en plantas y lombrices, pueden potencialmente estar bioacumulando y biomagnificando los contaminantes a través de la cadena trófica La población afectada directamente está conformada por los trabajadores que laboraron en la planta industrial expuestos al Clorinol (nombre comercial del producto que contenía los BPC's). Es probable que los residentes del área circundante al sitio estén expuestos a la contaminación. La revisión de los estudios del Instituto de Salud (www.insp.mx/cgi-bin/prevsearch), se observa que las estadísticas de incidencia de tumores malignos de seno, de órganos respiratorios e intra-torácicos, órganos digestivos y mortalidad por enfermedades endocrinas, metabólicas y/o neoplasias son generalmente mayores en las localidades de Zacatepec de Hidalgo y Jojutla de Juárez que en resto del estado de Morelos, posiblemente causados por la contaminación de BPCs del área de estudio a estos sitios; ya que el problema de contaminación es una exposición crónica que data desde hace 37 años es de esperarse que el alcance de la dispersión de los contaminantes haya ocurrido de manera extensa demostrado por los resultados de los análisis

Parámetro	Valores calculados (mg kg ⁻¹)
Dosis de ingestión oral	2.90X10 ⁻⁴ mg (kg día) ⁻¹
Dosis de ingestión de agua	1.3X10 ⁻³ mg (kg día) ⁻¹
Dosis ingestión accidental de suelo (Nivel Máximo Recomendable)	1.06X10 ⁻² mg kg ⁻¹
Dosis de ingestión media diaria por contacto dérmico	2.75X10 ⁻⁶ mg (kg día) ⁻¹
Dosis de ingestión total	1.3X10 ⁻³ mg (kg día) ⁻¹
Cálculo de riesgo individual de Cancer	2.11 x 10 ⁻⁴ mg (g día) ⁻¹
Cálculo de incidencia de Cáncer poblacional	1.522

realizados a en el agua y sedimentos de una acequia picada a 80 m aguas abajo del sitio contaminado.

La emisión potencial de polvo y partículas contaminadas por erosión eólica desde el sitio contaminado hacia la población se considera solo factible en las temporadas de tolvaneras que dependen de la velocidad del viento. Se observo que la población cercana al sitio utiliza el agua de la acequia para alimentos, riego, lavar ropa y en ocasiones aseo diario. La determinación de poblaciones potencialmente expuestas (que viven a un radio de 2 km².), está constituida por niños, mujeres embarazadas, ancianos y personas con enfermedades crónicas; más los trabajadores que laboraron en la planta industrial. Las hipótesis de exposición fueron: a) *Hipótesis de uso residencial.*- El sitio esta proyectado para establecer una zona residencial unifamiliar con albercas a partir de la extracción de agua subterránea, b) *Hipótesis de uso recreativo.*- El sitio es aplicable para evaluar los riesgos potenciales asociados a los cursos de agua superficiales ya que a 30 m del sitio contaminado pasa un arroyo que desemboca en el río Amacuzac donde la gente suele pescar y nadar, Se establecieron parámetros como : frecuencia, duración y tasa de ingestión. Se estimaron los valores de dosis de ingestión oral por suelo, agua y contacto dérmico durante 37 años de exposición al contaminante o durante 8 años de exposición de los trabajadores que laboraron en la planta industrial (Tabla 2), además de riesgos de cáncer individual y poblacional. Derivado de estos resultados se estima que existe un riesgo de que se presenten 211 casos de cáncer en una población de un millón de habitantes. En el cálculo de riesgo potencial se utilizó la concentración media que permite una mejor estimación del riesgo asociado con las exposiciones crónicas. Sin embargo, se consideró la utilización del valor máximo en la estimación a corto plazo y riesgos subcrónicos, para poder proporcionar una estimación del límite superior del riesgo potencial.

Tabla 2.Determinación de los valores de toxicidad del contaminante en suelo y agua

Para ello se determinó el valor de toxicidad

mediante la siguiente expresión:

$$VT = FP \cdot C_{max} \dots\dots\dots(1)$$

donde: C_{max} = Concentración máxima 34,710 mg kg^{-1} encontrada en el suelo del sitio a la cual está expuesto un adulto cuyo peso promedio es 65 Kg), FP = factor de la potencia carcinogénica ($7,70 \times 10^{+1}$ mg (kg día) $^{-1}$) obtenido de IRIS de la US-EPA).

Para suelo:

$$VT = (7,70 \times 10^{+1} \text{ mg (kg día)}^{-1}) (34,710 \text{ mg (65 kg)}^{-1}) = 4111.8 \times 10^1 \text{ mg (kg día)}^{-1}$$

$$\text{Con concentración media (} C_{media} = 6,578 \text{ mg} \cdot (65 \text{ kg)}^{-1}) = 7792.4 \times 10^1 \text{ mg (kg día)}^{-1}$$

Para agua:

$$VT = (7,70 \times 10^1 \text{ mg (kg día)}^{-1}) (0.084 \text{ mg} \cdot (65 \text{ kg)}^{-1}) = 6.4 \times 10^{-1} \text{ mg (kg día)}^{-1}$$

Se determinó el Riesgo Cancerígeno para los trabajadores del área mediante la relación de la dosis de ingestión diaria crónica (expuesta en la valoración de la exposición), y el factor de la pendiente cancerígena (seleccionado en la valoración de la toxicidad).

Debido las características de afinidad a la materia orgánica de los BPC's se considera que las aves, pequeños mamíferos, peces y reptiles que residen dentro del sitio contaminado se han expuesto por la transferencia nutrientes en la cadena trófica, la ingestión de agua, e ingestión esporádica de suelo y sedimento contaminando. Se realizó el impacto ambiental para determinar la naturaleza, magnitud, transitoriedad o permanencia de los efectos ambientales potenciales provocados por la contaminación con BPC's de área circundante al sitio contaminado. El área fue dividida como ya se mencionó anteriormente en tres zonas de interés por el grado de concentración del contaminante en el sitio lo que ha provocado efectos negativos al medio ambiente y estos efectos pueden estar relacionados a la gran fragilidad de los recursos naturales del área; para ello se asumió una escala del cero a cien, siendo cero poco o nada significativo, cincuenta medianamente significativo y cien muy significativo (Tabla 3).

Con el fin de determinar el incremento de probabilidad incidencia de cáncer por la exposición a los BPC's y el cálculo se realizó por:

$$Riesgo = IDC \cdot FP \dots\dots\dots(2)$$

donde: IDC = (Ingestión diaria crónica (mg (kg día) $^{-1}$) (dosis suministrada total calculada anteriormente), FP = Factor de la pendiente carcinogénica (Kg·(día·mg) $^{-1}$).

$$Riesgo = (2.90 \times 10^{-4} \text{ mg (kg día)}^{-1}) (7.70 \times 10^{+0} \text{ mg (kg día)}^{-1}) = 2.2 \times 10^{-2} \text{ mg (kg día)}^{-1}$$

Para la población potencialmente expuesta por ingestión de agua contaminada:

$$Riesgo = (1.3 \times 10^{-3} \text{ mg (kg día)}^{-1}) \cdot (7.70 \times 10^1 \text{ mg (kg día)}^{-1}) = 1.1 \times 10^{-1} \text{ mg (kg día)}^{-1}$$

Tabla 3. Comparación y clasificación de Impactos Ecológicos.

Problema	Área	Severidad	Reversibilidad	Incertidumbre
Zona 1 Foco de Contaminación	48 m ² Área de impacto mayor	Muy significativa ya que es fuente de contaminación del suelo, acuífero y ecosistema de la zona	Se considera que la atenuación natural es posible aunque muy lentamente en la superficie del terreno pero no en toda la profundidad de la zona	Depende de diferentes factores principalmente del arrastre de la contaminación por precipitación pluvial y erosión eólica del sitio
ZONA 2 Área circundante al foco de contaminación	550 m ² Área de impacto extensa	Significativa ya que los niveles de contaminación sobrepasan los establecidos en la NOM-ECOL-133-2000	Grandes posibilidades de biorestauración	Depende de factores como costos y disponibilidad de tecnología adecuada
Zona 3 Contaminación de la acequia y venero	60m ² Área de impacto mediana	Significativa contaminación del suelo y sedimentos ya que es probable que debido al periodo de exposición (37 años) la contaminación haya alcanzado el acuífero que se encuentra a 3 m de profundidad	Puede ser reversible con sistemas de filtración a través de carbón activado	Depende de costos

La identificación taxonómica de las especies vegetales posibles receptores ecológicos existentes en las tres zonas de estudio se llevo a cabo en el herbario de La facultad de Estudios Superiores Zaragoza. La especie *Bidens pilosa*, es la planta herbácea que crece en la zona más contaminada incluso entre los capacitores expuestos a la intemperie.

La especie *Commelina diffusa* es la planta más abundante de esta zona en tanto que la especie *Choris virgata* es una especie reportada como típica de zonas de disturbios ecológicos (Rzwendosky, 2001). Las especies *Anoda pubescens*, *Sanvitalia procumbens*, *Tithonia tubiformis*, *Dalea foliolosa*, *Cynodon dactylon*, *Ipomea purpúrea*, son circundantes a la zona de estudio.

La estimación de la severidad de los impactos y efectos ecológicos de las zonas muestreadas es de alta intensidad como se aprecia en la Tabla 4, ya que sus efectos se manifiestan por la modificación del ambiente; para las especies nativas del sitio es probable que produzca repercusiones apreciables en los procesos reproductivos y alimenticios. Como consecuencia de una aportación progresiva de contaminantes BPC's a través del tiempo es probable que lleguen a sobrepasar el umbral tolerable de estas especies debido a su acumulación y ocasionar graves problemas de bioacumulación y biomagnificación. Sin embargo, es necesario considerar todos aquellos procesos de atenuación natural del sistema ecológico involucrado.

Tabla 4. Estimación del grado de severidad del impacto (Sig= Significativa, Insig= Insignificativa).

Área del impacto	Muy Sig	Sig	Med	Insig
Mayor Extensa	x			
Mediana		x		

Los valores de contaminación en suelo superan por mucho los límites máximos permisibles de 25 mg kg^{-1} de BPC's de la NOM 133-ECOL-2000 para suelos industriales contaminados y coinciden con los reportados en la tabla de Erickson (1984), sobre los diferentes niveles de concentración de BPC's en suelos de fabricas de equipos dieléctricos en Japón, en la manufactura de transformadores en USA, en sedimentos con derrames de BPC's, en sedimentos de varios sitios contaminados en Japón y por contaminación de sedimentos en Suecia (Erickson, 1984). Por otro lado, los valores de BPCs en agua se encuentran cercanos a los reportados en la misma tabla para ríos y grandes lagos contaminados en USA. Así mismo, los valores de concentraciones encontrados en plantas coinciden con los reportados en un estudio realizado en Canadá por Strachan (1988), es posible que la variación de concentración entre las plantas de la zona 1 con la zona 2 se deba a dos factores: la atenuación natural del contaminante y la distancia al foco de contaminación y cabe señalar que es posible que la biodegradación en el sitio se este llevando acabo (Furukawa, 2000), si se usa como indicador la ausencia de isómeros desde los monoclorados hasta algunos tetraclorados. Los valores 2.2×10^{-2} y $1.1 \times 10^{-1} \text{ mg (kg día)}^{-1}$ mayores al rango comprendido entre 10^{-4} y 10^{-6} admitido como riesgo aceptable por US-EPA; es decir, existe una gran probabilidad de amenaza de cáncer para la población.

Conclusiones

Es necesario eliminar el foco de contaminación ya que se determino que el sitio se encuentra altamente contaminado con BPC's superando por mucho las concentraciones aceptables incluso para suelos industriales. Es posible que la contaminación se haya extendido, no solo a los alrededores del sitio; incluso hasta Jojutla de Juárez y Zacatepec de Hidalgo a 8 y 12 Km de distancia y esto este generando problemas de salud en estos municipios.

Cabe la posibilidad de que la contaminación este siendo atenuada por los procesos naturales de biodegradación, por lo que es necesario comenzar la gestión para la bioremediación que mas convenga previos estudios de viabilidad costo-beneficio.

Agradecimientos

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus II; UNAM. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, CINVESTAV Ciudad de México; IPN.

Bibliografía

- Bernard A., et al. 2002. The Belgian PCB/Dioxin Incident: Analysis of the Food Chain Contamination and Health Risk Evaluation; *Environ. Res. Sect. A*, 88(1):1-18
- Colburn W.A., Mathew H.B.. 1979. Pharmacokinetics in the interpretation of chronic toxicity test: the last-in first-out phenomenon., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 48:387-395.
- Diaz-Barriga F., 1998. Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados, Cepis/OPS/GTZ.
- Dobson S., Van Esch G.J., 1993. Polychlorinated Biphenyl and Terphenyls., Environmental Health Criteria Series 140., Second Edition., *World Health Organization, Genova.*
- Erickson M.D., 1986. Analytical Chemistry of PCBs., *Ann Arbor Science Book, Butterworth Publisher, Boston, USA.*
- Furukawa K., 2000. Biochemical and Genetic of Microbial Degradation of Polychlorinated Biphenyls (PCBs); *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 46:283-296.
- INE-SEMARNAP. 1997. Programa de Gestión Ambiental de Sustancias Tóxicas de Atención Prioritaria; *Ed. Instituto Nacional de Ecología, p.p. 36.*
- Kimbrough R.D. 1980. Environmental Pollution of air, water and soil., Chapter 3 in Halogenated biphenyls, Terphenyls, Naphthalenes, Dibenzodioxins and related products., R.D. Kimbrough Ed., *Elsevier/North-Holland Biomedical Press, New York, pp.77-80.*
- Meijer S.N., et al. 2003. Global Distribution and Budget of PCBs and HCB in Background Surface Soils: Implications for Sources and Environmental Processes; *Environ. Sci. Technol.*, 37(4):667-672.
- Norma Oficial Mexicana NOM-133-ECOL-2000.
- Peña E. C., Carter E.D., Ayala-Fierro F. 2001. Evaluación de riesgos y restauración ambiental., Southwest Hazardous Waste Program., A Superfund Basic Research and Training Program At the College of Pharmacy., University of Arizona.
- Rzedowski, J. Calderón de R. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ecología, A. C. Pátzcuaro, Michoacán.
- Safe S., et al. 1987. Polychlorinated biphenyls (PCBs): mammalian and environmental toxicology., *Environmental Toxin Series., Spring-Verlag.*
- Strachan W.M.J. 1988. Polychlorinated biphenyls (PCBs) fate and effects in the canadian environment., prepared for Toxic Chemical steering Committee Canadian Council of the

- Resource and Environment Ministers., Conservation and Protection Environment Canada. *Environmental Protection Series Reports., Report EPS 4/HA/2.*
- Tanabe S. Kannan K., Wakimoto T., Tatsukawa R., 1983. Methods for the determination of three toxic non-orthochlorine substitute coplanar PCB in environmental samples at part-per-trillion levels., *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 29:199.
- Trujillo, J. P., Díaz P. E. 2002. Biodiversidad acuática del río Amacuzac, Morelos, México., Universidad Autónoma del Estado de Morelos., Centro de Investigaciones Biológicas.,
- U.S-EPA (United States Environmental Protection Agency), 1997. "Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessment, Interim Final", EPA-540-R-97 -006, OSWER 9285.7-25, PB97-9632-1-1 Superfund, Solid Waste and Emergency Response, Environmental Protection Agency, Washington DC.
- U.S-EPA (United States Environmental Protection Agency)1998. "Guidelines for Ecological Risk Assessment", EPA/630/R-95/002F Final, Published on May 14, 1998, Federal Register 63(93):26846-26924, Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
- U.S-EPA (United States Environmental Protection Agency) 1999. "Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities. Volumes 1, 2 and 3", EPA-D-99-001A, U.S.EPA Office of Solid Waste.
- U.S-EPA (United States Environmental Protection Agency)2000. "Ecological Soil Screening Guidance, Draft, Eco-SSL", Eco-SSI, Office of Emergency and Remediation Response, U.S. EPA, Washington DC.
- United Nations Environment Program (UNEP). 1994., "Risk Management of Contaminated Industrial Land" A Training Resource Package, Preliminary Edition.
- US-EPA. 1980. Ambient water quality criteria for polychlorinated biphenyls, Washington D.C. *Environmental Protection Agency*, pp.211.(EPA 440/5-80-068).
- US-EPA. 1980. Ambient water quality criteria for polychlorinated biphenyls, Washintong D.C. *Environmental Protection Agency*, pp.211.(EPA 440/5-80-068).