



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**Evaluación ambiental de un sitio contaminado
con Bifenilos Policlorados en el municipio de
Alpuyeca, Morelos.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A N :

**ANABEL RAMÍREZ RAMÍREZ
LUIS RODRIGO CASTRO PÁEZ**



DIRECTOR DE TESIS: DR. DANIEL HERNÁNDEZ CASTILLO

ASESOR INTERNO: DR. ARCADIO MONROY ATA

MÉXICO, D. F.

JUNIO DE 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

***A mis padres**

Esiquio Ramírez y María Esther Ramírez, por ser las personas más importantes en mi vida, por haberme brindado todo su amor, confianza, cariño, apoyo, esfuerzo y amistad; juntos logramos el gran sueño. Agradezco a la vida y a dios por darme una familia totalmente entregada, gracias por su paciencia los amo y admiro infinitamente.

***A mis hermanas**

Karla, Paty e Isabel, por ser mis compañeras y mis cómplices de toda la vida, por compartirme sus alegrías y tristezas, y por escucharme en todo momento, a cada una mil gracias.

***A mis sobrinos**

Leonardo, Carolina, Tete y Ricardo por traer alegría a mi vida, todo esto es para y por ustedes, gracias por quererme los amo.

***A Jesús Zamora**

Por estar en estos momentos conmigo, gracias por tu apoyo y paciencia, T.Q.M.

***A mi director de tesis**

Doctor Daniel Hernández Castillo, por darme la oportunidad de conocerlo, trabajar a su lado y compartirme todo su conocimiento; pero sobre todo gracias por su amistad y dedicación, toda mi admiración y respeto para usted.

***A mis profesores**

Biól. María de los Ángeles Galván Villanueva por su profesionalismo y entrega; por luchar contra todas las adversidades presentes en su vida, por sus aportaciones a mi trabajo y a mi vida, pero sobre todo mil gracias por compartirme un pedacito de su corazón y motivarme para ser cada día la mejor.

M. en C. Germán Calva por su lucha incansable para formar profesionistas de calidad, por su tiempo y consejos compartidos, gracias.

M. en C. Alberto Mendez por su amistad, dedicación a mi trabajo y ser parte de mi formación profesional.

***A Benny Moran**

Como agradecer una amistad como la tuya? Con palabras, con un buen chocolote o quizá unas papitas con chile. Simplemente muchas gracias por estar siempre dispuesto a compartir. Tu esencia es mi motivo de superación. Con mucho cariño para ti.

***A Alma Rosa**

Por todo lo compartido, por ser una niña sencillita y carismática, gracias por tu apoyo, amistad y cariño.

***A mis amig@s**

Carlos Daniel, Andres, Jose, Rosa, Jorge Alberto por todos los buenos y malos momentos compartidos y ser parte de vida académica.

A los niñ@s del laboratorio de contaminación atmosférica por siempre estar en condiciones de ayudar, pero sobre todo a Rebeca, tu apoyo y amistad en estos momentos ha sido muy importante para mi, gracias.

AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, instituciones a las cuales debo mi formación profesional.

*Al departamento de Biotecnología y Bioingeniería del CINVESTAV-IPN por haberme facilitado sus instalaciones para llevar a cabo la parte experimental del proyecto.

*A la Doctora Refugio Rodríguez Vázquez, por el apoyo, tiempo y espacio dedicado para la elaboración de esta tesis.

*A la Doctora Martha Gayoso y la Doctora Cecilia Izcapa por su paciencia, sugerencias y aportaciones para el mejoramiento de esta tesis. Y sobre todo por hacer grata mi estancia en su laboratorio, gracias.
Las recuerdo con cariño.

*A la Q.F.B. Elvira Rios y al auxiliar Cirino Rojas, por la ayuda para el uso del cromatografo.

*A mis Sinodales

Dr. Arcadio Monroy Ata

Dr. Daniel Hernández Castillo

Dra. Esther Matiana García Amador

M. en C. Lourdes Castillo Granada

Biól. Marisela Arteaga Mejía

Por sus comentarios y aportaciones para el mejoramiento de esta tesis.

CONTENIDO GENERAL

I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1 CRITERIOS PARA EVALUAR SITIOS CONTAMINADOS	4
3.1.1 Evaluación del sitio	4
3.1.2 Evaluación Preliminar del Sitio.....	4
3.1.3 Evaluación Detallada del Sitio	5
3.1.4 Revisión de Información Disponible.....	5
3.1.5 Trabajo de Campo	5
3.1.6 Evaluación de Datos	5
3.2 PLANEACIÓN DEL MUESTREO	6
3.2.1 Calidad de los Datos	6
3.2.2 Mecanismos de transporte.	7
3.2.3 Rutas de Migración.....	7
3.3 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO	8
3.3.1 Suelos	8
3.3.2 Agua superficial y sedimentos.....	9
3.3.3 Agua subterránea	9
3.3.5 Selección de los Sitios de Control.....	9
3.4 FUNDAMENTOS DE LOS CRITERIOS DE LIMPIEZA	10
3.4.1 Desarrollo de los criterios de limpieza	11
3.4.2 Destino y Transporte de Contaminantes.....	11
3.4.3 Evaluación del Riesgo	14
3.4.4 Manejo del Riesgo	15
3.5 EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA SALUD HUMANA	15
3.5.1 Identificación del peligro.....	15
3.5.2 Evaluación de la toxicidad (dosis-respuesta).....	16
3.5.3 Evaluación de la exposición	16
3.5.4 Caracterización del riesgo	16
3.6 EVALUACIÓN DEL RIESGO ESPECÍFICO PARA UN SITIO.....	16
3.6.1 Evaluación de la toxicidad.....	17
3.6.2 Evaluación de la exposición	17
3.6.3 Caracterización del riesgo	17
3.7 EVALUACIÓN DEL RIESGO ECOLÓGICO.....	18
3.7.1 Caracterización del receptor	18

3.7.2 Evaluación de la exposición	19
3.7.3 Caracterización del riesgo	19
3.8 INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LA EVALUACIÓN DEL RIESGO	20
3.9 CARACTERÍSTICAS DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS (BPC).....	21
3.9.1 Química de Bifenilos Policlorados	21
3.9.2 Producción y uso	21
3.9.3 Propiedades físico-químicas de BPC individuales	22
3.9.4 Efectos en salud y medio ambiente	23
3.9.5 Fuentes de contaminación por BPC	23
3.9.6 Efectos en animales	24
3.9.7 Concepto Factor de Toxicidad Equivalente (TEF).....	25
3.9.8 Carcinogenicidad	26
3.9.9 Mutagenicidad	26
3.9.10 Teratogenicidad	27
3.9.11 Efectos en plantas	28
3.9.12 Contaminación al ambiente	28
3.10 TRANSPORTE Y ACUMULACIÓN AMBIENTAL	28
3.10.1 Aire	29
3.10.2 Agua	29
3.10.3 Suelos y sedimentos	29
3.10.4 Bioacumulación	30
3.10.5 Contaminación de alimentos	30
3.12 PROCESAMIENTO DE BPC EN AGUA.....	31
3.13 PROCESAMIENTO DE BPC EN SUELOS Y SEDIMENTOS	31
3.14 PROCESAMIENTO DE BPC EN TEJIDOS ANIMALES	32
3.15 MÉTODOS DE DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN.....	32
3.16 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN	33
IV. LEGISLACION	38
V. ANTECEDENTES	39
VI. JUSTIFICACIÓN.....	40
VII. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	41
VIII. OBJETIVOS	42
8.1 Objetivo General	42
8.2 Objetivos Particulares.....	42
IX. HIPÓTESIS	43
X. METODOLOGÍA.....	44
10.1 ÁREA DE ESTUDIO	44

10.1.1 Ubicación geográfica.....	44
10.1.2 Orografía.....	46
10.1.3 Hidrología superficial y subterránea.....	46
10.1.4 Inundaciones.....	47
10.1.5 Clima.....	47
10.1.6 Geología.....	47
10.2 FACTORES BIÓTICOS.....	48
10.2.1 Fauna.....	48
10.2.2 Flora.....	49
10.2.3 CONTAMINACIÓN EN LA ZONA.....	50
10.3 CENTROS TURÍSTICOS.....	50
10.4 REGISTRO HISTÓRICO DE LA PROBLEMÁTICA DEL SITIO.....	50
10.5 Descripción del sitio contaminado.....	52
10.6 Recolección de muestras.....	53
10.7 Procesamiento de las muestras.....	55
10.8 Determinación del rendimiento de extracción del contaminante.....	55
10.9 Digestión, Secado, purificación y concentración.....	55
10.10 Extracción de muestras acuosas.....	55
10.11 Extracción de muestras en tejidos animales y vegetales.....	56
10.12 Soluciones de referencia.....	56
10.13 Caracterización física y química de suelo.....	56
10.14 Caracterización de la Biota.....	56
10.15 Análisis Estadístico de las Muestras.....	57
10.16 Verificación del Tamaño de la Premuestra.....	57
10.17 CARACTERIZACIÓN ANALÍTICA.....	57
10.18 ESTUDIO DE TAMAÑO DE LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN.....	58
10.19 ANÁLISIS DE RIESGO.....	59
10.19.1 Estimación del riesgo por grado de exposición.....	59
10.20 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	59
XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
11.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO.....	61
11.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	64
11.3 CALCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA.....	64
11.4 ANÁLISIS CUANTITATIVO.....	64
11.4.1 Cromatografía del estándar de Aroclor® 1254.....	64
11.4.2 Cuantificación de la concentración de BPC en la biota.....	72
11.5 ANÁLISIS CUALITATIVO.....	72

11.5.1 Identificación por cromatografía de gases/masas.....	72
11.6 ANÁLISIS DE RIESGO	74
11.7 VALORACIÓN DEL RIESGO	74
11.7.1 Tipo y concentración de contaminantes en los compartimientos ambientales	74
11.7.2 Características ambientales que afectan al destino y transporte de los contaminantes	74
11.7.3 Población potencialmente afectada	75
11.7.4 Biota potencialmente afectada.....	75
11.7.5 Características y efectos de los contaminantes.....	75
11.7.6 Movilidad de los contaminantes en el medio ambiente.....	77
11.8 VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	77
11.9 CALCULO DE DOSIS DE EXPOSICIÓN	79
11.9.1 Cálculo de la dosis de ingestión oral (I _o) de los bifenilos policlorados para los trabajadores expuestos adultos de la población expuesta.	80
11.9.3 Calculo de la ingestión media diaria por contacto dérmico (I _c) con bifenilos policlorados del suelo para los trabajadores del sitio estimando como promedio 8 años de trabajo:.....	81
11.10 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO	82
11.10.1 Valoración de la toxicidad.....	82
11.10.2 Determinación en cada medio los valores de toxicidad del contaminante:83	
11.10.3 Evaluación de incertidumbres	84
11.11 ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	84
XII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
XIII. BIBLIOGRAFÍA	91
XIV ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ejemplos de riesgos, receptores y rutas de exposición	14
Figura 2.- Etapas que componen las diferentes evaluaciones del riesgo	20
Figura 3.- Formula estructural y posiciones de sustitución del Cl de los BPC	21
Figura.-4 Ubicación geográfica del municipio de Xochitepec	45
Figura 5.- Microlocalización del área de estudio	45
Figura 6.- Carta de hidrología subterránea con zonas de permeabilidad alta y acuíferos perennes	46
Figura 7.- Puntos de muestreo dentro del sitio contaminado	54
Figura 8.- Recta de calibración de los congéneres de BPC utilizado como referencia	64
Fig. 9.- Cromatograma del estándar de Aroclor	65
Fig. 10.- Distribución de la pluma de contaminación del sitio	67
Fig11.- Perfil cromatográfico de los bifenilos policlorados encontrados en el foco de contaminación	68
Figura 12.- Valores de Concentración de BPC en el suelo de la Zona 1	69
Figura 13.- Valores de Concentración de BPC en el suelo de la Zona 2	70

INDÍCE DE TABLAS

Tabla 1.- Características específicas de un sitio	12
Tabla 2.- Composición molecular aproximada (%) y propiedades físicas selectivas de Aroclor	22
Tabla 3.-Valores de Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) para congéneres Coplanares, mono-orto y di-orto sustituidos	25
Tabla 4.- Concentración de BPC en animales	25
Tabla 5. Efectos y manifestaciones comunes de la exposición a los BPC en animales	27
Tabla 6. Niveles de contaminación por BPC en aire, agua, suelo y sedimentos	34
Tabla 7.- Datos demográficos del municipio de Alpuyeca Morelos.	44
Tabla 8.- Relación de las especies de especies acuáticas registradas en el río Amacuzac	48
Tabla 9.- Relación de las especies de Macrofitas registradas en el río Amacuzac	49
Tabla 10.- Caracterización físico-química del suelo proveniente del sitio de estudio	61
Tabla 11.-Conductividad hidráulica del suelo.	62
Tabla 12.- Análisis cualitativo del estándar de Aroclor®1254.	66
Tabla 13.- Tiempos de retención de los principales congéneres de BPC encontrados en las muestras ambientales del sitio.	71

Tabla 14.- Concentración total de BPC e isómeros identificados de cada una de las muestras del sitio contaminado	72
Tabla 15. Características de los contaminantes: Bifenilos Policlorados (BPC)	75
Tabla 16.- Comparación y Clasificación de Impactos Ecológicos	84
Tabla 17.- Especies vegetales del sitio de contaminación.	85
Tabla 18.- Estimación del grado de severidad de impacto.	86

I.RESUMEN

Los bifenilos policlorados (BPC) son un claro ejemplo de sustancias químicas sintéticas con propiedades que los hacen útiles para una amplia gama de aplicaciones y que posterior a su distribución y comercialización intensiva, se descubre que poseen características indeseables por las que se afecta adversamente la salud humana y el ambiente. Estas características indeseables han hecho necesario emprender acciones correctivas, para manejar y controlar su dispersión en el ambiente. Los BPC pertenecen a un grupo de sustancias consideradas de atención prioritaria y que por su situación nacional e internacional requieren de un cuidado especial para disminuir sus impactos negativos en el ambiente y en la salud humana.

En el presente trabajo se presenta la evaluación ambiental de un sitio contaminado con BPC en un terreno del municipio de Alpuyeca, Morelos; se determinó su impacto y riesgo ambiental mediante el monitoreo del agua, suelo, sedimentos así, como de flora y fauna asociada al sitio, con el fin de lograr el diagnóstico de la problemática ambiental. Se tomaron un total de 52 muestras las cuales fueron analizadas cualitativa y cuantitativamente por cromatografía de Gases Masas (GC/MS) y con Detector de Captura de Electrones (ECD). Las muestras de suelo y sedimentos arrojaron valores promedio de 6,578 y 4 mg/Kg. respectivamente. Valores que superan los límites máximos permisibles de 25 mg/Kg. de BPC para suelos industriales contaminados de la Norma Ecol-133-2000., mientras que para flora se obtuvo un valor de 2.3 mg/Kg., para fauna de 5.4mg/Kg. y para agua de 8.4 mg.L⁻¹.

Los resultados del análisis de riesgo, muestran valores de 2.2×10^{-1} mg/kg-día valores superiores al rango de 10^{-4} a 10^{-6} aceptable de la EPA para riesgos carcinogénicos es decir, los ciudadanos expuestos a los bifenilos policlorados por todas los medios y rutas estudiadas, enfrentan un peligro de contraer cáncer de 211 personas en una población de 1,000,000. 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.

Se propone la alternativa de realizar la excavación y eliminación de los capacitores del foco de contaminación y la remediación del suelo circundante mediante las técnicas mas adecuadas de biorremediación "in-situ".

II. INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de las sustancias y de los residuos peligrosos ha generado un problema de contaminación de suelos y cuerpos de agua, a nivel mundial. Este tipo de complicaciones en los compartimentos ambientales son provocados en su mayor parte por las malas prácticas y el abandono de residuos en sitios donde se llevan a cabo actividades industriales y comerciales. La contaminación del suelo, por ejemplo, representa en sí una carga ambiental, ya que ha provocado un deterioro creciente de la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable (superficiales o subterráneas), la salud humana y a otras especies. (Díaz-Barriga, 1998).

Los bifenilos policlorados, comúnmente conocidos como BPC o PCB (*Polychlorinated Biphenyls*), son hidrocarburos aromáticos clorados con fórmula general condensada $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$. Son una familia de compuestos sintetizados comercialmente por cloración directa del bifenilo utilizando cloruro férrico y/o yodo como catalizador. Se conocen 209 diferentes moléculas de BPC, denominadas “congéneres” y 130 mezclas comerciales distintas. Debido a sus principales propiedades fisicoquímicas tales como, su baja presión de vapor, baja solubilidad en agua, estabilidad a la oxidación, resistencia al fuego y baja reactividad fueron utilizados como fluidos de transferencia de calor, fluidos hidráulicos, plastificantes, disolventes y fluidos dieléctricos en balastras, capacitores y transformadores.

Sus excelentes propiedades de uso industrial fue criterio para considerarlo uno de los contaminantes xenobióticos más difundidos en el ambiente y de más alto riesgo ya que sus características fisicoquímicas, están estrechamente relacionadas con su grado de toxicidad y los mecanismos fisiológicos de eliminación en los organismos (Hernández, 1999). El uso de BPC fue restringido en los países industrializados, a finales de los setentas, y a partir de ello, su liberación al ambiente ha disminuido. No obstante, los BPC más clorados, que son los más tóxicos, tienden a permanecer mayor tiempo en el ambiente (Rieger *et al.* 2002).

Dentro de las principales fuentes de generación de BPC se encuentran todas las industrias que en el pasado utilizaron estos compuestos como fluidos dieléctricos en transformadores, balastras y capacitores. Se ha estimado que durante 50 años fueron producidos aproximadamente 680,000 Ton de BPC de las cuales, 300,000 Ton residen en la biosfera como contaminantes del suelo, aire, ríos y acumulados en animales de vida silvestre, tienen un gran impacto ambiental debido a su estabilidad y liposolubilidad. (Kimbrough, 1980). El resto permanece en almacenes con poca seguridad y sin ningún tratamiento para su disposición final, lo que provoca frecuentemente grandes problemas de contaminación de suelos, arroyos, ríos, lagos, y mantos freáticos.

Los BPC causan daños cromosomales, teratogénicos y mortalidad embrionaria en aves y mamíferos, producen también efectos en la piel como el "cloroacne" (lesiones dérmicas severas) y síntomas de degeneración neurológica e inmunológica (Hernández, 1999). Los estudios de exposición en animales a estos contaminantes han demostrado la incidencia de cáncer por lo que la US-EPA les ha dado las clasificaciones B2 de posibles cancerígenas para el humano. Debido a sus efectos tóxicos, el Programa Ambiental de Naciones Unidas incluyó a los BPC dentro de la lista de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) al considerarlo una sustancia altamente peligrosa. A su vez, 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).

Los BPC son contaminantes ubicuos y sus niveles generalmente se incrementa en los niveles tróficos (Bernard *et al.* 2002). La distribución global de BPC sugiere que estos compuestos se pueden dispersar a través del suelo, agua y sedimentos, pero en aire es diez veces menor (Puri *et al.* 1997). Sus concentraciones en el ambiente varían debido a los procesos de transformación química, física y biológica (Gramática *et al.* 2001).

Para llevar a cabo una gestión ambientalmente adecuada de sitios contaminados, es necesario enfatizar sus posibles efectos y realizar un profundo análisis de costo-beneficio con el objetivo de evaluar, mejorar los programas y acciones de remediación, propiciando con ello el desarrollo de investigación, equipos e instalaciones para su tratamiento y aunque, actualmente la disponibilidad de tales tecnologías ha mejorado, existen aún deficiencias muy importantes; por lo cual, es necesario seguir realizando investigación y afrontar los costos del proceso de remediación para evitar la contaminación del medio ambiente (Hernández, 1999).

III. MARCO TEÓRICO

3.1 CRITERIOS PARA EVALUAR SITIOS CONTAMINADOS

Para evaluar un sitio contaminado y establecer la necesidad de restaurarlo, es necesario coleccionar, clasificar y evaluar datos sobre el sitio y obtener muestras de los diferentes medios comprendidos (suelo, agua, aire y sedimentos). Se requiere de la planeación de actividades adecuadas para cumplir con los objetivos de estudio. (Izcapa, 2001).

3.1.1 Evaluación del sitio

La evaluación de un sitio, se puede definir como la secuencia planeada y organizada de actividades llevadas a cabo para determinar la naturaleza y distribución de contaminantes sobre y de bajo de la superficie del suelo que se ha identificado como potencialmente contaminado (Hobson, D. M, 1993). La evaluación del sitio, es un término ampliamente usado y frecuentemente se emplea para describir la exploración física del sitio. El propósito de la evaluación de un sitio consiste en:

- ♦ Determinar si existe o no liberación de sustancias peligrosas al ambiente, personas o instalaciones.
- ♦ Identificar y establecer la distribución y concentración de los contaminantes presentes.
- ♦ Desarrollar el programa de restauración del sitio.

El proceso de evaluación del sitio, inicia con su descubrimiento o con la notificación a la dependencia oficial correspondiente, de la posible liberación de sustancias peligrosas. Todos los lugares se deben anotar en un inventario de sitios potencialmente peligrosos para tener un control de los reportes. Después se deben evaluar por medio de una investigación en dos etapas: la evaluación preliminar y la detallada (Izcapa, 2001).

3.1.2 Evaluación Preliminar del Sitio

Es el proceso sistemático de análisis de la información, mapas y documentos existentes proporcionados por individuos usuarios o radicados en el sitio o tomados de archivos, para determinar si una propiedad puede o esta sujeta a contaminación, para determinar la naturaleza y localización de la posible contaminación. Esta fase no involucra muestreo ni análisis y consta de dos partes: el estudio de documentación y el reconocimiento del sitio (MOEE, 1995 y EPA/540, 1997).

3.1.3 Evaluación Detallada del Sitio

Una evaluación detallada debe caracterizar el tipo y extensión de la contaminación en el lugar o confirmar que el contaminante que se sospechaba no está presente. Esta etapa, involucra la colección de nueva información por medio de observación visual y muestreo con el propósito de identificar las unidades e instalaciones que no tienen problemas, coleccionar evidencias de la liberación de los contaminantes, establecer prioridades en las instalaciones para su investigación posterior, e identificar el objetivo de acciones correctivas inmediatas o investigación de restauración subsecuente. (Izcapa, 2001).

3.1.4 Revisión de Información Disponible

Antes de desarrollar los planes de la evaluación detallada, se debe revisar los resultados obtenidos a partir de investigaciones previas, particularmente de datos analíticos. Estos datos pueden ayudar a guiar el muestreo adicional, probar las hipótesis sobre el sitio y evaluar amenazas de contaminación.

Después de evaluar los resultados previos y toda la información pertinente, se deben preparar cuatro planes claros y concisos para documentar los procedimientos de la evaluación detallada del sitio y de esta manera, asegurar que las actividades proceden segura y eficientemente, deben elaborarse antes de empezar las acciones de campo, estos planes son: de trabajo, de muestreo, de higiene, seguridad y de manejo de los residuos generados durante la investigación (EPA/540, 1997).

3.1.5 Trabajo de Campo

El trabajo de campo involucra el reconocimiento del sitio, las observaciones en campo y el muestreo de los diferentes medios. Las actividades típicas que incluye el trabajo de campo son:

- Ubicar exactamente los puntos de muestreo.
- Localización y medición de distancias a los receptores.
- Ubicación de poblaciones cercanas al sitio.
- Colección de muestras de materiales y contaminantes presentes en el lugar.
- Muestreo de suelo, agua superficial y subterránea, vapores y sedimentos.
- Empacar y enviar las muestras al laboratorio para su análisis.
- Análisis geomagnéticos o geofísicos o equivalentes (EPA/540, 1997)

3.1.6 Evaluación de Datos

Se debe reunir y resumir todos los datos para evaluarlos. Los resultados de las muestras deben permitir evaluar las características del sitio y de la fuente, la

presencia de contaminación en diferentes medios (agua superficial, agua subterránea, aire y suelo) así como los receptores actuales o potencialmente expuestos a la contaminación.

También se debe preparar un reporte de los hallazgos más significativos incluyendo la naturaleza y la historia del manejo de los residuos en el sitio, las sustancias peligrosas detectadas, las rutas de migración de las mismas y el impacto sobre los seres humanos y el ambiente (EPA/540, 1997).

Los datos colectados durante la evaluación detallada se deben comparar con criterios o valores establecidos como máximos permisibles para suelo, sedimento, agua superficial y subterránea. Esta comparación proporcionará una indicación inicial de si existe contaminación en el sitio y el grado de restauración requerido (MOEE, 1995).

3.2 PLANEACIÓN DEL MUESTREO

El plan de muestreo generalmente se prepara junto con un plan de seguridad y el plan de aseguramiento de la calidad, QA.

Un plan de muestreo correctamente preparado e implementado permite cumplir con los objetivos del muestreo, ayuda a evitar errores y confusión en el campo, preserva la salud y la seguridad de los trabajadores, ahorra tiempo y dinero.

Cuando el muestreo es limitado, se incrementa la probabilidad de falsos negativos en las muestras. "Falso negativo" significa que una sustancia peligrosa está presente pero no se detecta, esto subraya la importancia de un plan de muestreo bien diseñado, ya que si se elaboran conclusiones en base a ellos se pueden tomar decisiones que no protegen la salud humana y el ambiente. Las muestras de falsos positivos también son indeseables, "Falso positivo" es cuando una sustancia se detecta pero no está presente en el sitio, debido a errores en procedimientos analíticos, y no por el tipo de muestreo (EPA/540, 1997).

3.2.1 Calidad de los Datos

Los objetivos de calidad de los datos OCD, son un aspecto importante para el QA del proceso completo, desde la colección y análisis de muestras hasta el procesamiento y reporte de los datos. Estos objetivos son estatutos que proporcionan definiciones críticas de la confianza requerida para llegar a conclusiones a partir de todos los datos del proyecto y determinarán el grado de variabilidad total (incertidumbre o error) que puede tolerarse. Los límites de variabilidad deben incorporarse dentro del plan de muestreo y análisis. Los OCD y de las mediciones (precisión y exactitud) difieren en que los primeros son límites para la incertidumbre total de los resultados y los segundos son sólo límites para la incertidumbre de mediciones específicas.

Los OCD son el grupo de restricciones necesarias para diseñar un estudio. Deben compararse contra los costos de muestreo y análisis para establecer principios más realistas. El costo de muestreo está influenciado por tres factores: la localización del sitio y la accesibilidad a los puntos de muestreo; el número, tipo, complejidad y tamaño de las muestras a coleccionar; y la frecuencia del muestreo. El grado en el cual influyen el costo estos factores depende de los aspectos particulares de cada proyecto de muestreo (CCME, 1993).

3.2.2 Mecanismos de transporte.

Los mecanismos de transporte pueden simplificarse en cuatro categorías básicas:

1. Emisión: la liberación o descarga de material contaminado desde una fuente.
2. Advección o convección: la migración normal o el movimiento del contaminante a través del medio (por ejemplo, la corriente de un arroyo, el flujo de aire, la erosión del suelo, arrastre de suelo por corrientes superficiales, etc.).
3. Dispersión: distribución de contaminantes en un líquido, gas o fase sólida debida a la colisión con el material.
4. Atenuación: la degradación, adsorción o retraso del transporte de un contaminante.

Además de los mecanismos de transporte, existen factores físicos y biológicos que también pueden afectar la migración de los contaminantes. Los primeros incluyen, rasgos topográficos (valles, montañas, pendientes, lagos y ríos) y rasgos geológicos (acuíferos, composición del suelo y composición mineral) que favorecen o impiden la migración de los contaminantes. Los factores biológicos, generalmente consisten en rutas alimenticias. La bioacumulación de contaminantes ambientales desde bajas concentraciones en agua, aire y suelo hasta concentraciones más altas a través de las rutas alimenticias de plantas y animales debe considerarse cuidadosamente cuando se muestrea la biota en sitios contaminados.

3.2.3 Rutas de Migración

Las rutas de migración son aquéllas por las cuales los contaminantes se mueven o pueden moverse fuera de la fuente de contaminación. Las características físicas del suelo, las condiciones meteorológicas, la cantidad y concentración del contaminante presente, la fuente de descarga y la intervención humana afectan la ruta y el destino de la migración.

Las principales rutas de transporte para contaminantes ambientales son: viento, lluvia, agua superficial, agua subterránea y las actividades humanas, tales como tránsito vehicular y peatonal, tuberías de agua residual, drenaje y caminos, todo esto provoca que los contaminantes se muevan fuera del área de la fuente.

- Rutas hechas por el hombre. Se encuentran presentes en zonas rurales y/o urbanas y consisten en drenaje sanitario y de lluvia, alcantarillas de drenaje, sistemas de canal de desagüe y caminos.
- Agua superficial. Los contaminantes pueden adsorberse dentro de sedimentos finos, disolverse en agua de desagüe superficial o moverse por lixiviados y ser llevados rápidamente por desagüe superficial dentro de zanjas de drenaje, corrientes, ríos, estanques, lagos y tierras húmedas. Cuando se elabora el plan de muestreo de suelo se deben considerar primero las rutas de drenaje superficial.
- Transporte en la zona vadosa. El transporte en la zona vadosa es el movimiento vertical u horizontal del agua y los contaminantes dentro de la zona no saturada del perfil del suelo. Los contaminantes a partir de una fuente superficial o subterránea se pueden percolar a través de la zona vadosa y absorberse dentro del suelo subsuperficial o llegar hasta el agua subterránea y moverse a través de ella.
- Dispersión por viento. Los contaminantes adsorbidos en el suelo pueden migrar desde un sitio con residuos debido al transporte de las partículas por el aire. Dependiendo de su tamaño de partícula y de las velocidades de sedimentación, se pueden depositar viento abajo o permanecer suspendidas, lo que produce contaminación de los suelos superficiales y/o exposición de las poblaciones cercanas. El viento también puede dispersar las sustancias químicas que están en el aire como resultado de la volatilización.
- Actividad humana. El tránsito vehicular y peatonal de los trabajadores de las instalaciones y el personal de muestreo también pueden mover contaminantes fuera de la fuente, aunque en general estas son fuentes menores de migración.
- Durante el diseño del esquema de muestreo representativo es importante incorporar las rutas de migración de contaminantes y los mecanismos de transporte para producir buenos planes de muestreo.

3.3 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

3.3.1 Suelos

El muestreo debe llevarse a cabo en todas las áreas potencialmente contaminadas que se identificaron durante el reconocimiento del sitio, estableciendo un número suficiente de puntos de muestreo para delinear claramente cada una de estas áreas, para esto también se necesita muestrear en áreas donde no se sospecha contaminación. La profundidad del muestreo dependerá de la naturaleza de la fuente (subterránea o superficial), la estratigrafía del suelo y textura (arena o arcilla) y el tipo de contaminante (móvil o no móvil), pero el muestreo debe extenderse más allá de la zona contaminada (OMEE, 1994).

3.3.2 Agua superficial y sedimentos.

En lugares donde existen cuerpos de agua superficiales, los puntos de muestreo de sedimentos y agua se deben establecer corriente arriba y abajo en los límites de la propiedad. La localización del muestreo de sedimentos también se debe establecer inmediatamente corriente abajo de cualquier descarga de fuente puntual de la propiedad, dentro de lagunas de tratamiento de aguas residuales, lagunas y canales que reciben agua de lluvia y agua de desagüe de la propiedad.

3.3.3 Agua subterránea

Se debe establecer un mínimo de pozos de monitoreo de agua subterránea para cada área de fuente potencial de contaminación, agua arriba y abajo con respecto a la dirección preferencial de flujo.

3.3.4 Vapores

El monitoreo de vapor es necesario sólo cuando se sospecha que están presentes componentes volátiles.

Éstos son sólo requerimientos mínimos propuestos, ya que cada sitio es único y en muchos casos puede requerirse muestreo adicional para determinar apropiadamente la presencia y el grado de contaminación.

3.3.5 Selección de los Sitios de Control

Los sitios de control son importantes porque sirven para demostrar si está contaminado y/o tiene concentraciones de contaminantes diferentes a las concentraciones naturales (o niveles de fondo). Se deben seleccionar con características comunes a las áreas contaminadas.

Las muestras tomadas en los sitios de control se deben coleccionar y analizar bajo las mismas condiciones de las muestras para el estudio del lugar, para que la concentración de los contaminantes de interés y los efectos de la matriz sobre los análisis se puedan estimar con un grado aceptable de certidumbre. La excepción en la colección de muestras para determinar condiciones naturales es cuando se tienen contenedores o tambores con materiales potencialmente peligrosos; sin embargo, si se sospecha que las sustancias químicas están contaminando el suelo, agua o el aire alrededor de ellos, entonces deben tomarse muestras para analizar condiciones naturales de cada una de estas matrices (CCME, 1993).

3.4 FUNDAMENTOS DE LOS CRITERIOS DE LIMPIEZA

Existen dos tendencias generales para establecer criterios o estándares de limpieza para sitios contaminados con materiales peligrosos:

- Estándares iguales para todos los estados de un país, es decir límites numéricos de concentración uniformes, o
- Estándares específicos del sitio basados en evaluaciones del riesgo a la salud y ecológico, factibilidad técnica y costo.

Si un país no cuenta con una estrategia de toma de decisiones consistente para determinar cuál propuesta se debe usar para establecer estándares de limpieza para sitios contaminados, el resultado es el requerimiento de limpieza estricto o poco protector en algunos sitios y el desarrollo de estándares ineficientes en otros (Booth y Jacobson, 1992).

Los estándares de limpieza uniformes son recomendables, porque pueden evitar la necesidad de realizar análisis específicos del sitio que son costosos, tales como evaluaciones del riesgo a la salud humana. Además, proporcionan un alto grado de consistencia y predicción para los administradores del sitio. Sin embargo, existe el riesgo de que los estándares de limpieza uniformes se apliquen inadecuadamente dando por resultado acciones de limpieza que no protegen lo suficiente o son sobreprotectoras. La aplicación generalizada de criterios de limpieza uniformes puede tender a que éstos se vuelvan inflexibles a modificaciones basadas en avances en la ciencia o en las tecnologías de limpieza (Booth y Jacobson, 1992).

Los estándares de limpieza específicos de un sitio, en algunas situaciones son recomendables porque están hechos a la medida para responder a los requerimientos y condiciones únicos del sitio específico. Estos estándares, por ejemplo pueden ser apropiados para un sitio donde están expuestos al riesgo un gran número de receptores tales como plantas, animales y seres humanos por la presencia de contaminantes en varios ambientes. Sin embargo, debido a que los estándares de limpieza específicos del sitio se desarrollan usando complejas evaluaciones de factibilidad técnica y del riesgo a la salud humana y ecológico, los costos para desarrollarlos pueden ser excesivos y requerirse mucho tiempo; además, frecuentemente no existen guías apropiadas para determinar los tipos y alcances de los análisis necesarios para evaluar los estándares específicos del sitio.

En muchos casos, la variación en los estándares de limpieza se puede atribuir a diferencias en sus objetivos, a las condiciones específicas del sitio tal como uso futuro del suelo y sensibilidad de los receptores primarios. Los estándares de limpieza basados sólo en las evaluaciones de riesgo a la salud humana no son protectores del ambiente porque hay diferencias entre la toxicidad humana y ecológica además de existir diferencias en las rutas de exposición (Booth y Jacobson, 1992).

Los criterios o estándares de limpieza se desarrollan para cumplir con los siguientes objetivos:

- Llevar a cabo la restauración de sitios contaminados a niveles que protejan la salud humana y el ambiente natural contra el potencial de efectos adversos.
- Proteger a la salud humana y el ambiente natural en base a criterios de calidad, considerando los efectos adversos de los contaminantes en suelo, agua y sedimentos (OMEE, 1994).

La determinación de los efectos adversos se basa en los impactos potenciales sobre receptores para diferentes usos de suelo, la frecuencia e intensidad de la exposición a través de las principales rutas (inhalación, ingestión y contacto dérmico); y en las características físicas y químicas que afectan el transporte y destino de contaminantes en el ambiente. Los estándares para el suelo se basan en la evaluación del riesgo a la salud humana debido a la exposición directa e indirecta con el suelo por contacto dérmico, ingestión o inhalación. Esta evaluación del riesgo se determina con base en escenarios de exposición fundamentados en frecuencia, duración e intensidad de la exposición para niños y adultos. Bajo cada escenario de exposición, la concentración límite de un contaminante en suelo se calcula usando la más sensible de las diferentes situaciones receptor/exposición (OMEE, 1994).

Para calcular los estándares de limpieza con base en el riesgo, se necesita información sobre toxicidad, dosis-respuesta y exposición, y datos de constantes físicas y químicas de los contaminantes. La información sobre dosis-respuesta necesaria para desarrollar los estándares se refiere a la toxicidad asociada con los efectos (no carcinogénicos) límites en la salud, la toxicidad respecto a carcinogenicidad a partir de estudios epidemiológicos humanos o de estudios en animales de laboratorio y los factores de absorción relativa, usados para relacionar los valores de toxicidad de la literatura con las rutas de exposición de interés.

Los valores de Dosis de Referencia Oral (RfD,) y Concentraciones de Referencia de Inhalación (RfC), se pueden obtener de la base de datos del Sistema de Información de Riesgo Integrado (IRIS), de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) y de las Tablas Resumen de la Evaluación de Riesgos a la Salud (HEAST) de la US-EPA (OMEE, 1994).

3.4.1 Desarrollo de los criterios de limpieza

En el procedimiento para determinar los criterios de limpieza o concentraciones aceptables de contaminantes, con base en el riesgo que representan para la salud humana y el ambiente se deben tomar dos consideraciones: el destino y transporte de los contaminantes, y la evaluación del riesgo.

3.4.2 Destino y Transporte de Contaminantes

El destino y transporte se usa para predecir el movimiento de los contaminantes entre los diferentes medios, (suelo, sedimentos, aire, biota, agua superficial y subterránea); se basan en las características específicas del sitio y las propiedades fisicoquímicas del contaminante, tales propiedades incluyen: concentración, solubilidad en agua, presión de vapor, concentración de vapor saturado, calor latente de vaporización, coeficiente de difusión, peso molecular, constante de la ley de Henry, constante de disociación, punto de ebullición, punto de fusión, estado de oxidación, rapidez de biodegradación, coeficiente de distribución, factor de bioconcentración y solubilidad en fase no acuosa.

Las características específicas del sitio se refieren a las del ambiente actual en el cual existe la contaminación y aquél al que pueden migrar los contaminantes debido a varios mecanismos de transporte. Tales características se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Características específicas de un sitio (Izcapa 2001)

Condiciones meteorológicas	temperatura velocidad del viento humedad precipitación
Propiedades del suelo en la zona no saturada	tipo de suelo porosidad densidad contenido de agua contenido de arcilla contenido de materia orgánica pH del suelo capacidad de intercambio catiónico espesor del lecho de roca y/o agua subterránea tipo de roca firme y propiedades del suelo en la zona saturada
Condiciones geológicas/hidrogeológicas	presencia de acuíferos confinados y/o no confinados conductividad hidráulica gradiente hidráulico porosidad efectiva espesor del acuífero rapidez de recarga
Topología/topografía del sitio	gradientes y contornos superficiales proximidad de cuerpos de agua superficiales y tipo y cantidad de vegetación
Características del agua superficial	tipo de cuerpos de agua superficial dimensiones del cuerpo rapidez de flujo del agua superficial
Características del sedimento	contenido de materia orgánica tamaño de partícula volumen o cantidad de sedimento
Características de la biota	proximidad al sitio factores de bioconcentración posición en la cadena alimenticia

Las características específicas del sitio y del contaminante son necesarias para predecir, mediante modelación, el transporte y destino del contaminante en el ambiente. Rara vez se utilizan todas, generalmente depende del número de mecanismos de transporte que se consideran y/o de la complejidad del modelo utilizado, conforme estos dos factores aumentan, el número de características se incrementa. Y a la inversa, si el número de mecanismos de transporte que se está considerando es más pequeño y el modelo de transporte se vuelve más simple, el número de características también disminuye.

Para modelar los escenarios de exposición potencial se usan suposiciones conservadoras a través de todo el proceso para representar las situaciones del peor caso probable. El proceso de modelación es un proceso iterativo que consiste básicamente en los siguientes tres pasos:

- Definir el nivel de detalle de la modelación requerido para cumplir con los objetivos del estudio. En este paso, se establecen las preguntas a las que debe responder el modelo.
- Evaluar la capacidad del modelo matemático para simular el transporte y destino del contaminante en el sitio específico. Generalmente se selecciona el más simple que pueda satisfacer los objetivos del estudio. Para reducir la incertidumbre asociada al modelo deben usarse datos validados y calibrados.
- Revisar los resultados obtenidos de la modelación para dar por concluido el estudio cuando se responde a las cuestiones establecidas en el primer punto (Stephanatos, 1991).

3.4.3 Evaluación del Riesgo

Consiste en la evaluación técnica y científica de la naturaleza y magnitud del riesgo aplicando criterios objetivos para definir los efectos en la salud debido a la exposición de individuos o poblaciones a contaminantes y situaciones peligrosas. El riesgo se define como la probabilidad de que un evento adverso ocurra. Se puede describir con la siguiente expresión:

$$\text{Riesgo} = [\text{Severidad del evento (peligro)}] \times [\text{Exposición}]$$

La evaluación del riesgo a la salud humana debido a la exposición a un contaminante es la aparición o no de cáncer y ambas situaciones deben analizarse. La calidad de la evaluación depende en gran medida de la calidad de la información toxicológica, sobre exposición y de los profesionales que la llevan a cabo, tomando en consideración que la incertidumbre está inherente en el proceso de evaluación (Muller y Marsh, 1994). En la figura. 1 se presentan los ejemplos de riesgos, receptores y rutas de exposición

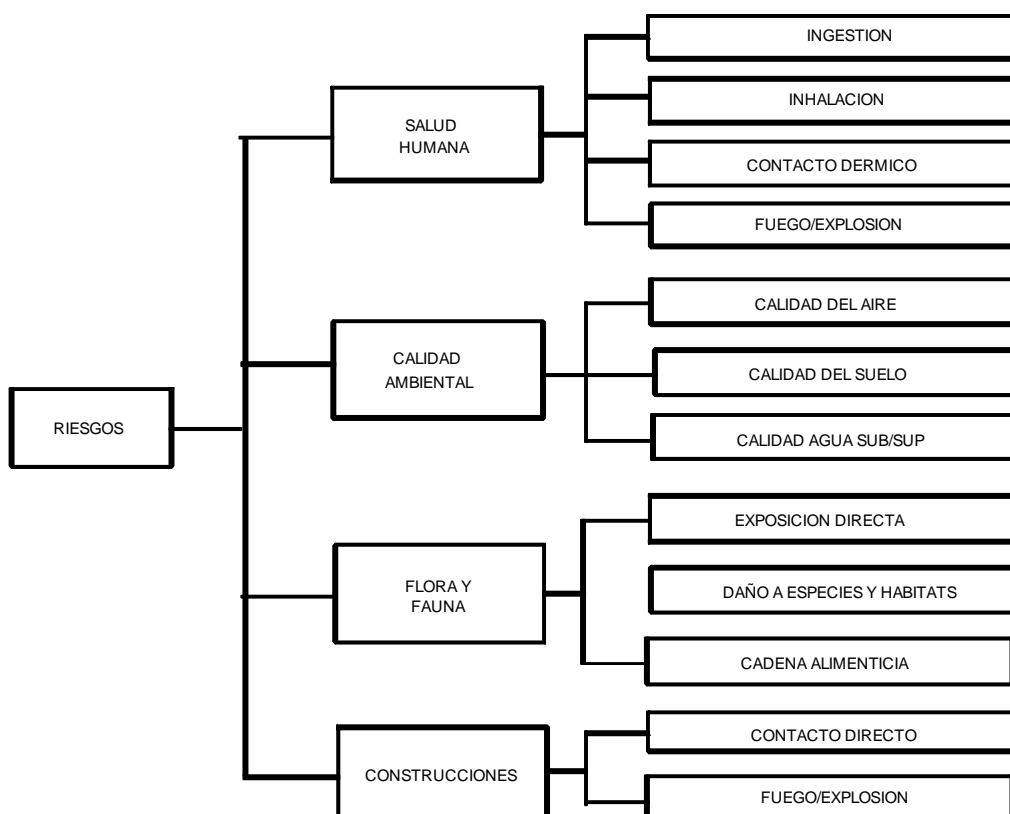


Figura 1.- Ejemplos de riesgos, receptores y rutas de exposición (UNEP, 1994)

3.4.4 Manejo del Riesgo

Es un proceso mediante el cual se desarrollan y establecen las estrategias para controlar, mitigar o manejar el riesgo. Se comparan los méritos de una alternativa con los de otras y se selecciona la más apropiada para su aplicación. Integra los resultados obtenidos a partir de la evaluación del riesgo, con información sobre aspectos técnicos, socioeconómicos, políticos, y las acciones de control para tomar una decisión (Muller y Marsh, 1994).

El desarrollo de alternativas, su evaluación con base en sus efectos sobre la salud y a sus impactos en factores socioeconómicos, técnicos y legales, y la comparación entre alternativas constituyen un proceso iterativo. Es esencial separar claramente la evaluación del riesgo de su manejo. Se pueden considerar dos tipos básicos de decisiones que se toman dentro del manejo del riesgo (MOEE, 1995):

- Las decisiones que producen un ajuste o modificación del criterio de limpieza con base en los factores específicos del sitio. Estas modificaciones pueden obtenerse por ejemplo, haciendo ajustes a los diferentes modelos de transporte en suelo, aire y/o agua subterránea, o por modificaciones debido a las características hidrogeológicas suelo/agua subterránea, y
- Las decisiones que involucran el uso de mecanismos para reducir, eliminar o bloquear las rutas de exposición. Estas decisiones involucran por ejemplo, la limitación del uso del suelo, limitar el acceso al sitio a ciertos receptores u otras medidas para minimizar el movimiento de contaminantes.

El manejo del riesgo debe considerar la fuente, naturaleza y las medidas de control usadas para eliminar o reducir el efecto adverso a niveles aceptables. (MOEE, 1995).

3.5 EVALUACIÓN DEL RIESGO A LA SALUD HUMANA

Es una evaluación científica de la probabilidad de consecuencias adversas a la población humana debido a perturbaciones en el ambiente. Usa herramientas científicas, estadísticas y de modelación para analizar información relativa al riesgo. Los métodos utilizados tienen que ser biológicamente significativos (Muller y Marsh, 1994). Los cuatro elementos principales que deben considerarse en la evaluación del riesgo a la salud son: identificación del peligro, evaluación de la toxicidad, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo.

3.5.1 Identificación del peligro

Consiste en determinar si un contaminante ambiental particular está presente o es probable que lo esté e identificar sus efectos adversos, tal como efectos

físicos y químicos (persistencia, bioacumulación), toxicológicos (cancerígenos, mutagénicos) y de salud (enfermedades). Inicialmente, los peligros, rutas de migración y receptores asociados se identifican a través de la investigación preliminar, para definir las condiciones específicas del sitio se usan los datos de la evaluación detallada.

3.5.2 Evaluación de la toxicidad (dosis-respuesta)

Consiste en la determinación de la relación cuantitativa entre la magnitud de exposición y la probabilidad de ocurrencia de un efecto adverso particular, así como las incertidumbres asociadas con la determinación.

3.5.3 Evaluación de la exposición

Es la determinación o estimación de la magnitud, frecuencia, duración y rutas de exposición de los contaminantes y la evaluación de las incertidumbres asociadas con la determinación.

3.5.4 Caracterización del riesgo

Integra los resultados de las evaluaciones de exposición y de toxicidad para describir la naturaleza y magnitud del riesgo a partir de cada ruta de exposición, la población y la subpoblación expuesta al mayor riesgo y las incertidumbres asociadas con el análisis global.

3.6 EVALUACIÓN DEL RIESGO ESPECÍFICO PARA UN SITIO

Consiste en evaluar la probabilidad de consecuencias adversas a la salud causadas por la presencia de una sustancia en un sitio dado. Tiene en consideración que muchos contaminantes pueden estar presentes simultáneamente en varios medios tal como agua, aire, suelo y alimentos, y que alcanzan a los receptores a través de múltiples rutas de exposición (Muller y Marsh, 1994).

El primer paso en la caracterización del riesgo para un sitio es determinar qué poblaciones receptoras están presentes en o cerca del sitio y después determinar el riesgo asociado con la presencia de los contaminantes en los receptores identificados. El riesgo se estima en tres pasos principales: evaluación de la toxicidad, evaluación de la exposición y caracterización del riesgo.

3.6.1 Evaluación de la toxicidad

La evaluación de la toxicidad determina cuáles son los efectos adversos potenciales sobre los receptores asociados con la exposición al contaminante (identificación del peligro) y cuál es la relación entre la magnitud a partir de diferentes rutas de exposición y la probabilidad de que ocurran estos efectos adversos en los receptores (evaluación dosis-respuesta). Para esto, se analiza una amplia gama de información que comprende estudios epidemiológicos humanos, estudios de toxicidad animal y otros datos de soporte que incluyen estudios metabólicos y farmacocinéticas, cultivos de células y estudios con microorganismos. La evaluación dosis-respuesta involucra otras consideraciones, como es un conjunto de datos apropiados para usarse en la extrapolación de una especie a otras y la extrapolación de dosis altas a bajas. La relación dosis-respuesta es una de las piezas clave en la información necesaria para determinar los criterios de limpieza del contaminante en suelo.

3.6.2 Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición responde a tres aspectos básicos: cuáles son las rutas de exposición (ingestión, inhalación, contacto directo) por las cuales los receptores están potencialmente expuestos, cuál es la frecuencia y duración de la exposición actual y/o potencial, y cuál es la magnitud de esta exposición.

Se deben desarrollar estimaciones de exposición máximas y promedio para poblaciones relevantes con base en suposiciones de uso de suelo actual y futuro. Se tienen que identificar las poblaciones expuestas. Para estos escenarios de uso de suelo, se identifican las rutas potenciales de exposición de todos los medios y se estima la concentración en el punto de exposición para las rutas específicas. La evaluación de la exposición y de la toxicidad generalmente requiere el uso de modelos para describir las relaciones peligro/ruta/receptor, tal como modelos de transporte, destino ambiental y modelos dosis/respuesta alta/baja. Los modelos, pueden ser simples o complejos pero es esencial asegurar que son representativos de la situación que se evalúa y que cualquier suposición que se usa es válida.

Los datos colectados durante la evaluación de la toxicidad y de la exposición, se combinan para estimar las dosis probables de que reciba un receptor bajo condiciones de exposición definidas (UNEP, 1994).

3.6.3 Caracterización del riesgo

La última etapa es la caracterización del riesgo, en ella se integra la información de la evaluación, exposición y toxicidad. Se determina si los niveles de contaminación actuales o futuros en el sitio son de interés potencial,

comparando la información de la toxicidad de una sustancia química específica contra los niveles de exposición medidos y los niveles calculados con modelos de transporte y destino (Muller y Marsh, 1994). Los valores de exposición y toxicidad se comparan con valores de referencia para obtener una medida de la probabilidad de que el daño ocurrirá (UNEP, 1994). Existen varias fuentes de información sobre criterios de referencia para diferentes tipos de riesgos entre los que destacan: Dosis de Referencia Crónica (RfD), Cáncer Slope Factors (CSFs), y la International Register of Potentially Toxic Chemicals, Environmental Quality Standards. La estimación del riesgo específico para un sitio será requerida cuando no están disponibles criterios de limpieza genéricos para los contaminantes que se están evaluando (UNEP, 1994).

3.7 EVALUACIÓN DEL RIESGO ECOLÓGICO

Es un proceso que intenta estimar y donde es posible, cuantificar el riesgo que causa al ambiente y a los seres vivos, sin incluir a los humanos, la presencia de un contaminante en concentraciones superiores a las que existen de manera natural.

La evaluación del riesgo ecológico puede ser predictiva o retrospectiva. La primera intenta predecir los efectos futuros de un contaminante en el ambiente y se usa para determinar el riesgo potencial de una sustancia química antes de su liberación en el ambiente. La segunda estima el efecto que ya ha tenido un contaminante sobre el ambiente y se usa para ayudar a determinar los procedimientos de restauración. La evaluación de riesgo ecológico se utiliza principalmente en dos situaciones:

- Cuando existen sitios potencialmente sensibles o receptores especiales, tales como especies amenazadas, endémicas o en peligro de extinción, reservas ecológicas, y
- Cuando no existen criterios de limpieza, o sí existen pero por alguna razón no se aplican.

Tanto la evaluación del riesgo específico de un sitio como la del riesgo ecológico deben usarse para desarrollar los criterios de limpieza, cuando éstos no están disponibles (Muller y Marsh, 1994).

La información obtenida de las evaluaciones preliminar y detallada del sitio proporcionan las bases para planear y realizar la evaluación del riesgo ecológico. Existen tres elementos que deben considerarse para llevar a cabo una evaluación del riesgo ecológico: la caracterización del receptor, la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo (Izcapa, 2001).

3.7.1 Caracterización del receptor

Es el proceso de identificación de los receptores ecológicos (no humanos) de interés, los efectos contra los cuales es deseable protegerlos y las rutas específicas por las que entran en contacto cada uno de estos receptores con los contaminantes.

3.7.2 Evaluación de la exposición

Determina las rutas de exposición, magnitud, frecuencia y duración. Sirve para determinar el potencial de contaminantes específicos capaces de ocasionar efectos adversos en individuos o poblaciones expuestas y para estimar la relación entre el grado de exposición y la severidad de los efectos.

3.7.3 Caracterización del riesgo

Es la integración de la información derivada de la caracterización del receptor, y la evaluación de la exposición. Dando una estimación del grado de riesgo a partir de contaminantes específicos en los receptores ecológicos. En la figura. 2 se presentan los elementos que componen los diferentes tipos de evaluaciones del riesgo anteriormente descritas.

En resumen, es posible decir que los criterios de limpieza para suelo se desarrollan para determinar la cantidad de sustancias químicas que pueden permanecer en él, dentro de niveles de riesgo aceptables para la salud humana y el ambiente. Debido a que el riesgo es una función de la toxicidad y los tiempos de exposición, un criterio de limpieza aceptable para suelo puede determinarse por ejemplo de $X10^{-4}$ a $X10^{-6}$, estableciendo la cantidad de exposición humana (en mg de suelo por día por kilogramo de peso de un ser humano), entonces se resuelven las ecuaciones para determinar la concentración del contaminantes que puede permanecer en el suelo. Para hacer el análisis del riesgo, se pueden usar los factores potenciales de cáncer publicados por la US-EPA para obtener los valores de ingestión crónicos aceptables para sustancias químicas carcinogénicas y las RfD se pueden usar para establecer las dosis aceptables para sustancias químicas no carcinogénicas. Los contaminantes que se evalúan incluyen todos los que fueron detectados en el sitio, los que fueron encontrados en concentraciones altas, o los que son tóxicos, móviles y persistentes en el suelo o el agua subterránea (Stephanatos, 1991).

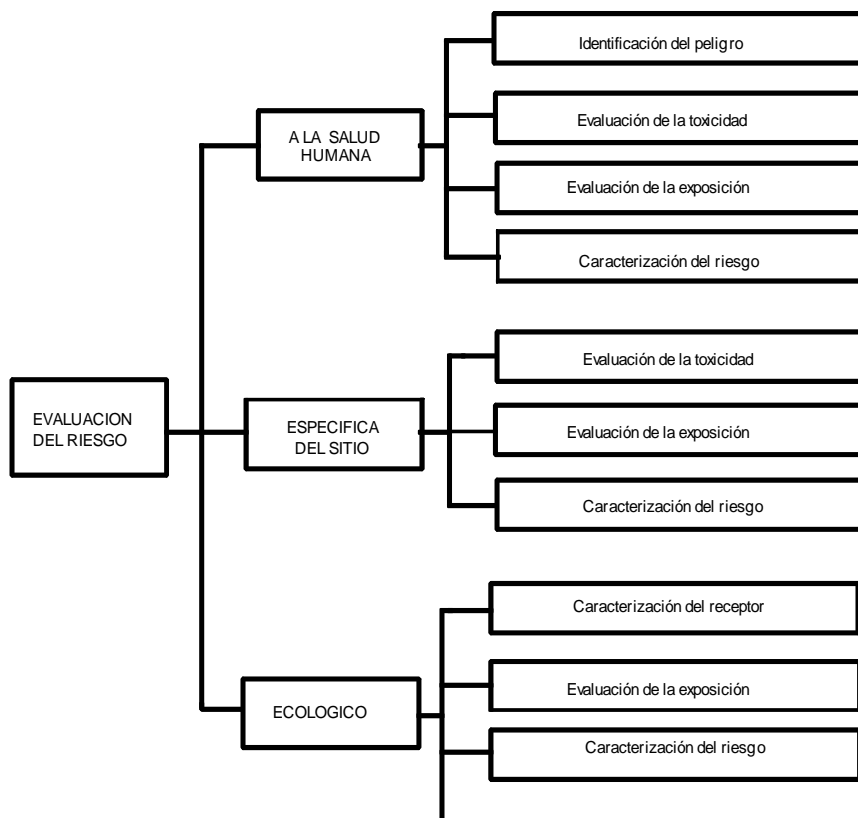


Figura 2.- Etapas que componen las diferentes evaluaciones del riesgo (Stephanatos, 1991).

3.8 INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

La estimación del riesgo puede estar sujeta a incertidumbre debido a la falta de datos suficientes, por ejemplo sobre la forma química, el comportamiento y concentraciones de los contaminantes; la naturaleza de la exposición (cuándo, con qué frecuencia y durante qué tiempo) y el efecto de la exposición (especialmente a dosis bajas y respecto a efectos carcinogénicos) También contribuyen a la incertidumbre los problemas de extrapolación de los efectos a partir de animales de laboratorio a humanos, en la determinación de las poblaciones receptoras y sus patrones de actividad y la estimación de niveles de dosis; así como en la extrapolación de dosis altas a bajas. La incertidumbre, generalmente se corrige usando suposiciones conservadoras (el peor caso) para crear márgenes de seguridad adecuados dentro de la evaluación. Algunos ejemplos de suposiciones del peor caso son: el contaminante está presente en su forma más tóxica disponible, las concentraciones observadas más altas son típicas de toda el área contaminada y ocurre un mínimo de dilución, dispersión y degradación del contaminante a lo largo de la ruta de migración (UNEP, 1994).

La evaluación del riesgo conservadora tiene implicaciones en el diseño y en el costo de la acción de restauración, se pueden seguir los siguientes

procedimientos para asegurar que las estimaciones de riesgo son razonables y realistas:

- Selección, uso cuidadoso de modelos y comparación entre el rendimiento de diferentes modelos.
- Evaluación y uso de un amplio intervalo de datos publicados y de campo para corroborar las estimaciones de riesgo calculadas. Por ejemplo, estudios epidemiológicos, análisis en cabello, sangre y orina como evidencias de exposición.
- Uso de técnicas estadísticas que permiten variaciones en los valores de entrada, usadas para las evaluaciones exposición/efecto que se realizan durante la estimación del riesgo.

Es esencial que todas las suposiciones usadas para estimar el riesgo estén totalmente documentadas, ya que el análisis de la incertidumbre es una parte importante de la evaluación del riesgo, que como ya se señaló debe hacerse durante cada una de sus etapas (UNEP, 1994).

3.9 CARACTERÍSTICAS DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS (BPC)

3.9.1 Química de Bifenilos Policlorados

Los bifenilos policlorados (BPC) son una familia de moléculas del bifenilo adicionadas con uno a diez átomos de cloro, (Fig. 3), estos compuestos son química y térmicamente estables (Anderson, 2000). Durante su síntesis, el grado de cloración se controla variando el tiempo de reacción, esto implica que se pueden generar 209 homólogos e isómeros, los cuales generalmente se denominan congéneres siendo estructuralmente diferentes. Su presencia ambiental fue reportada inicialmente por Jensen (1976). Hoy en día, los BPC se pueden encontrar en todos los compartimentos ambientales desde el fondo del océano hasta regiones polares altas. Estos compuestos se esparcen en el ambiente desde vertederos, basureros, procesos de combustión y de varios transformadores y capacitores abiertos.

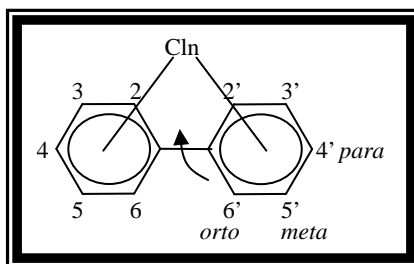


Figura 3.- Fórmula estructural y posiciones de sustitución del Cl de los BPC (Anderson, 2000)

3.9.2 Producción y uso

Las mezclas de BPC manufacturadas resultaron líquidas densas. Debido a esta propiedad fueron incorporados completamente en una gran variedad de productos, incluyendo papel carbón, papel periódico y calafateo de

compuestos. Se utilizaron en procesos de manufactura, tales como fluidos hidráulicos y de corte. Además de fluidos dieléctricos en la manufactura de capacitores eléctricos, transformadores, en plastificantes, solventes, agentes impermeabilizantes, líquidos selladores, retardadores de flama y plaguicidas. La producción comercial de BPC inició a finales de los años veinte y hasta 1977. Su producción se ha estimado en 680,000 Ton. La compañía Monsanto Chemicals de St. Louis, Missouri, USA fue la más grande productora de mezclas de BPC conocidas bajo el nombre de Aroclor, aunque también existieron otras compañías que producían productos con BPC bajo los nombres de Kanechlor por las compañía Kanegafuchi Chemicals en Japón; Clophen por la compañía Bayer de Alemania y Fenclor por la compañía Caffaro de Italia (Meijer, 2003).

3.9.3 Propiedades físico-químicas de BPC individuales

En 1980, Ballschmiter y Sep, presentaron un sistema numérico para los 209 BPC individuales que siguen las reglas de la IUPAC (tabla 2). El peso molecular de BPC tiene un rango de 188.7 a 498.7 (Andersson, 2000). En los congéneres de tri- a hexaclorados denominados Aroclor, los primeros dos dígitos significan que posee 12 átomos de carbono del bifenilo, y los últimos dos dígitos indican el porcentaje de cloración por peso del cloro (Furukawa, 2000).

Tabla 2.- Composición molecular aproximada (%) y propiedades físicas selectivas de Aroclor (Furukawa, 2000).

Composición y propiedades	Aroclor						
	1221	1232	1216	1242	1248	1254	1260
Bifenilo	11.0	6.0	< 0.01	-	-	-	-
Monoclorobifenilo	51.0	26.0	1.0	1.0	-	-	-
Diclorobifenilo	32.0	29.0	20.0	17.0	1.0	-	-
Triclorobifenilo	4.0	24.0	57.0	40.0	23.0	-	-
Tetraclorobifenilo	2.0	15.0	21.0	32.0	50.0	16.0	-
Pentaclorobifenilo	0.5	0.5	1.0	10.0	20.0	60.0	12.0
Hexaclorobifenilo	-	-	< 0.01	0.5	1.0	23.0	46.0
Heptaclorobifenilo	-	-	-	-	-	1.0	36.0
Octaclorobifenilo	-	-	-	-	-	-	6.0
Gravedad específica (25/15.5°C)	1.18	1.27	1.37	1.38	1.41	1.50	1.56
Viscosidad absoluta (cp 38°C)	5	8	20	24	70	700	resina
Solubilidad (g/L, 25°C)	200	-	240	240	54	12	2.7
Presión de Vapor (mm, 25°C)	$6.7 \cdot 10^3$	$4.6 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$
Log K _{ow}	2.8	3.2	4.4	4.1	6.1	6.5	6.9

Las propiedades físico-químicas de las mezclas comerciales de BPC dependen de la composición de cloros en la molécula de bifenilo. Estos valores son críticos para aspectos de modelación tales como transporte, destino, persistencia, bio-concentración y actividad biológica de los congéneres. Generalmente, los BPC son resistentes a ácidos y bases, a la oxidación e

hidrólisis, son térmicamente estables así como excelentes aislantes eléctricos, tienen baja inflamabilidad; son solubles en solventes orgánicos, aceites y grasas, pero muestran una solubilidad extremadamente baja en agua, especialmente los bifenilos con mayor contenido de cloros (Wang y Wong, 2002).

3.9.4 Efectos en salud y medio ambiente

Existen tres rutas potenciales por las cuales el humano está ambientalmente expuesto a la contaminación por BPC: a través de la inhalación de aire contaminado, ingestión de agua y por alimentos contaminados; la absorción por la piel es otra opción pero está se realiza predominantemente por exposición ocupacional (Strachan, 1988).

La posición de la Agencia de Protección Ambiental en su manual de inspección del Acta de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA) considera los BPC como compuestos potencialmente carcinogénicos (USEPA, 1980) debido a que existen evidencias de ciertos estudios llevados a cabo en animales, en los cuales se ha demostrado la formación de nódulos y carcinomas en el hígado de ratas (Ioto *et al.* 1974); existen además, evidencias de que el Aroclor[®] 1254 actúa como promotor de tumores (Preston *et al.* 1981).

Aunque por mucho tiempo se ha sabido que los BPC son peligrosos, sólo hasta hace algunos años se ha reconocido que son una amenaza para la salud y el medio ambiente ya que se les ha encontrado en concentraciones importantes en la leche materna (Gosselin y Gleason, 1979) tejidos de peces y otros organismos de vida silvestre (Vojinovic *et al.* 1992) además de vías fluviales, sedimentos, y océanos. Su característica de liposolubilidad, los hace que sean bioacumulables en los tejidos grasos, con lo que su paso a escalones superiores de la cadena trófica resulta inmediato y su acumulación en la biota tienden a ser 104 veces mayor que en el agua o aire que los circunda (Dobson y Van Esch, 1993).

3.9.5 Fuentes de contaminación por BPC

Los principales mecanismos de contaminación de BPC son los vertidos y derrames de aceites y residuos que contiene BPC directamente al mar o en sistemas de agua superficial, además de:

- ◆ Dispersión en los suelos de líquidos que contienen BPC por las industrias que los produjeron o utilizaron como lubricantes o conductores térmicos.
- ◆ Depósito o abandono de materiales contaminados (transformadores, capacitores etc.) en vertederos a cielo abierto.
- ◆ Exposición de sustancias plastificantes fabricadas con BPC.
- ◆ Volatilización durante la combustión de materiales contaminantes y emisión en procesos de incineración de los BPC u otros materiales (Erickson, 1986).

3.9.6 Efectos en animales

Los efectos agudos y subagudos en animales provocan hipertrofia del hígado debido principalmente a la inducción enzimática, manifestándose principalmente con daños de degeneración del tejido adiposo y necrosis centrolobular; la piel también se afecta por hiperplasia, hiperqueratosis y dilatación sistica. La concentración de BPC en los diferentes órganos y tejidos depende de su contenido de lípidos con excepción del cerebro. Debido a la rápida absorción en la sangre, los BPC pueden intervenir en el metabolismo Hem demostrado por el incremento en el contenido de porfirina (Ángel, 1970; Smith, 1992).

Los factores que determinan el grado de bioacumulación de todos los congéneres de BPC en los tejidos adiposos son: duración, nivel de exposición, estructura química del compuesto, posición y patrón de sustitución, en general los isómeros altamente clorados son los que se bioacumulan más fácilmente (Dobson y Van Esch, 1993).

Los BPC son rápidamente absorbidos por el tracto gastrointestinal después de su ingestión, por el hígado después de su inhalación; los tumores hepatocelulares se producen en ratas después de un largo período de aplicación oral de BPC. Otro efecto observado es la acción de inmunosupresión en mamíferos (Smith, 1992).

Estudios en mamíferos, han demostrado la eliminación del 50 % de los BPC con 1,2,5 y 6 átomos de cloro por molécula; los factores críticos que afectan el grado de biotransformación son el número de cloros y la posición de éstos en los anillos además de la especie de animal por ejemplo, los perros y ratas eliminan en un solo día el 50 % de la dosis con la excreción de 2,3,6-hexaclorobifenilo como metabolitos mientras que los monos requieren 6 días para eliminar la misma cantidad (Matthews y Anderson, 1975; Kato *et al.* 1980; Sipes *et al.* 1979 y 1982).

Ciertas mezclas de BPC tienen la habilidad de alterar los procesos reproductivos en las especies mamíferas, algunas veces aún en dosis que no causan otros signos de toxicidad; los datos que se tienen sobre animales y humanos, indican que la exposición prenatal a los BPC puede ocasionar varios efectos tóxicos en el desarrollo, el cual se incrementa con el porcentaje de cloros; se han demostrado también efectos postnatales en animales prematuros durante el período de lactancia. La toxicidad de los diferentes isómeros de BPC es variable y difícil de evaluar ya que su acumulación en los organismos marinos suele ir acompañada de la acumulación de otros compuestos tales como plaguicidas o metales pesados (Vojinovic *et al.* 1992).

3.9.7 Concepto Factor de Toxicidad Equivalente (TEF)

Los BPC y PCDD/F (policloro-dibenzo dioxinas y furanos) existen como mezclas complejas en el medio ambiente, para estimar el potencial relativo de BPC PCDD/F y evaluar el riesgo planteado por estos compuestos, se ha adoptado el concepto de factor de toxicidad equivalente (TEF). Para juzgar la toxicidad potencial de los compuestos se desarrollan estudios *in vivo* e *in vitro*. Los compuestos que usan el concepto TEF deben: 1) mostrar estructuras similares con PCDD/F, 2) atar el receptor Ah, 3) arrancar al receptor Ah mediante respuesta bioquímica y tóxica, y 4) ser persistentes y acumularse en la cadena alimenticia (Giesy y Kannan, 1998).

El principal requerimiento estructural para la determinación de la toxicidad de los BPC es su estereoquímica planar (ausencia de sustituciones *orto*) similar a la molécula de 2,3,7,8-TCDD (tetra-cloro-dibenzodioxina) o bien presencia de dos posiciones *para* y al menos dos *meta* sustituidas; determinadas en base a sus factores de equivalencia de toxicidad que representa una herramienta para comparar la toxicidad relativa de un grupo de congéneres con el compuesto más tóxico conocido (Shaw, 1993), como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.-Valores de Factores de Equivalencia de Toxicidad (FET) para congéneres Coplanares, mono-*orto* y di-*orto* sustituidos (Safe, 1990).

Congéneres de BPC	Valores de FET
Coplanares	
3,3',4,4'- tetra cloro bifenilos	0.01
3,4,4',5,- tetra cloro bifenilos	Datos insuficientes
3,3',4,4',5- penta cloro bifenilos	0.01
3,3',4,4', 5,5'- hexa cloro bifenilos	0.05
Mono <i>orto</i> sustituidos	0.001
Di- <i>orto</i> sustituidos	0.00002

Los efectos más importantes de los BPC los ha revisado ampliamente el equipo de investigación de Wassermann (1979) y se encuentran resumidos en la tabla 4

Tabla 4.- Concentración de BPC en animales (Wassermann, 1979).

Organismo:	Concentración (µg/g)
Organismos Marinos	
Zooplancton	<0.003 - 1.055
Mariscos	<0.003 - 7
Focas	3 - 212
Ballenas y Delfines	0.012 - 147
Peces	
Peces de agua dulce (USA)	0.1 - 15
Peces Marinos	0.03 - 190

Aves	
De Norteamérica	0.1 - 14,000
De Europa	0.5 - 9,570
Huevos	0.1 - 434
Animales Terrestres	0.01 - 45
Humanos	
Tejido Adiposo (población general)	0.2 - 10.0
Plasma (población general)	0.01- 0.029
Plasma (exposición ocupacional)	0.036 - 1.9
Tejido Adiposo (Incidente de Yusho)	0.7 - 75.5
Plasma (Incidente de Yusho)	0.02- 0.015
Leche	0.01- 0.39
Lípidos extraídos de leche	0.01 - 18.9

El grado de toxicidad asociada a los BPC varía entre las especies, en que actúen debido a su alta velocidad y capacidad metabólica, además de los mecanismos fisiológicos de cada especie en particular, es por ello que se están re-evaluando los estudios para afirmar los efectos crónicos pero sus riesgos han sido bien identificados (Mendoza, 1994).

3.9.8 Carcinogenicidad

Frecuentemente se menciona que los BPC son potencialmente cancerígenos; existen estudios iniciales que sugieren una relación entre la exposición al BPC y el cáncer en humanos inferido por el incremento significativo en los niveles de proteínas oncogénicas y ciertas aberraciones cromosomales en linfocitos periféricos sanguíneos en trabajadores expuestos a BPC. De acuerdo con esto, existen estudios realizados en animales los cuales indican que el potencial de oncogenicidad depende del grado de exposición a los BPC como se muestra en la tabla 5 (Lang, 1992).

3.9.9 Mutagenicidad

Los BPC han sido investigados por su actividad mutagénica utilizando varias cepas de la bacteria *Salmonella sp.* ninguna de las cuales ha demostrado tener signos de mutagenicidad (Schoeny *et al.* 1979; Shakim *et al.* 1979); también se ha investigado en células de linfocitos humanos con el Aroclor 1254 (Hoopingarner *et al.* 1972), con la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster* utilizando mezclas de BPC con 30% y 50% de cloro (Nilsson y Ramel, 1974) e *In Vivo* con ratas utilizando Aroclor® 1242 y 1254 (Green *et al.* 1975); ninguno de estos sistemas mostró signos de anomalías cromosomales u otras evidencias de actividad mutagénica por BPC. Sin embargo, los estudios realizados por Wyndham *et al.* (1976), utilizando mezclas de Aroclor de bajo nivel de cloración (Aroclor® 1221 y 4-clorobifenilo) muestran un ligero efecto mutagénico.

3.9.10 Teratogenicidad

Los BPC han sido descritos como potencialmente teratogénicos (Welsch, 1983) por causar malformaciones en animales como aves y ratones (Tumasonis *et al.* 1973); en humanos se han encontrado varios efectos teratogénicos aunque no malformaciones (Harada *et al.* 1976; Jacobson *et al.* 1983).

Tabla 5. Efectos y manifestaciones comunes de la exposición a los BPC en animales (Safe *et al.* 1990)

<i>Hepatotoxicidad:</i>
Hepatomegalia; hiperplasia del conducto biliar; proliferación de ER suave, necrosis focal; degeneración de grasas. Inducción de enzimas microsomales, implicaciones en el desbalance hormonal con repercusiones en la tiroides, páncreas y aparato reproductor. Agotamiento de las vitaminas solubles grasas (especialmente las A)
<i>Inmunotoxicidad:</i>
Atrofia de los tejidos linfoides Reducción de los leucocitos y linfocitos circulantes Supresión de las respuestas de los anticuerpos Incremento de la susceptibilidad a los virus Supresión de la muerte celular natural
<i>Neurotoxicidad:</i>
Respuesta de comportamiento anómalo Alteraciones en los niveles de catecolaminas Depresión espontánea de la actividad motora Desarrollo de déficit Adormecimiento de las extremidades
<i>Reproducción:</i>
Incremento de aborto; bajo peso de recién nacidos Decrecimiento de la supervivencia Incremento del período del estrés Mortalidad embrionaria y fetal Efectos teratogénicos fuertes (especialmente en aves) Cambios funcionales bioquímicos y neurológicos Decrecimiento de la libido, decremento de espermas en número y movilidad
<i>Aparato Gastrointestinal:</i>
Hiperplasia gástrica Ulceraciones y necrosis
<i>Aparato Respiratorio:</i>
Bronquitis crónica; tos crónica Decrecimiento de la capacidad vital
<i>Toxicidad Dérmica:</i>
Cloro acné Hiperplasia e hiperqueratosis del epitelio Edema; alopecia
<i>Efectos Mutagénicos:</i>
Todas la mezclas comerciales de BPC son potencialmente mutagénicas.
<i>Efectos Carcinogénicos:</i>

Cambios preneoplásticos
Cambios neoplásticos (a grandes dosis)
Considerados como promotores y contribuyentes a desarrollo de
cáncer
Atenúan otros carcinogénicos bajo ciertas condiciones

3.9.11 Efectos en plantas

Existe muy poca bibliografía relativa a los efectos sobre las plantas, probablemente a su aparente insensibilidad a la mayoría de las sustancias organocloradas (Strek, 1981). La transferencia de BPC del suelo a los vegetales se lleva a cabo principalmente por adsorción en la superficie externa de los vegetales (Dobson y Van Esch, 1993) como lo indican los estudios realizados sobre pequeñas translocaciones de BPC marcados desde un punto de aplicación en la hoja al resto del vegetal con existencia de pequeñas pérdidas del isótopo marcado, esto sugiere la volatilización del BPC; sin embargo, existen también pequeñas translocaciones del compuesto en el interior de los vasos conductores del vegetal (Weber y Mrozeck, 1979).

3.9.12 Contaminación al ambiente

Los BPC se han utilizado durante más de sesenta años, pero su presencia en el ambiente no se determinó sino hasta que el detector de captura de electrones se introdujo en los análisis de cromatografía de gases (Colbrun y Mathew, 1979). En 1966, los BPC se identificaron como contaminantes (Wasserman *et al.* 1979) e investigaciones sucesivas han demostrado que son ubicuos (Tanabe *et al.* 1983).

Se ha estimado que cerca de 300,000 Ton han entrado al medio ambiente desde el inicio de su producción en 1929 y una cantidad cercana a las 400,000 Ton se encuentran aún en servicio o en vertederos controlados. (Kolak, 1988).

En áreas industriales y otros centros de trabajo, los niveles de BPC en el aire pueden ser muy altos bajo ciertas condiciones; por ejemplo, en las naves de producción de transformadores o capacitores, se han encontrado niveles superiores a 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso de incendios o explosiones, se puede producir hollín que contienen niveles altos de BPC de hasta 8 $\mu\text{g}/\text{Kg}$. de BPC; en estos sitios, la ingestión, contaminación de la piel o inhalación de las partículas de hollín ha ocasionado serios problemas de exposición del personal (USEPA, 1980).

3.10 TRANSPORTE Y ACUMULACIÓN AMBIENTAL

A nivel mundial, se estima que existe alrededor de 680,000 Ton de BPC y 300,000 Ton están aún en uso o bien depositados de diferentes maneras (Chen *et al.* 1980). Existe un volumen considerable de datos sobre el análisis de BPC en el aire, agua, tierra, sedimentos y biota; realizados por la Academia Nacional de Ciencias (NAS) desde 1979 y de otros investigadores.

3.10.1 Aire

Debido a sus propiedades fisicoquímicas los BPC se han podido dispersar en todos los ambientes. Se les encuentran dispersos en la atmósfera en el vapor, bajo forma de partículas de aerosol o asociadas a las partículas atmosféricas; los BPC se manifiestan persistentemente en el medio ambiente, ya que su naturaleza hidrofóbica ocasiona una tendencia a transferirse a grandes distancias por difusión de la masa de aire encontrándose así, en los mares, océanos, zonas desérticas y bosques. Su descenso sobre la superficie terrestre ocurre a través de la precipitación pluvial o por gravedad. En los registros de los análisis de precipitación pluvial la concentración de BPC encontrados reflejan indirectamente los niveles de BPC en el aire (Strachan, 1988) que generalmente son superiores a las concentraciones presentes en las aguas superficiales.

3.10.2 Agua

La superficie del agua se puede contaminar con BPC por la precipitación atmosférica, por emisión directa de la fuente o por la mala disposición de los residuos que contienen BPC (Dobson y Van Esch, 1993) los niveles de concentración a los que se les ha encontrado están comprendidos entre los 100 y 500 ng/L en las aguas superficiales y del orden de los 0.05 a 0.6 ng/L en los océanos (Chen *et al.* 1980). Los BPC se encuentran en el agua superficial a niveles detectables y cuando ésta contiene materia en suspensión los BPC se absorben fácilmente en ellas; problema que suele ser eliminado fácilmente mediante el tratamiento en la planta potabilizadora (Strachan, 1988).

El transporte en agua, está gobernado por la solubilidad de los BPC y debido a su relativa baja solubilidad (indicada por su alto coeficiente de partición octanol/agua, K_{wo}) los BPC están fuertemente absorbidos en los sedimentos y materia particulada de los sistemas acuáticos (Dobson y Van Esch, 1993).

Con base en los valores de los coeficientes de solubilidad y de partición *n*-octanol/agua los congéneres de BPC de bajo contenido de cloro se pueden determinar el grado de absorción en la materia orgánica y sedimentos (Dobson y Van Esch, 1993). En los mares, debido a su baja solubilidad en el agua salada, una vez que penetra el BPC en el medio marino se fija a las partículas en suspensión y acaba finalmente sedimentando.

3.10.3 Suelos y sedimentos

Una vez que los BPC se han dispersado en el agua se absorben por las partículas que constituyen la fracción en suspensión y tienden a depositarse en el fondo, permaneciendo fijos en los sedimentos de lagos y ríos, los cuales son ambientes de baja reactividad, donde los BPC se pueden acumular por décadas, o bien tener posible liberación hacia la parte superior del agua.

La mayor parte de los BPC derramados en la tierra permanecen en ella por grandes períodos de tiempo que van desde meses hasta años. En función de las características del suelo, por ejemplo: en los de composición rica en humus y sustancias orgánicas, así como en los suelos arcillosos existe una mayor adsorción de estos compuestos; y se retienen sólo en una mínima proporción en los suelos arenosos.

En el suelo y sedimentos, la contaminación depende de las condiciones locales, pero en general se consideran variaciones de 0,01 a 2 mg/kg. En áreas contaminadas los niveles sobrepasan 500 mg/Kg. (Dobson y Van Esch, 1993).

La absorción de los BPC en los sedimentos está controlada por el carbono orgánico total existente en ellos y la fuerza de absorción en ellos depende del coeficiente de sorción de cada isomero de BPC en particular, la cual puede calcularse a partir de su coeficiente de partición octanol/agua (K_{wo}).

3.10.4 Bioacumulación

La principal ruta de asimilación de los organismos terrestres es a través de la cadena alimenticia y en los organismos acuáticos, directamente de los nutrientes contaminados y acumulados en sus tejidos grasos. Los mecanismos de transporte para la bioacumulación de BPC están influenciados por los altos valores de K_{wo} unido a los factores de estereoquímica que juegan un importante papel en los procesos de metabolismo o acumulación en los organismos.

En organismos acuáticos, las relaciones entre el factor de bioconcentración ($\log K_B$) y K_{wo} no son lineales, sino que siguen una distribución polinomial o compleja debida a una serie de factores que no siempre son los mismos en calidad y cantidad.

La bioacumulación en organismos bentónicos está esencialmente controlada por asimilación del coloide contaminado en el medio líquido. Por otra parte, los estudios de los factores de estereoquímica de la molécula de BPC han demostrado que los congéneres planares son los más fácilmente acumulables en combinación con los coplanares (con uno o dos sustituciones *orto*) los cuales poseen la mayor vida media comparada con los otros congéneres (Dobson y Van Esch, 1993).

3.10.5 Contaminación de alimentos

Los alimentos para humanos pueden llegar a contaminarse con BPC por tres rutas: 1) asimilación del medio ambiente por la ingestión de peces, aves, ganado (vía cadena alimenticia) y cultivos vegetales. 2) migración del contaminante de los materiales de empaquetamiento a los alimentos (generalmente bajos, cercanos a 1 mg/Kg. pero se han encontrado casos superiores a 10 mg/Kg.) y 3) contaminación directa de los alimentos (Dobson y Van Esch, 1993).

En contraste con valores estimados para aire y agua, la exposición humana vía alimentos es mucho más alta. Sin embargo, la estimación de la exposición de la población en general a través de los alimentos es más difícil debido a la limitada información que existe de los niveles de BPC que pueden presentar. Existen solo algunas referencias disponibles en las que se han detectado diferentes rangos de concentración de BPC entre las que destacan 20-240 μ g/Kg. en grasa animal, 5-2000 μ g/Kg. en leche de vaca, 30-80 μ g/Kg. en mantequilla, 10-500 μ g/Kg. en tejidos de peces y < 10 μ g/Kg. en vegetales, cereales y frutas.

En ciertas especies de peces (anguilas) y productos de pescado (hígado o aceite) se han encontrado niveles tan altos como 10 mg/Kg. (Goseline y Gleason, 1979). Existe muy poca información para productos de hortalizas y cereales (Strachan, 1988).

3.12 PROCESAMIENTO DE BPC EN AGUA

El muestro en agua, se realiza con dificultad por las bajas concentraciones de BPC existentes en los ambientes acuáticos; sin embargo, suelen muestrearse de 1 a 100 L. Los BPC se extraen del agua haciendo pasar la muestra a través de un filtro con algún adsorbente sólido tales como undecano y monoesterato de Carbowax 400 soportado en Cromosorb W, o un soporte poroso como poliuretano, Tenax o resinas de Amberlita XAD-2, seguida por la elusión de los BPC con algún disolvente orgánico. Las muestras de agua también se extraen directamente con disolventes orgánicos inmiscibles en agua, generalmente hexano o diclorometano. No obstante, las condiciones de extracción de la muestra en medios con pH ácido, pueden afectar los resultados de las estimaciones de concentración de BPC en los sistemas acuosos (Thome y Vandaele, 1987).

El uso de disolventes y membranas de diálisis, es un método eficaz para el muestreo de BPC y otros contaminantes lipofílicos en ambientes acuáticos; en ellos, el muestreo y la extracción se realizan en un solo paso y su mayor ventaja es que la muestra obtenida no necesita purificarse (Ahlingen y Jensen, 1970; Södergren, 1990).

3.13 PROCESAMIENTO DE BPC EN SUELOS Y SEDIMENTOS

Las muestras de BPC de los suelos y sedimentos, se extraen generalmente después de su homogeneización y secado con sulfato de sodio anhidro, lavado con hexano y posterior proceso de acondicionamiento de secado por 5 días a temperatura ambiente; la extracción se realiza con una mezcla de disolventes orgánicos como acetona y diclorometano en un extractor Soxhlet; se utilizan también embudos de separación y baños ultrasónicos (Nakano *et al.*1990; Dunnivant Elzerman, 1988). Otros disolventes que también se utilizan son: hexano, acetona o acetato de etilo aplicados individualmente o mezclados con alcohol isopropílico y diclorometano; las mezclas de diclorometano y acetato de

etilo se aplican eficientemente para la extracción de BPC de suelos contaminados en zonas industriales.

Cuando las muestras de suelos y sedimentos contienen grasas o aceites, se extraen junto con los BPC y se remueven en una segunda fase. Se han utilizado también con eficacia, las técnicas de destilación con vapor y la extracción supercrítica (Lang, 1992; Dobson y Van Esch, 1993).

3.14 PROCESAMIENTO DE BPC EN TEJIDOS ANIMALES

El muestreo de tejidos animales, se realiza por extracción después de la homogeneización y secado (con sulfato de sodio anhidro) con disolventes orgánicos como diclorometano, ciclohexano, acetato de etilo y benceno (Borlakoglu, 1989; Pellantová *et al.* 1989). Las matrices que contienen grasas como sangre y leche se extraen primeramente con hexano (Zell y Ballschmiter, 1980; Petrick *et al.* 1988); se aplican también otras mezclas de disolventes como dietil éter, mezclas de benceno y acetona hexano y acetona, tolueno y acetato de etilo (Winger *et al.* 1984; Goerke y Weber, 1990). También para el análisis en sangre, se utiliza frecuentemente la deshidratación con disolventes para facilitar la ruptura de las estructuras celulares, además de la saponificación.

En la leche además de esto, se utiliza la adsorción con solventes sólidos; para ello, primeramente, se mezcla la leche con fibra de celulosa y florisil o bien, con Lipidex 5000 como solvente alternativo y antes de que se inicie el proceso de la evaporación del agua, la mezcla se extrae con hexano (Porter *et al.* 1970; Norén y Westoo, 1986; Seymour *et al.* 1987). Generalmente se efectúa una fase previa de evaporación con rotavapor o Kuderna y un ligero flujo de nitrógeno para reducir la cantidad de extracto antes de la extracción e incrementar la concentración de BPC antes de su determinación (Lang, 1992). El límite de detección descrito por Reznicek (1987), con un método especial de extracción y determinación de BPC en tejido sanguíneo es de 10 ppb.

3.15 MÉTODOS DE DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN

Existen varios métodos indirectos para la determinación de BPC, entre los que destaca el método a partir del cloro orgánico total en aceites de transformadores. Sin embargo, el *método de cromatografía de gases (CG)* es el más eficazmente utilizado por su alto grado de selección en un complejo de mezclas empleando columnas capilares con varias fases estacionarias; de acuerdo con Dobson y Van Esch (1993), sus principales ventajas sobre otras técnicas, son su tipo de detector altamente sensible, su alta eficiencia de separación y la posibilidad de acoplarlo a otros métodos de identificación de compuestos como la espectroscopia de masas (MS) con buena reproducibilidad en los resultados del análisis (Lang, 1992).

El Detector de Captura de Electrones (ECD) es el sistema de detección más frecuentemente utilizado en la cromatografía de gases para BPC debido a su extrema sensibilidad, pero por otro lado, es sumamente vulnerable a las impurezas y sobrecarga. La respuesta del ECD es variable de un detector a

otro; depende además, de ciertas condiciones particulares tales como las variaciones de temperatura, la calidad del gas que pasa a través de él, la velocidad, flujo del gas y la limpieza del detector. Un segundo sistema de detección frecuentemente utilizado es la Espectrometría de Masas. Este sistema, proporciona información de la estructura y masa molecular de las sustancias analizadas, obteniéndose así, una identificación precisa de los componentes a analizar de la muestra (Lang, 1992).

3.16 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN

Existen ciertos estudios en los que se ha intentado desarrollar modelos de distribución de la contaminación por BPC; es la determinación de la concentración y delimitación de la extensión de la contaminación por varios medios (agua, aire, suelo y biota) utilizando sus propiedades fisicoquímicas, en su aplicación se utilizan parámetros básicos, como las diferentes constantes de partición determinadas directamente o calculadas por una correlación empírica (Lassiter *et al.* 1979; Mackay y Paterson, 1982; Roberts *et al.* 1978). Los modelos poseen figuras que en teoría son aproximadamente iguales a las de la situación real en los cuales, se han introducido procesos de transformación, fenómenos de advección natural del medio y precipitación pluvial; estos modelos, básicamente se han aplicado en los Lagos de Canadá y el sureste de Estados Unidos (Strachan, 1988).

Existen además bancos de información que intentan coleccionar y organizar la información referente a casos de contaminación con BPC de cuerpos de agua a lo largo de los Estados Unidos y Canadá mediante las bases del Banco de Datos de Calidad Nacional (NAQUADAT) y el Banco de Datos del Instituto de Investigaciones del Agua de los Grandes Lagos (STATRFILE) con registros a partir de 1975; estos programas están realizados por regiones y por niveles de contaminación (Strachan, 1988).

Las referencias de los niveles de contaminación por BPC en aire, agua, suelo, sedimentos y alimentos se encuentran resumidas en la tabla 6; nótese que las unidades no son las mismas en todas las matrices lo que se ve reflejado por valores de ppb en el suelo, alimentos y sedimentos y ppt en agua, las concentraciones en todas las matrices generalmente alcanzan amplios rangos.

Tabla 6. Niveles de contaminación por BPC en aire, agua, suelo y sedimentos (Erickson, 1986)

Matriz	Localidad	Concentración (ng/m³)	Referencia
Aire	Costa Antártica	0.06 - 0.2	Tanabe,1983
	Grandes Lagos Rural	0.1 - 0.5 0.1 - 2	Eisenreich,1983 Eisenreich, 1983
	Varias loc. de USA	0.02 - 36	NRC,1979
	Aire marino	0.05 - 2.0	NRC, 1979
	Océano Atlántico	0.05	WHO,1976
	Golfo de México	0.2 - 0.9	Giam,1976
	Norte del Pacífico	0.54	Atlas,1980
	Norte del Atlántico	1.84	Tanabe,1982
	Oeste del Pacífico	0.06 -1.2	Tanabe,1982
	Norte del Atlántico	<0.05 - 0.2	Bidleman,1976
	Norte del Atlántico	<0.05 - 1.6	Bidleman,1981
	Tokio	20	Kimbrough,1980
	Matsuyama, Japón	2 - 5	Kimbrough, 1980
	Suecia	<0.8 - 3.9	WHO,1976
	USA	5	WHO,1976
	Interior de oficinas contaminadas con balastras quemadas.	5,860	MacLeod,1979
	Interior de oficinas.	39 - 620	MacLeod,1979
	Sitios cercanos a derrames. Vertederos controlados.	<10 - 190	MacLeod,1979
	Subestaciones eléctricas. Manufactura de transformadores.	2 - 18	MacLeod, 1979
	Sitios de derrame.	1 - 47	MacLeod,1979
ENSCO, EL Dorado Arkansas.	17 - 5,900 10 - 10,800	MacLeod,1979 MacLeod,1979	
Rollins, Deer Park, Texas.	12.10 ³ – 58.10 ³	Erickson,1984 ^a	
Massachusets, Fábrica y uso de BPC en capacitores.	9.8	Erickson,1984 ^a	
Chimeneas de gas	Varios ambientes ocupacionales	0.1- 5.8 .10 ⁶ 5 -7 .10 ⁶	NIOSH,1977 NIOSH,1977
		0.1 – 10.10 ⁶	Kimbrough,1980
Aire de Naves Industriales (exposición ocupacional)			
Matriz	Localidad	Concentración (ng/l)	Referencia

Agua	Mar Antártico	0.03 - 0.07	Tanabe,1983
	Nieve Antártica	0.3 - 1.0	Tanabe,1983
	Océano	0.3 - 4,200 ^a	Bidleman,1976
	Norte del Pacífico	0.2 - 1.1	Tanabe,1980
	Oeste del Pacífico	0.04 - 0.25	Tanabe,1982
	Profundidad de Océanos ^b	0.03 0.6	Tanabe,1983
	Atlántico		
	Costa Mediterránea	0.3 - 8	Harvey,1976
	Ríos de Suecia	13	Elder,1976
	Suecia	0.5	WHO,1976
	Grandes Lagos	0.33	WHO,1976
	Japón	0.8 -31	NRC,1979
	Derrames en el lago Michigan	1 -100	WHO,1976
	Otros ríos no contaminados.	100 -450	WHO,1976
	Grandes Lagos	<0.5	WHO,1976
Ríos moderadamente contaminados.	<5	WHO,1976	
Ríos altamente contaminados.	<50	WHO,1976	
	<500	WHO,1976	
Lluvia	Remota		
	Marina	0.1 - 10	Eisenreich,1983
		0.5	Eisenreich,1983;
	Rural		Atlas,1980
	Grandes Lagos	1 -50	Eisenreich,1983
	Urbana	10 - 150	Eisenreich,1983
		10 -250	Eisenreich,1983
Matriz	Localidad	Concentración (µg/g)	Referencia
Suelo	Suecia	15	WHO,1976
	Japón (agricultura)	<1,000	WHO,1976
	Japón (cercanía de factoría de eléctricos.	510,000	WHO,1976
	USA, 1972	(99.9% <LOD)	Kimbrough,1980
	Ciudades Urbanas de USA.	(27% < LOD)	Kimbrough,1980
	USA, Manufactura de transformadores.	17 - 17,800	MacLeod,1979
Sedimentos	Sitios con derrames		
	A 16 Km. de distancia.	1,400 - 61,000	WHO,1976
	Solo de depositación atmosf. en Suecia.	600	WHO,1976
	Por contaminación industrial en Suecia.	8 - 20	NRC,1979
	USA, ciudades.	4 - 170	NRC,1979
	Grandes Lagos	20 - 300 ^c	NRC,1979
	1,445 sitios de Japón	tr - 250	NRC,1979
Varios sitios contaminados de Japón	<1,000	Kimbrough,1980	
	por encima de los 2,700	Kimbrough, 1980	
Matriz	Localidad	Concentración (µg/kg)	Referencia
Alimentos	USA		
	Pescado	1,870	Finlay,1976
	USA	1,170	Finlay,1976
	Productos de pescado		Finlay,1976
	Quesos	250	Finlay,1976
	Leche	2,270	Finlay,1976
Huevos	USA	550	Finlay,1976

^a Revisión de varios estudios en la costa y océano abierto.

^b No se encontraron diferencias significativas a profundidades de 0 a 4,500 m.

^c Valores medios por estado por 10 a 293 muestras por estado.

Las principales generalizaciones extraídas de las revisiones de los estudios realizados en los Estados Unidos sobre los efectos de los BPC han permitido

establecer las siguientes perspectivas, sobre las cuales desarrollar conceptos sobre toxicología ambiental:

- La atmósfera, aunque contiene relativamente un porcentaje bajo de movilidad ambiental de BPC es el reservorio más dinámico (Safe, 1987).
- La concentración promedio de BPC en la atmósfera en áreas metropolitanas (5 ng/m^3) es mucho más alta que los promedios de concentración de las zonas rurales y oceánicas (0.05 ng/m^3). Se han observado inclusive niveles promedio de 1000 ng/m^3 en áreas cercanas a plantas industriales.
- Las estimaciones de concentración de BPC en la litosfera es muy incierta, pero se han detectado áreas con niveles altos de contaminación por ejemplo, todas aquellas cercanas a las plantas en donde se producía o utilizaron BPC.
- Los vertederos controlados, en general, no han contribuido sustancialmente a la movilización global de estos contaminantes al ambiente. Sin embargo, se han detectado pérdidas en algunos de ellos con la consecuente contaminación de los mantos acuíferos cercanos.
- En áreas de baja concentración la pérdida desde los suelos orgánicos no es de importancia significativa, la pérdida de las superficies no orgánicas parece estar en equilibrio con la precipitación atmosférica.
- La biota de vida silvestre de la litosfera especialmente ganado, humanos y plantas contienen más BPC que el medio (debido a la bioacumulación).
- La acumulación de BPC en la hidrosfera se debe principalmente a la escorrentía de los campos, descargas directas de BPC y especialmente la sedimentación desde la atmósfera.
- Se estima que las aguas de los Grandes Lagos, contribuyen al 97 % de la contaminación por BPC de las aguas en los Estados Unidos, siendo el río Lawrence el de mayor fuerza en movimiento el que contamina el Atlántico norte.
- Se ha estimado que con la reducción de las descargas directas y cuantificando solo lo depositado desde la atmósfera y lo aportado desde los ríos de los Grandes Lagos se aporta del 60 al 80 % de la contaminación del océano Atlántico.
- Otros reservorios acuáticos tales como el Río Hudson constituyen serios problemas aportando cerca del 1 % de la contaminación del Atlántico, aún y cuando éste es abastecido por los Apalaches.
- El agua de los océanos, aunque de concentración relativamente baja en comparación con algunos lagos y ciertas áreas costeras, constituye el mayor reservorio de BPC ambientalmente móvil. La alta concentración de la contaminación en la parte norte de los océanos esta ligeramente correlacionada con el grado de desarrollo industrial.
- A pesar de la baja concentración en las aguas superficiales, los sedimentos de éstas contienen mayor concentración del contaminante y la concentración en la biota es aún mayor.

- Los residuos de BPC de los océanos están en continuo flujo con la atmósfera y los sedimentos.
- Los sedimentos de los océanos y lagos son los últimos depósitos de los BPC móviles aunque también es posible la re-introducción en otros compartimientos del ambiente.
- La tasa de sedimentación es mucho más rápida en océanos y aguas eutrofizadas de altas latitudes debido a la gran concentración de materia en suspensión presente donde los congéneres de BPC más clorados se absorben y depositan más fácilmente.

IV. LEGISLACION

Artículo 135 fracción V que establece que *“En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuo peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o reestablecer sus condiciones de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico”.*

El Artículo 16 de la misma ley que establece *“Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar la contaminación del suelo, las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos, las alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación y los riesgos y problemas a la salud.”*

El artículo 139 que establece *“Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales en los suelos se sujetará a lo que disponga esta ley, la ley de aguas nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría.”*

El artículo 40 que establece *“La generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberán sujetarse a lo que se establezca en las normas oficiales mexicanas que al respecto emita la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.”*

El artículo 42 que establece *“Cuando por cualquier causa se produzcan derrames, infiltraciones descargas o vertidos de residuos peligrosos durante cualesquiera de las operaciones que comprende su manejo, el generador y en su caso la empresa que preste el servicio, deberá aviso inmediato de los hechos a la Secretaría; aviso que deberá ser ratificado por escrito dentro de los tres días siguientes al día en que ocurran los hechos para que dicha dependencia esté en posibilidad de dictar o en su caso promover ante las autoridades competentes, la aplicación de las medidas de seguridad que procedan sin perjuicio de la medidas que establezcan las mismas autoridades en el ámbito de sus competencias.”*

<http://www.imacmexico.org>

Además de faltar a la Norma Oficial Mexicana NOM-133-ECOL-2000. *Protección Ambiental-Bifenilos policlorados (BPC) Especificaciones de manejo”* que establece como Niveles Máximos de contaminación de suelos industriales-comerciales 25 mg/kg.

V. ANTECEDENTES

La producción de BPC para usos comerciales se inició en los Estados Unidos en 1929, por la empresa Swann Chemical Company, adquirida después en 1935 por la trasnacional Monsanto, para responder a las necesidades de la industria de contar con un líquido refrigerante y aislante más seguro para los transformadores y condensadores industriales. Posteriormente, Monsanto creó la subsidiaria Salutia Chemical Company, única empresa productora de BPC en América del Norte en sus plantas de Illinois y Alabama, en los EE.UU. Otros países fabricantes de BPC fueron Alemania Oriental, Japón, Francia, España, Reino Unido, Italia, Japón, la antigua Checoslovaquia y la ex-URSS.

Los dos incidentes de contaminación por BPC más importantes que han hecho historia y por los que se ha puesto mayor atención a este compuesto químico como agente altamente contaminante han sido: el incidente de Yusho y la contaminación del Río Hudson (Erickson, 1986).

El incidente de 1968 en Yusho Japón, ocasionó un brote masivo de envenenamiento por alimentos, debido a la ingestión de aceite comestible contaminado con BPC y otros compuestos químicos; aunque después de algunos años el BPC fue exonerado como el culpable por medio de estudios que demostraron que el aceite contenía grandes cantidades de otros compuestos organoclorados, como el policloro dibenzo furanos (PCDF) en concentraciones de 5 ppm, policloroterfenilos (PCT's) con 1000 ppm y cerca de 100 ppm de BPC.

La contaminación del Río Hudson de los Estados Unidos en el cual la Compañía General Electric que manufacturaba capacitores con BPC en dos plantas localizadas adyacentes al Río, vertían grandes descargas del contaminante al medio; lo cual provocó exhaustivos estudios analíticos en la zona, estimándose un total de 600 Ton de BPC vertidos. La contaminación excedió en nivel y extensión cualquier otra área afecta con BPC en los Estados Unidos de tal manera que la concentración en los sedimentos fue de ordenes de magnitud mucho mayores que los de otros sistemas contaminados como por ejemplo, los encontrados en el Lago Ontario, el Lago Michigan, la Bahía Escambia de Florida e incluso de los suelos de la Compañía Monsanto que producía BPC (Erickson, 1986).

VI. JUSTIFICACIÓN

La detección, gestión y remediación de sitios contaminados en el territorio nacional debe ser una de las prioridades para poder prevenir y controlar el deterioro ambiental de los diferentes suelos del país.

Es de vital importancia el desarrollo de investigación que permita visualizar la magnitud real del problema de contaminación y que aporte a la vez, el sustento científico para la toma de decisiones encaminadas a prevenir, controlar, vigilar y remediar la contaminación del suelo.

Es necesario impulsar el diseño de procedimientos que permitan la realización de actividades o el manejo de sustancias clasificadas como altamente riesgosas, con una mínima probabilidad de ocasionar daños a la salud o al ambiente y reducir o eliminar las pérdidas económicas cuando se trata de nuevos proyectos. Los estudios de riesgo ambiental son un instrumento de carácter preventivo, vinculados al procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

México no está exento de la problemática ambiental y de salud que representan los bifenilos policlorados que aún están presentes en el país, ni de los riesgos que representa el transporte intercontinental de los mismos liberados en otras partes del mundo. Consecuentemente, su control debe ser una prioridad de política ambiental.

VII. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los residuos peligrosos se caracterizan por tener propiedades de corrosividad, reactividad, explosividad o inflamabilidad, por ello, un manejo inadecuado de los mismos puede ocasionar accidentes graves hacia el ambiente y la salud.

Se sabe que la exposición prolongada a residuos tóxicos puede causar en la población enfermedades vinculadas con el cáncer, malformaciones genéticas, daños renales y hepáticos.

Uno de los problemas ambientales que requiere mayor atención en México es el relativo a la detección y evaluación de sitios contaminados por residuos tóxicos ya que su cantidad y magnitud están evolucionando de tal forma que rebasan la capacidad de los ecosistemas para integrarlos nuevamente a los ciclos naturales.

En México no existe un inventario completo de datos oficiales confiables, acerca de los residuos peligrosos generados en el país, pero varios estudios calculan que la acumulación anual de desechos químicos, industriales y hospitalarios suman unos ocho millones de toneladas. La capacidad de procesamiento cubre menos de cinco por ciento de esa cantidad. Por ello, es de imperante necesidad desarrollar investigaciones que sustenten la toma de decisiones para la prevención y minimización de riesgos ambientales, ocasionados particularmente por la contaminación del suelo.

VIII. OBJETIVOS

8.1 Objetivo General

- Evaluar la pluma de contaminación por BPC de los componentes ambientales físicos y bióticos asociados a una nave industrial del Municipio de Alpuyecá Morelos, México.

8.2 Objetivos Particulares.

- Determinar la presencia y concentración de BPC en muestras de suelo del sitio de estudio, a través del análisis por cromatografía de gases/masas y captura de electrones.
- Determinar las características físicas y químicas del suelo del sitio de estudio (pH, densidad, textura, porcentaje de materia orgánica, permeabilidad, estabilidad de agregados, conductividad hidráulica, velocidad de flujo y porcentaje de arena, limo y arcilla).
- Caracterización general del sitio de estudio, mediante el análisis de muestras de agua, sedimentos y material biológico (flora y fauna), a fin de realizar un diagnóstico global de la contaminación por BPC.
- Aplicar la técnica de Peña *et al.* (2001) para el estudio del riesgo e impacto ambiental, dando mayor énfasis en la salud humana.

IX. HIPÓTESIS

Si las concentraciones de BPC, presentes en el terreno abandonado del Municipio de Alpuyeca, Morelos, sobrepasan los índices máximos permisibles de la norma NOM-133-Semarnat-2000, que establece 25 mg/Kg. como máximo para zonas comerciales e industriales; entonces el suelo estará severamente afectado, repercutiendo en sedimentos, agua, flora y fauna del sitio, con un riesgo potencial elevado de afectación en la salud humana.

X. METODOLOGÍA

10.1 ÁREA DE ESTUDIO

Las actividades que se desarrollan alrededor del sitio, son fundamentalmente de tipo agrícola (principalmente arroz y especies ornamentales) y pecuario (ganado bovino, porcino, ovino, caprino equino, asnal, así como aves de corral que producen principalmente carne y huevo; aunque en las colindancias existen núcleos residenciales, zonas arboladas, una gasolinera, un motel, un panteón y algunos restaurantes y/o puestos de comida. La tabla 7 presenta los principales datos demográficos del municipio de Alpuyec Morelos.

Tabla 7.- Datos demográficos del municipio de Alpuyec Morelos.

Localidad	Entidad Federativa	Municipio	Población total en 2000	Viviendas habitadas en 2000	Hombres en 2000	Mujeres en 2000	Población económicamente activa en 2000	Población económicamente inactiva en 2000	Población alfabetizada de 15 años y más
ALPUYECA	MORELOS	XOCHITEPEC	7230	1570	3614	3616	2494	2471	3913

10.1.1 Ubicación geográfica

El municipio de Xochitepec al que pertenece la localidad de Alpuyec, cuenta con una superficie de 89,14 Km.² Colinda al norte con el municipio de Temixco; al sur con el municipio de Puente Ixtla; al norte con el municipio de Tlaltzapán y al oeste con el municipio de Miacatlán. El municipio cuenta con 24 localidades, entre las más importantes se encuentran la cabecera de Xochitepec, Atlacholoaya, Alpuyec, Real del Puente y Chinconcuac. El municipio se encuentra geográficamente ubicado en los 18⁰ 46'50" de latitud, 99⁰ 14'24" de longitud y a un altitud de 1,200 m.s.n.m. (figura 4).



Figura.-4 Ubicación geográfica del municipio de Xochitepec

El municipio se considera de gran importancia en el Estado por su producción de caña de azúcar, arroz y por actividades relacionadas con la ganadería. La superficie ejidal del municipio es de 6,045 hectáreas. Los establecimientos industriales de tipo extractivos y de transformación dentro del municipio son escasos, por lo que la región se considera fundamentalmente natural (Figura 5).



Figura 5.- Microlocalización del área de estudio.

10.1.2 Orografía

Las zonas accidentadas que abarcan aproximadamente el 25% de la superficie, se localizan en la parte central, Oeste y Sureste del municipio, y están formadas por los cerros Colotepec, El Jumil, Las Flores, Acatlipa y La Corona; las áreas planas ocupan el 41%; y las semiplanas aproximadamente el 33% y se localizan en el Este y Sur del municipio.

10.1.3 Hidrología superficial y subterránea

Por el municipio, pasan los ríos Cuentepec y Apatlaco que pertenecen al río Amacuzac. Existen además arroyos de canales permanentes como: El Salado, El Tlazala, El Colotepec y variedad de manantiales como son: El San Ramón, El Palo, El Bolero, y El Real del Puente. Según los datos de la carta estatal de hidrología subterránea, la zona posee una unidad geo-hidrológica de alta permeabilidad, comportamiento de los niveles piezométricos estables y de corriente perenne (figura 6).



Figura 6.- Carta de hidrología subterránea con zonas de permeabilidad alta y acuíferos perennes
<http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx>

El río Amacuzac, se encuentra dentro del Municipio de Amacuzac a una altitud de 850 m.s.n.m. entre los $99^{\circ} 22' 36.7''$ de Latitud Oeste y los $18^{\circ} 35' 50.6''$ de Longitud Norte, el sustrato presente en el río en esta localidad es rocoso arenoso, con grandes playas de arena, con temperatura promedio de 22.7°C . La corriente principal de las subcuencas del Alto y Bajo Amacuzac, es el río Amacuzac, siendo ésta una de los afluentes más importantes del río Balsas y se origina en las faldas del volcán Nevado de Toluca. El río Amacuzac presenta intensas avenidas en los meses de verano y leves escurrimientos en los

restantes, su morfología es caracterizada por una secuencia alternante de corrientes y remanso que son originados por cambios en el gradiente. Las corrientes presentan el fondo denominado por canto rodado y grava, en los remansos existe arena y lodo. El clima que predomina en el río Amacuzac es Aw" o (w) (i) g.

10.1.4 Inundaciones

En el municipio no se tiene registradas inundaciones por lo menos de 1988 a la fecha.

10.1.5 Clima

El clima del municipio es templado semi-seco, con invierno poco definido. La mayor sequía se presenta al final del otoño, invierno y principios de primavera según lo establecido en Köppen, modificado por Enriqueta García en 1964. En la región se registra una temperatura media de 23.7⁰ C, una precipitación pluvial de 840 mm. Anuales con un período de lluvias de junio a octubre.

10.1.6 Geología

El suelo de la región posee un suelo del terciario y cuaternario de la era Cenozoica con rocas de tipo ígnea extrusiva y sedimentaria con macizos montañosos de mediana altitud. En el área no se detectaron corrimientos de tierra, derrumbamientos, hundimientos y no existen riesgos radiológicos en la zona (Figura 7).

La zona no es sísmica, pero en ocasiones llegan a detectarse levemente algunos movimientos con epicentros en otros Estados de la República Mexicana, siendo sus efectos mínimos a nulos en las construcciones de la localidad.

10.2 FACTORES BIÓTICOS

10.2.1 Fauna

La fauna esta constituida por: vando de cola, jabalí de collar, mapache, tejón, zorrillo, armadillo, liebre, conejo común, coyote, gato montés, comadreja, cacomixtle, tlacuache, murciélago, pájaro bandera, chachalaca, urraca copetona, zopilote, aura, cuervo, lechuza, aves canoras y de ornato. El alacrán también característico de la zona. Entre las especies acuáticas de ríos y arroyos se encuentran diferentes variedades de tilapias, trucha, carpa, langostino y otros crustáceos. La pesca se ejerce regularmente en los ríos y arroyos que cruzan la zona. La tabla 8 presenta la relación de biodiversidad las especies acuáticas existentes en el río Amacuzac según el estudio reportado por Trujillo *et al.* 1999.

Tabla 8.- Relación de las especies de especies acuáticas registradas en el río Amacuzac. (Tomado de Trujillo *et al.* 1999).

Peces	Anfibios	Parásitos	Fitoplancton	Zooplancton	Insectos
Familia Cyprinidae <i>Notropis</i> <i>boucardi</i>	Familia Bufo <i>Bufo</i> <i>marmoratus</i>	Trematoda (Metacercarias) <i>Centrocestus</i> <i>formosanus</i>	Familia Achnanthaceae <i>Cocconeis</i> <i>placentula</i> var. <i>lineata</i>	Familia Brachionidae <i>Platyias</i> <i>quadricornis</i>	Familia Elmidae <i>Heterelmis</i> <i>glabra</i>
Familia Characidae <i>Astyanax</i> <i>fasciatus</i>	<i>Bufo marinus</i> <i>Bufo valliceps</i>	<i>Uvulifer</i> sp .	Familia Coscinodiscaceae <i>Cyclotella</i> <i>meneghiniana</i>	Familia Cyclopoidea <i>Ectocyclop</i> sp.	<i>Heterelmis</i> <i>oscura</i> <i>Hexacylloepus</i> sp nov <i>Macrelmis</i> sp
Familia Ictaluridae <i>Ictalurus</i> <i>balsanus</i>	Familia Hylidae <i>Hyla smithii</i>	Nematoda (adultos) <i>Rhabdochona</i> <i>kidderi</i> <i>Capillaria</i> <i>cyprinodonticola</i>	Familia Desmidiaceae <i>Closterium lunula</i> var. <i>lunula</i> <i>Cosmarium</i> <i>biocolatum</i>	<i>Macrocyclus</i> <i>albidus</i>	<i>Microcyloepus</i> <i>inaequalis</i>
Familia Goodeidae <i>Ilyodon whitei</i>	<i>Pachymedusa</i> <i>dacnicolor</i>	Nematoda (Larvas) <i>Eustrongylides</i> sp .	Familia Fragilariaceae <i>Synedra goulardii</i>	Familia Daphnidae <i>Simocephalus</i> <i>mixtus</i>	Familia Hydrophilidae <i>Berosus</i> <i>regulosus</i> <i>Berosus</i> <i>mexicanus</i> <i>Tropisternus</i> <i>ellipticus</i> <i>Tropisternus</i> <i>mexicanus</i>
Familia Poeciliidae <i>Heterandria</i> <i>bimaculata</i> <i>Poecilia</i> <i>sphenops</i> <i>Poeciliopsis</i> <i>gracilis</i>	Familia Microhylidae <i>Gastrophyne</i> <i>olivacea</i>		<i>Synedra ulna</i> var. <i>contracta</i>	Familia Lecanidae <i>Lecane luna</i>	
Familia Cichlidae <i>Cichlasoma</i> <i>istlanum</i> <i>Cichlasoma</i> <i>nigrofasciatum</i> <i>Oreochromis</i> <i>aureus</i>	Familia Ranidae <i>Rana zweifeli</i> <i>Rana</i> sp.		Familia Naviculaceae <i>Caloneis bacillum</i> <i>Gomphonema</i> <i>ventricosum</i> <i>Navicula</i> <i>subrhyncicephala</i>	Familia Moinidae <i>Moina</i> sp.	
			Familia Nitzschiaceae <i>Denticula elegans</i> <i>Nitzschia agnita</i>	Familia Philodinidae <i>Rotaria</i> sp.	
				Familia Testudinellidae <i>Testudinella</i> <i>patina</i>	

<p>Oscillatoriaceae <i>Blenothrix ganeshii</i> <i>Oscillatoria</i> <i>princeps</i> Familia Scenedesmaceae <i>Scenedesmus</i> <i>armatus</i> Familia Ulothricaceae <i>Ulothrix zonata</i> Familia Zygnemiteaceae <i>Spirogyra</i> sp.</p>
--

10.2.2 Flora

De acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1986), la vegetación de la región está constituida principalmente por selva baja caducifolia de clima cálido, con especies de jacarandas, tabachín, cacahuete, ceiba y bugambilia como representantes principales. Son característicos de la zona el higo, el mango, la pera y alfalfa. Los viveros de municipio, constituyen una de las actividades de preservación y control de especies vegetales explotadas de la zona. El Estado de Morelos en si mismo, es un ecosistema excepcional, no solamente por las poblaciones de animales y vegetales que la habitan sino también por sus paisajes de gran belleza natural y clima de fama turística. La tabla 9 presenta la relación de biodiversidad las especies vegetales existentes en el río Amacuzac según el estudio reportado por Trujillo *et al.* 1999.

Tabla 9.- Relación de las especies de Macrofitas registradas en el río Amacuzac (Tomado de Trujillo *et al.* 1999)

ANGIOSPERMAS	
MONOCOTILEDONEAS	DICOTILEDONEAS
Familia Cyperaceae	Familia Asteraceae
<i>Cyperus odoratus</i>	<i>Eclipta prostrata</i>
<i>Eleocharis acicularis</i>	Familia Brassicaceae
Familia Juncaceae	<i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i>
<i>Juncus aequinoctialis</i>	Familia Polygonaceae
Familia Pontederiaceae	<i>Polygonum punctatum</i>
<i>Heteranthera reniformes</i>	Familia Scrophulariaceae
Familia Potamogetonaceae	<i>Bacopa monnieri</i>
<i>Potamogeton crispus</i>	<i>Lindernia dubia</i>
Familia Zannichelliaceae	<i>Mimulus glabratus</i>
<i>Zannichellia palustres</i>	

10.2.3 CONTAMINACIÓN EN LA ZONA

El municipio no cuenta con datos oficiales sobre niveles o indicadores de contaminación en la zona. Sin embargo, por observación directa se aprecia que las condiciones atmosféricas del municipio no presentan rasgos críticos de contaminación como pudieran ser nieblas, smog, inversiones térmicas, principalmente.

10.3 CENTROS TURÍSTICOS

El municipio cuenta con lugares de interés turístico, como balnearios y construcciones de interés histórico y cultural. Al norte del municipio se encuentran las ruinas de Xochicalco, centro arqueológico de gran importancia turística; existen además antiguas haciendas como la de Atlachoaya, la de Real del Puente y la de Acueducto así como infinidad de iglesias de gran belleza como el convento franciscano de San Juan Evangelista además de la belleza de los paisajes y la flora del municipio. Los balnearios "San Ramón" ubicado en el poblado de Chinconcuac y "Palo Bolero" ubicado en el Ejido de Alpuyeca, son centros de atracción que tienen aguas sulfurosas. También existe el balneario ecoturístico "Centro Campestre", que se distingue por la vegetación que hace de este lugar un "oasis".

10.4 REGISTRO HISTÓRICO DE LA PROBLEMÁTICA DEL SITIO

En 1960 en el sitio de referencia, fue construida la fábrica de capacitores "Sprague Mexicana" posteriormente denominada "Electrocap S.A." empresa de capital norteamericano de la compañía *Sprague Electrical de Massachussets* y con socios mexicanos que hasta su cierre en 1972 fabricaron diferentes tipos de capacitores a los cuales se aplicaba Clorinol® para compuestos bifenilos policlorados fabricado y exportado a México por la compañía americana Monsanto.

De 1973 al 2001 la empresa Lindest, S.A. de C.V. compró el predio para que se instalase en ella su filial Química Croda S.A. de C.V. del grupo Regio empresas S.A. de C.V. En 1991 empleados de Química Croda localizan un enterramiento de diferentes tipos de capacitores con defectos de fabricación en una fosa en la parte posterior del predio. En 1988 la empresa Productos Linsdest, S.A. de C.V. Decide vender el predio sin dar aviso a las autoridades correspondientes del hallazgo de los capacitores encontrados en el sitio.

En 1999 se realiza un procedimiento administrativo de clausura temporal por parte de la Procuraduría de Protección al Ambiente (PROFEPA) de la delegación del Estado de Morelos en contra de Química Croda S.A. de C.V. y/o la empresa Productos Lindest, S.A. de C.V. por el cierre irregular de instalaciones. Sin embargo, para marzo del 2000 PROFEPA emite una resolución de "no existencia de contaminación en el sitio al cierre de las actividades de la empresa" mediante el oficio PFFA-MOR-703/2001.

Con fecha de 25 de julio del 2001 el Ing. Alfonso Cabañas (comprador) adquirió el predio localizado en la calle privada de las Flores No. 1, en la localidad de Alpuyecá, municipio de Xochitepec, Código Postal 14210, a los dueños de la empresa Productos Lindest, S.A. (Parte vendedora). Durante la revisión de los documentos legales del predio, el comprador visualizó que en el pasado la empresa había sido clausurada por la PROFEPA ante lo cual, el comprador solicitó información ante la Delegación en Estado de Morelos de la PROFEPA sobre las clausuras a las cuales fue sometida dicha empresa. La respuesta de la PROFEPA mediante el oficio PFPA-MOR-703/2001 número de folio 03212, resolvió que después de haber realizado el diagnóstico ambiental sobre el cierre y disposición adecuada de residuos peligrosos *“No existe contaminación en el predio.”* Sin embargo, el comprador al realizar obras de desmonte (abatimiento de plantas herbáceas y arbustivas) del sitio, se descubrió restos abandonados de capacitores dentro de una fosa clandestina con dimensiones aproximadas de 4 X 4 X 3 metros.

Durante la entrevista con los ex-trabajadores de la empresa Electrocap. S.A. Los ex-empleados de la compañía testificaron que durante la época en que estuvo en operación la empresa (1962 a 1978), habían depositado esporádicamente en la fosa de entierro la merma de producción de los capacitores.

Con el motivo de determinar el tipo de residuos de que se trataba, establecer el grado de peligrosidad y el tipo de tratamiento más adecuado para los residuos enterrados, el comprador contrató los servicios de la empresa “Ecósfera, Ingeniería Ambiental y Ecología de México, S.A. de C.V.” la cual subcontrató al laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) “Ecología Industrial” para realizar un muestreo de suelo de acuerdo al método EPA 8082b-1996 para determinar bifenilos policlorados por cromatografía de gases/masas. El laboratorio realizó dos mediciones en el suelo del sitio de referencia: El primer muestro, se realizó a una profundidad de 0.0-1.10 m, encontrando compuestos de BPC de la familia Aroclor 1254, a una concentración de 28,900.0 mg/Kg de suelo El segundo muestreo se realizó a una profundidad de 1.10-1.50 m encontrándose nuevamente BPC a una concentración de 1,470 mg/Kg de suelo. Y con el fin de determinar si existe contaminación del agua subterránea y equipos de bombeo y almacenamiento de predio, el comprador solicitó posteriormente a los laboratorios “ABC Química, Investigación y Análisis S.A de C.V” también acreditados por EMA, la realización de análisis de bifenilos policlorados en muestras de agua del depósito de almacenamiento y en el equipo de bombeo que extrae agua del subsuelo del sitio encontrando solo pequeñas concentraciones de 0.256 µg/L en la muestra obtenida del depósito de almacenamiento de agua que aunque a nivel de trazas no deberían por normatividad encontrarse en los suministros de agua para abastecimiento humano.

Como es de suponerse, esta irregularidad conocida como pasivo ambiental, representa además del grave problema ecológico, un delito ambiental que deberá resolverse ante un juez de lo legal para deslindar responsabilidades, imponer las sanciones respectivas, y sobre todo, establecer los lineamiento

para la remediación del sitio contaminado de acuerdo a lo establecido por la Ley General de Ecología y Protección al Ambiente.

Para realizar la evaluación del sitio contaminado fue necesario coleccionar, clasificar y conjuntar toda la información y los antecedentes del área para identificar y priorizar la problemática de la zona, fue necesario considerar los siguientes puntos:

- Análisis de la historia de la localidad a través de fotografías del lugar, mapas de uso del suelo.
- Descripción detallada de las actividades de agricultura, tipos de cultivos, y tipo de ganadería.
- Conocimiento de las actividades previas a través de información registrada en archivos y dependencias reguladoras.
- Localización de construcciones, tuberías de desagüe, redes de alcantarillado, drenaje y tanques de almacenamiento.
- Establecimiento de las características físicas y químicas del suelo.
- Revisión de la información hidrogeológica del área y localización de acuíferos y suministros de agua. Ubicación lagos, veneros y pozos.
- Obtención de datos meteorológicos (clima y pronóstico del tiempo, vientos prevalecientes, niveles de precipitación, perfiles de temperatura).
- Ubicación de centros de población cercanos y caracterización de la población expuesta al riesgo.
- Consulta bibliográfica y electrónica acerca de las características del los BPC.
-

10.5 Descripción del sitio contaminado

En el pueblo de Alpuyecá, del municipio de Xilotepec estado de Morelos, se localiza una planta industrial donde se encuentra un sitio contaminado con BPC. La planta posee una superficie de 50,025 m² de los cuales 3,045 m² son de construcción. Colinda al norte con una quinta residencial en la calle privada de las Flores; al sur con terrenos baldíos y zonas arboladas; al este con terrenos baldíos y al oeste con quintas residenciales. Dentro de la planta existe un área de 550 metros cuadrados la cual, en el pasado fue una fosa de disposición final de pequeños capacitores que contienen BPC. Dichos artefactos son residuos de la merma de la producción de la empresa Electrocáp S. A. en la época de 1962 a 1978 que posterior a su cierre no descontaminó, quedando una gran cantidad de estos enterrados en una fosa de 4 x 4 x 3 metros, que a través del tiempo y por la acción del intemperismo atmosférico han quedado al descubierto y han provocado la oxidación de los capacitores con la correspondiente liberación del contaminante al suelo (anexo fotográfico 1). A escasos 100 m del sitio hacia 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 las cuales, se presume que están siendo afectados por la contaminación del sitio.

Los sitios de muestreo de contaminación en las zonas de estudio, fueron seleccionados en base a la mayor probabilidad de producir impactos negativos sobre la calidad de agua tanto superficial como subterránea, suelo, sedimentos, flora, fauna y salud de la población de la localidad aledaña.

Se seleccionaron tres zonas para el muestreo: la primera llamada foco de contaminación es el sitio sobre la fosa donde fueron enterrados los capacitores; el segundo sitio es área comprendida a partir del extremo inferior del foco de contaminación y hasta la valla metálica que delimita la colindancia del terreno y la tercer área es la constituida por la zona circundante de la acequia, el venero (ojo de agua) y el río. Con esta evaluación se determino el tipo de muestreo y análisis requerido y también sirvió para confirmar que zonas están probablemente libres de contaminación.

Puesto que la dosis de exposición de los organismos contempla también la aportación por ingestión de agua, fue necesario caracterizar este medio. Las muestras se tomaron de la acequia y el ojo de agua. Las áreas muestreadas fueron ubicadas fuera del área cercada con la valla metálica, ubicado al sureste del foco de contaminación como se muestra en la figura 7. Se seleccionó esta área ya que se encontraron huellas y excretas de fauna, lo cual indica que esta es una de las fuentes de abastecimiento de agua para la fauna del sitio y además, es posible que dentro del área, lleguen a formarse charcos u otras fuentes de abastecimiento durante los periodos de intensa lluvia, debido a cercanía del nivel freático (escasos 2.5 a 3 m de profundidad), el cual en época de lluvia es bastante somero.

10.6 Recolección de muestras

La toma de las muestras se realizó con un equipo nucleador de 15 cm. de profundidad (como se muestra en el anexo fotográfico 2). En el área del foco de contaminación se tomaron 10 muestras, etiquetadas como B-1 a la B-10 del área donde fueron depositados los desperdicios de la producción de capacitores dieléctricos con un área total de 750 m².

En la segunda zona, se tomaron aleatoriamente 11 muestras de suelo a una profundidad de 10 cm. etiquetadas de la A1 a la A11. Se tomaron además 3 muestras en canal de desagüe donde en el pasado se hacia la aplicación de Clorinol (nombre comercial del BPC utilizado en sitio) a los equipos dieléctricos, las muestras fueron etiquetadas como C-1, C-2 y C-3. Se tomaron también dos muestras del suelo en el centro de la nave industrial donde se aplicaba el Clorinol etiquetada como E-1 y E-2 en los primeros 5 cm. de profundidad, y cuatro muestras del ojo de agua etiquetadas de A-1 a A-4.

En la tercera zona, se tomaron muestras de sedimentos de la acequia etiquetada como F1 cabe hacer la aclaración que de la acequia se tomaron también muestras de agua. El criterio que se siguió para la colecta fue una selección de puntos de muestreo totalmente al azar para que fuese estadísticamente representativo.

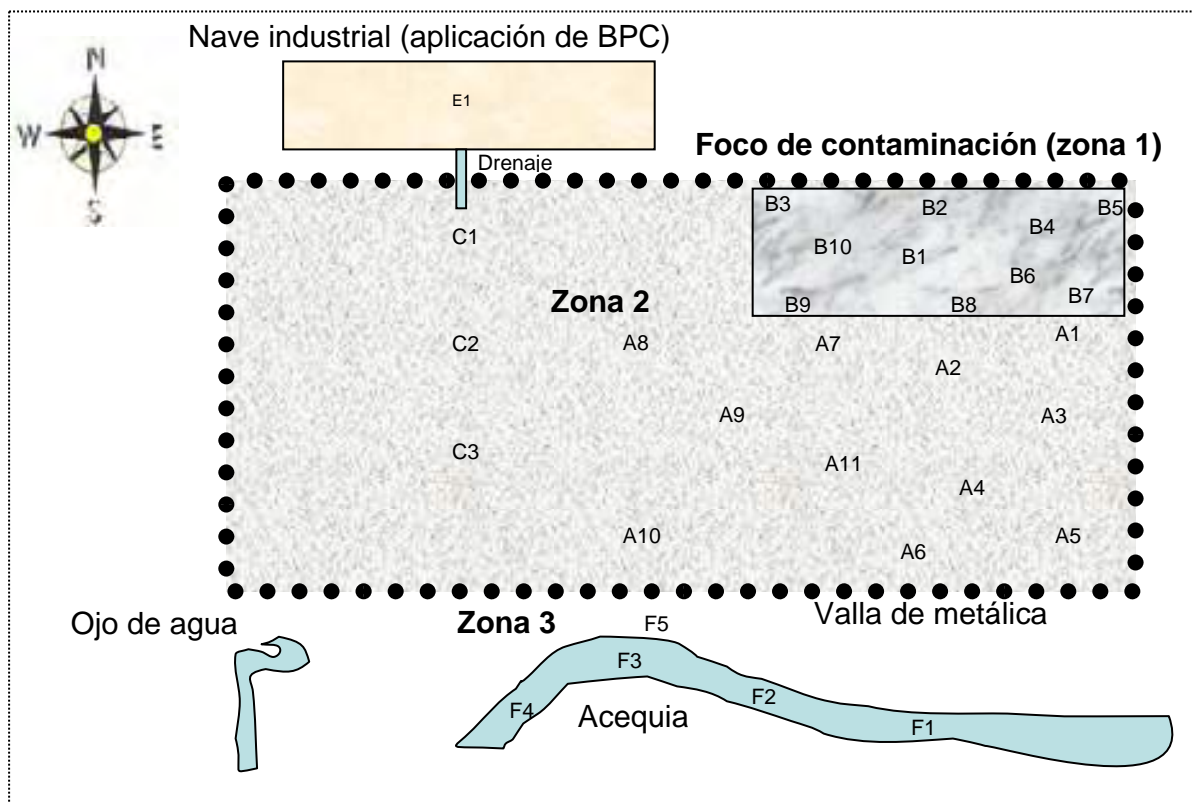


Figura 7.- Puntos de muestreo dentro del sitio contaminado

Las muestras de suelo y sedimento fueron colectadas en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas con los datos de fecha, localidad, número de muestra y almacenadas a 4° C para su transporte siguiendo los lineamientos adecuados para realizar la cadena de custodia y anotación en bitácora hasta el laboratorio de análisis.

Se tomaron 5 muestras de agua de la acequia en frascos de vidrio color ámbar de boca angosta que se mantuvieron en refrigeración hasta el momento de su procesamiento.

Se realizó la determinación cuantitativa del contenido aceitoso de un frasco de cristal que se encontró enterrado en el suelo del foco de contaminación que presumiblemente consideramos como residuos de Clorinol (nombre comercial de producto de BPC utilizado en los capacitores).

Se colectaron 9 especies vegetales, siendo las más representativas de la zona 1 y 2; las cuales fueron herborizadas para su determinación en el herbario de la FES-Z. Se obtuvieron 7 ejemplares de lombrices.

Se consiguió un total de 52 muestras estadísticamente representativas tomadas en el sitio de estudio y 2 muestras más en un sitio testigo. El muestreo y monitoreo fue realizado en los periodos de 20 de Enero, 23 de Julio y 15, 22 y 29 de Octubre de 2005.

La toma de muestra se realizó siguiendo los métodos estandarizados de extracción de muestras.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de compuestos xenobióticos del Centro de Investigaciones y estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional para su procesamiento.

10.7 Procesamiento de las muestras

En el laboratorio de compuestos Xenobióticos del Cinvestav-IPN, las muestras de sedimento y suelo fueron secadas en estufa a 105⁰ C por 24 h. Posteriormente fueron tamizadas y homogenizadas utilizando una criba de 1 mm.

10.8 Determinación del rendimiento de extracción del contaminante

Debido a que el suelo del sitio muestreado posee un alto contenido de materia orgánica que dificulta la extracción de los contaminantes. Se realizó la determinación del rendimiento de extracción de un gramo de suelo de una muestra mediante dos métodos: La extracción convencional con equipo Soxhlet y la extracción líquido-sólido con centrifugación a 5000 r.p.m. a 4 °C; en ambos, se utilizó una mezcla de hexano-acetona 3:1 grado HPLC para la extracción. El rendimiento de extracción con el equipo de centrifugación fue de un 80% ± 3 mejor que la extracción convencional ya que proporciona una mejor desorción del contaminante del suelo.

10.9 Digestión, Secado, purificación y concentración

Al extracto de la muestra del proceso anterior se le añadieron 5 mL. H₂SO₄ concentrado para la eliminación de la materia orgánica separando el exceso de ácido con 5 gotas de agua des-ionizada por decantación. La muestra fue secada con sulfato de sodio anhidro; posteriormente fue purificada en columna cromatográfica conteniendo 2-3 cm. de florisil 60 mesh y concentrada en un equipo rotavapor hasta sequedad y finalmente recuperada en con 1 mL. de hexano grado HPLC. El extracto fue depositado en viales de 1.5 mL. con tapa de teflón previamente etiquetado y almacenado en refrigeración a 4⁰ C hasta su análisis cromatográfico.

10.10 Extracción de muestras acuosas

La extracción de contaminantes de la fase acuosa se realizó siguiendo el método de extracción líquido-líquido en un embudo de separación utilizando una mezcla de hexano-acetona 3:1 agitando por 45 min. y tres veces más, agitando por 15 min. con el objetivo de extraer la mayor cantidad del analito de las muestras acuosas. Se separaron las fases acuosa y orgánica por decantación y se añadió ácido sulfúrico para digerir las interferencias orgánicas. El extracto orgánico fue secado en sulfato de sodio anhidro, filtrado en membrana nylon + GL de 0.2 µm. y condensado en rotavapor hasta sequedad, recuperándolo finalmente en un vial en un 1 mL. con hexano.

10.11 Extracción de muestras en tejidos animales y vegetales

Para la extracción en tejidos animales (lombrices) y vegetales se realizó la misma técnica que para el suelo, solo que previamente las lombrices y las plantas fueron lavadas dos veces con agua destilada, deshidratadas en estufa a 105 °C por 1 h. y trituradas hasta lograr un polvo fino. En el caso de las especies vegetales se separó la raíz del resto de la planta para así obtener dos muestras compuestas de las 9 especies colectadas.

10.12 Soluciones de referencia

Dado que el estudio propuesto se enfoca específicamente a contaminación por bifenilos policlorados se realizó la compra del Estándar comercial de Aroclor® 1254 a la Casa Comercial Supelco para utilizarlo como patrón de referencia en la comparación de los resultados analíticos.

10.13 Caracterización física y química de suelo

La caracterización del suelo (textura, pH, densidad real y aparente, materia orgánica, color, permeabilidad y porosidad) fue realizada en el laboratorio de suelos y siguiendo la metodología del manual de Practicas de Edafología de la FES-Zaragoza (Vázquez, 1993).

10.14 Caracterización de la Biota

Se realizó la caracterización biológica con objetivo de realizar un listado de flora y fauna existente en el sitio de estudio y elegir los indicadores de evaluación.

Se realizó el levantamiento de la flora existente con el propósito de establecer si el sitio presenta características de perturbación desde el punto de vista ecológico. Para obtener el listado de especies vegetales y la descripción del tipo de vegetación presente en el sitio de estudio, se realizaron recorridos aleatorios poniendo especial énfasis en la abundancia relativa de especies en la zona 1 del foco de contaminación. En la zona 2, durante los recorridos se tomó nota de las especies que se observaron, y se colectaron los especímenes más representativos; asimismo se tomaron fotografías de los mismos. Las plantas colectadas fueron herborizadas y se encuentran en el herbario de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM. (Anexo fotográfico 1)

En el sitio contaminado se buscaron también ejemplares de invertebrados, con énfasis en las lombrices, ya que la ausencia de estos organismos en el sitio de estudio, y su presencia en el sitio testigo, podría indicar que los contaminantes están ejerciendo un efecto adverso, al menos en este tipo de organismos. Con respecto a los mamíferos existentes en el sitio, se detectó en varias ocasiones la presencia de liebres silvestres pero como se encontraban en proceso de reproducción (preñadas) se decidió no realizar la colecta de especímenes.

10.15 Análisis Estadístico de las Muestras

Los cálculos estadísticos para validar el tamaño de muestra representativo, se realizaron en programa Excel, obteniendo de esta manera la media, desviación estándar, moda, etc., necesarias para realizar la prueba de distribución “T de Student”. Los conjuntos de valores se aplicaron con base al tamaño de la muestra (N’), con los siguientes criterios:

- Se seleccionó el riesgo estadístico (α) (intervalo de confianza del análisis), de acuerdo a los siguientes factores: El conocimiento de la zona donde se realizó el muestreo y la calidad técnica del personal participante en el muestreo.
- Los valores de Error Muestral (E) y la Desviación Estandar (σ) se propusieron de acuerdo a las experiencias observadas en trabajos similares.
- El valor de Nivel de Confianza (ZP) fue determinado empleando una tabla de distribución normal acumulativa, con base en el valor de riesgo elegido (α).
- Tamaño de la Premuestra, este valor se determino de acuerdo al riesgo (α) eligiendo el tamaño de la premuestra.

Una vez rechazadas o aceptadas las observaciones dudosas, se procedió a realizar un análisis estadístico de los “n” valores promedio, con el fin de obtener información de las concentraciones de los puntos de muestreo así como la desviación estándar de cada uno de ellos como conjunto de valores, con respecto a la media.

10.16 Verificación del Tamaño de la Premuestra

Habiendo realizado el análisis estadístico comentado en el punto anterior, se verifica el tamaño de la premuestra, calculando el tamaño real de la muestra, con base en la desviación estándar muestral y empleando la distribución “T de Student”. La determinación del tamaño real de muestra, se realizó con la siguiente expresión:

$$nI = \left[\frac{t * s}{E} \right]^2$$

Donde:

nI = Tamaño real de la muestra.

E = Error muestral empleado en la determinación del premuestra.

S = Desviación estándar muestral obtenida del análisis estadístico del punto anterior

t = Percentil de la distribución “T de Student” correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

10.17 CARACTERIZACIÓN ANALÍTICA

La caracterización cuantitativa de los contaminantes se realizó en un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones marca Perkin Elmer Autosystem modelo N610-0433 del laboratorio de Compuestos Xenobióticos del Cinvestav-IPN. Se eligió este sistema por su gran poder de detección de bajas concentraciones.

Condiciones Operativas del Cromatógrafo de Gases con detector de captura de electrones Perkin Elmer Autosytem Modelo N610-0043.

Horno:	
Gas portador He/presión	10 psi
Temperatura de inyección	250 ° C
Detector de temperatura	370 ° C
Temperatura inicial	25 ° C mantener por 2 min.
Programa de temperatura	15° C hasta 285 ° C a 4 °C/min
Temperatura final	285 ° C mantener por 10 min.
Inyección	2 µ
Columna	SPB-5 30m X 0.25mm X 1.5 µm

Condiciones Operativas del Cromatógrafo de Gases acoplado a Espectrometría de Masas Agilentc7 Autosytem Modelo 6890N.

Horno:	
Gas portador He/presión	10 psi
Temperatura de inyección	250 ° C
Detector de temperatura	280 ° C
Temperatura inicial	70 ° C mantener por 2 min.
Programa de temperatura	25° C hasta 150 ° C a 4 °C/min
Temperatura final	280 ° C mantener por 8 min.
Inyección	1 µ
Condiciones del espectrómetro de masas	
Temp. Fuente de ionización	250 ° C
Energía de electrón	70 eV
Barridos de masa	50-500 Da,
Tiempo de barrido	1 seg/ década
Detector	250 V
Columna	HP5MS 30m X 0.25mm X .25 µm

En la realización de todos los análisis se cuidaron los estándares de calidad QC/QA.

10.18 ESTUDIO DE TAMAÑO DE LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN

Se utilizó el programa Surfer® 8 para determinar la pluma de contaminación del sitio mediante la distribución gráfica de la concentración de bifenilos policlorados en los diferentes puntos de monitoreo, identificando y caracterizando muestras de núcleo de suelo contaminado a una profundidad de 0.10 m. utilizando una equipo nucleador de 4¼ de pulgada de diámetro.

10.19 ANÁLISIS DE RIESGO

Se realizó el estudio del riesgo ambiental como unidad de medida para visualizar la problemática ambiental mediante el riesgo comparativo del sitio poniendo especial énfasis en la salud humana, la calidad ambiental y el establecimiento de prioridades de restauración.

10.19.1 Estimación del riesgo por grado de exposición

El análisis de riesgo para evaluar la posible afectación del sitio se realizó siguiendo la metodología descrita por Peña *et al.* 2001. En la cual, las variables a considerar en el análisis fueron: tipo de contaminantes, efectos potenciales sobre salud y/o ambiente, rutas de migración de la contaminación, existencia y número de receptores de la contaminación además de la localización específica del sitio, escenario, rutas, transporte, vías y evaluación de la exposición, presencia de sub-poblaciones sensibles, evaluación de la toxicidad.

Para realizar la valoración de la exposición de la migración de cada uno de los contaminantes a los receptores más próximos, se utilizó una modelación conceptual de migración mediante el programa Surf 8.0; 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 la existencia de microorganismos en el suelo esté existiendo biodegradación de los contaminantes. Para desarrollar la hipótesis del peor escenario, se supuso que las poblaciones Jojutla y Zacatepec 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 sería suministrado por el mismo acuífero.

Se identificaron los factores de la pendiente carcinogénica (FPC). Las estimaciones se realizaron 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.

10.20 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

La finalidad principal de esta sección, fue utilizar algunas de las herramientas de la evaluación del impacto ambiental para poder contribuir en la determinación de las alteraciones ambientales ocurridas en el sitio, como consecuencia de la mala disposición de los capacitores que contienen BPC y en esta percepción, preferimos el término evaluación del daño ambiental o

evaluación del pasivo ambiental ya que esta enfocado en los impactos ambientales negativos.

Se realizó la valoración del impacto producido por los contaminantes en los diversos compartimientos ambientales mediante el estudio del medio, identificando sus elementos susceptibles de alteración así como el análisis de los impactos mediante: la definición de la magnitud de la contaminación que puedan producir alteraciones en el entorno, la definición de los elementos ambientales alterados "Relación causa-efecto", la caracterización de cada uno de los impactos identificados, el valor de importancia y magnitud de cada impacto, valoración global, y valor de importancia que recibe el impacto. Para ello, fue necesario realizar la división del área de estudio en diferentes compartimientos ambientales, en zonas de interés y por el grado de concentración del contaminante en el sitio a saber, área de impacto, severidad del impacto, reversibilidad del impacto, valor de los ecosistemas e incertidumbre.

Se realizó además, la identificación de la fauna y flora potencialmente receptoras mediante la valoración del sitio y de los ecosistemas; determinando la biodiversidad existente e identificando las posibles poblaciones sensibles y cualquier especie amenazada o puesta en peligro mediante la selección de especies indicadoras. Para ello fue necesario revisar el inventario de especies residentes de la zona reportado por la base de datos de la Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO) y los estudios sobre biodiversidad existente en los ríos Colotepec-Apatlaco realizados por (Trujillo *et al.* 1999).

XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

11.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO

La tabla 10 presenta los resultados de los análisis de la caracterización física y química del suelo contaminado con BPC en la comunidad de Alpuyeca, Morelos. Como se puede observar, a partir del análisis se determinó que es un suelo Franco-arenoso, con características físicas comunes al suelo de la región.

Tabla 10.- Caracterización físico-química del suelo proveniente del sitio de estudio

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Densidad aparente	0.1683
Densidad Real	2.93
% Arena	72.61
% Limo	25.14
% Arcilla	2.24
Nombre Textural	Arena – Migajosa
Estabilidad de Agregados	Alta
Permeabilidad cmh^{-1}	4.3
Conductividad Hidráulica cm/h.	26.8
Velocidad de flujo cm^3h^{-1}	125

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

pH Real	6.7 Ligeramente Ácido
pH Potencial	7.3
% de Materia Orgánica	10.4 Alto

Comparando los valores para la conductividad hidráulica de la tabla 11:

Tabla 11.-Conductividad hidráulica del suelo. *Tomada de <http://www.ceniap.gov.ve>

Conductividad hidráulica (cm/hora)	Características
0,1	Muy lenta
0,1 - 0,5	Lenta
0,5 - 2,0	Moderadamente lenta
2,0 - 6,0	Moderada
6,0 - 12,0	Moderadamente rápida
12,0 -18,0	Rápida

Se observa que esta, es rápida y se ratifica con los datos de permeabilidad, ya que valores de K (permeabilidad) inferiores a 0.04 cmh^{-1} indican suelos u horizontes fuertemente impermeables. Valores de 0.2 cmh^{-1} hablamos de horizontes o suelos poco permeables. Valores por encima de 5 cmh^{-1} deben considerarse como excesivamente permeables. Nuestro valor se encuentra en 4.3 cmh^{-1} , considerándose muy permeable ya que pertenece a la clase textural franco-arenosa. <http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFPermeabilidad.htm>

Sobre la base de las características de alta permeabilidad del suelo del sitio contaminado, la cubierta vegetal densamente poblada y precipitación media anual de 840 mm se puede obtener un coeficiente de escurrimiento que representa el agua precipitada que se acumula en la superficie, para el caso de estudio se encuentra entre 50 y 70%, se caracteriza por hallarse en terrenos de topografía suave en su mayoría con algunas pendientes poco pronunciadas lo que facilita la movilidad del contaminante por la infiltración de la precipitación pluvial (en este caso por movimiento másico), hacia el acuífero subterráneo que en particular se encuentra a 3 m. de profundidad y hacia la acequia que se encuentra a escasos 80 m. al sureste del foco de contaminación.

11.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Los resultados de los muestreos de suelos y sedimentos contaminados con BPC en el municipio de Alpuyeca Morelos. Arrojaron un total de 52 datos, a partir de los cuales se realizaron los análisis estadísticos.

11.3 CALCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA.

Se determinó el promedio y desviación estándar para cada uno los valores obtenidos; así mismo se determinó el tamaño real de muestra con base en la desviación estándar muestral y empleando la distribución "T de Student", mediante la siguiente fórmula y sustituyendo los datos para las muestras de suelo del sitio contaminado:

$$N = \frac{(T * S)^2}{E^2}$$

Concluyendo:

Donde:

N = 30

e = 0.01

S = 8.8034

T = 2.457 para un nivel de confianza de (0.01)

El tamaño de la muestra (n1) es mayor al tamaño de la premuestra (n), por lo cual no se requieren más elementos (n2) para considerar válido el muestreo; por ello, se acepta el análisis estadístico realizado. De acuerdo a lo anterior, los estadísticos obtenidos para la premuestra, se consideran válidos también para la muestra, por lo que no habrá necesidad de realizar nuevos análisis.

Los resultados del análisis demuestran que con solo 46 elementos del muestreo son suficientes para aceptar como válido el tamaño real, y son estadísticamente representativas de las muestras empleadas para determinar la contaminación ambiental del sitio, aunque se tomaron un total de 52 muestras.

11.4 ANÁLISIS CUANTITATIVO

11.4.1 Cromatografía del estándar de Aroclor® 1254

Los estándares comerciales del Aroclor® 1254, pueden variar en su composición lo que supone una importante fuente de errores en el proceso de cuantificación cuando se utilizan como patrones; para evitar esto, la Comunidad Económica Europea aconseja la determinación utilizando una serie de isómeros individuales seleccionados por su facilidad de ser detectados en la mayoría de las mezclas comerciales y ambientales. Por otra parte, con la cuantificación de picos aislados, se elimina el factor subjetivo de seleccionar el perfil de un tipo especial de Aroclor® y se asemeja más a los componentes existentes en la muestra.

Los isómeros de cuantificación utilizados como referencia corresponden a los números 28, 52, 100, 117, 141, 182 y 187 de la IUPAC. En principio, se seleccionó un isómero por cada tipo de sustitución (di-tri-tetra, penta, hexa y hepta-clorobifenilo) de la referencia y se realizó la curva de calibración para el conjunto de compuestos preparando distintas concentraciones y representando el área obtenida frente a la concentración.

Las concentraciones utilizadas y las áreas obtenidas se presentan en las figura 8 como se puede observar, los puntos se ajustan bien a una ecuación del tipo ($y = ax + b$) por lo que se utilizaron para la cuantificación de los BPC de las muestras ambientales. Las muestras concentradas se diluyeron 1:50 en hexano para no saturar el detector de Captura de Electrones por lo que los valores obtenidos fueron multiplicados por la dilución.

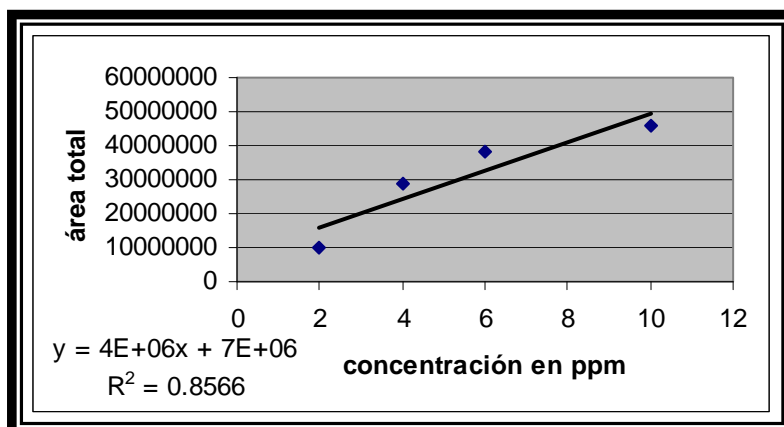


Figura 8.- Recta de calibración de los congéneres de BPC utilizado como referencia

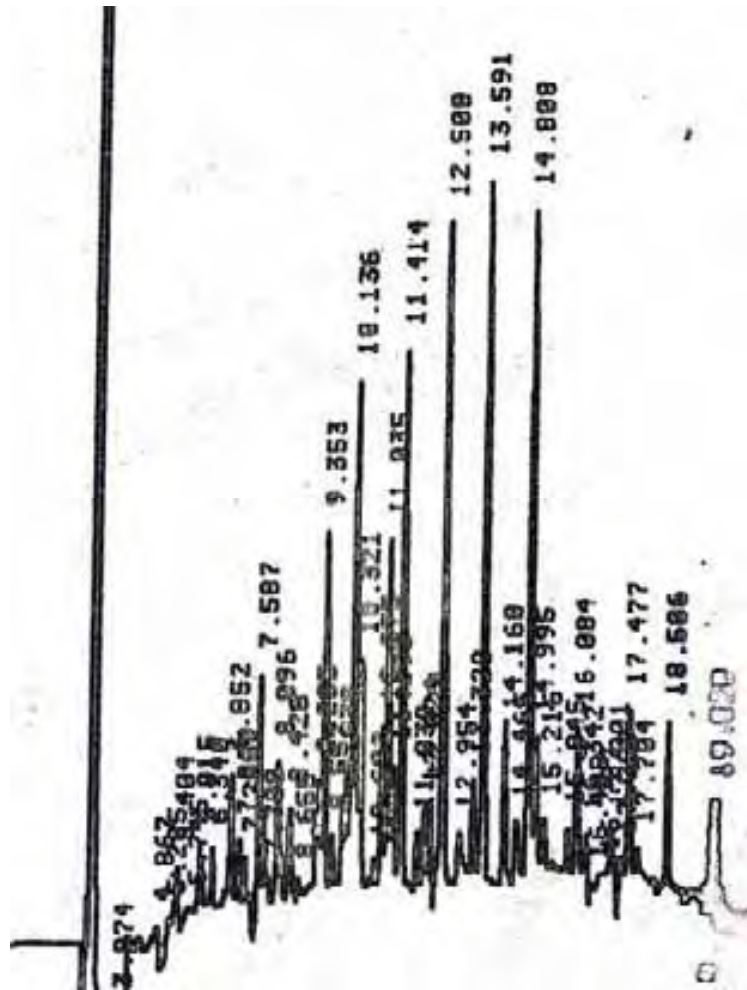


Fig. 9.- Cromatograma del estándar de Aroclor 1254

La tabla 12 presenta los congéneres e isómeros en la muestra de referencia analizados mediante la técnica de CG. En el cromatograma se observa que los congéneres de BPC que aparecen con buena resolución corresponden a los isómeros: 52 de los tetraclorobifenilos; 99, 100 y 117 de los pentaclorobifenilos; 129, 136, 141 y 169 de los hexaclorobifenilos; 181, 182, 186 y 187 de los heptaclorobifenilos según la numeración sistemática de BPC propuesta por Ballschmiter y Zell (1980) y aceptada por IUPAC; siendo relativamente más abundantes las masas de los congéneres pentaclorobifenilos seguido en abundancia por los hexaclorobifenilos. La figura 9 muestra el cromatograma del estándar del Aroclor 1254.

Tabla 12.- Análisis cualitativo del estándar de Aroclor®1254

Isómero	Nombre	Número IUPAC	Masa de identificación m/z
2,4,4'	Triclorobifenilo	28	260
3,3',4',	Triclorobifenilo	35	260
2,2',5,5'	Tetraclorobifenilo	52	292
2,2',4,4',5	Pentaclorobifenilo	99	326
2,2',4,4',6	Pentaclorobifenilo	100	326
2,3,4',5,6	Pentaclorobifenilo	117	326
3,3',4,4',5,5'	Hexaclorobifenilo	169	360
2,2',3,4,5,5'	Hexaclorobifenilo	141	360
2,2',3,3',4,4'	Hexaclorobifenilo	129	360
2,2',3,3',6,6'	Hexaclorobifenilo	136	360
2,2',3,4,5,6,6'	Heptaclorobifenilo	186	394
2,2',3,4',5,5',6	Heptaclorobifenilo	187	394
2,2',3,4,4',5,6	Heptaclorobifenilo	181	394
2,2',3,4,4',5,6'	Heptaclorobifenilo	182	394

La figura 10. muestra la distribución de la pluma de contaminación del sitio de estudio.

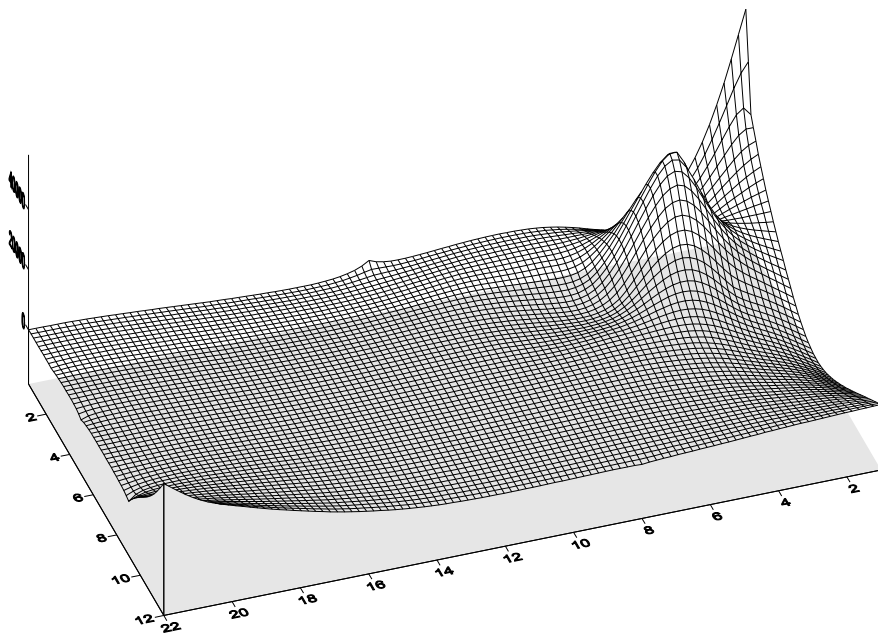
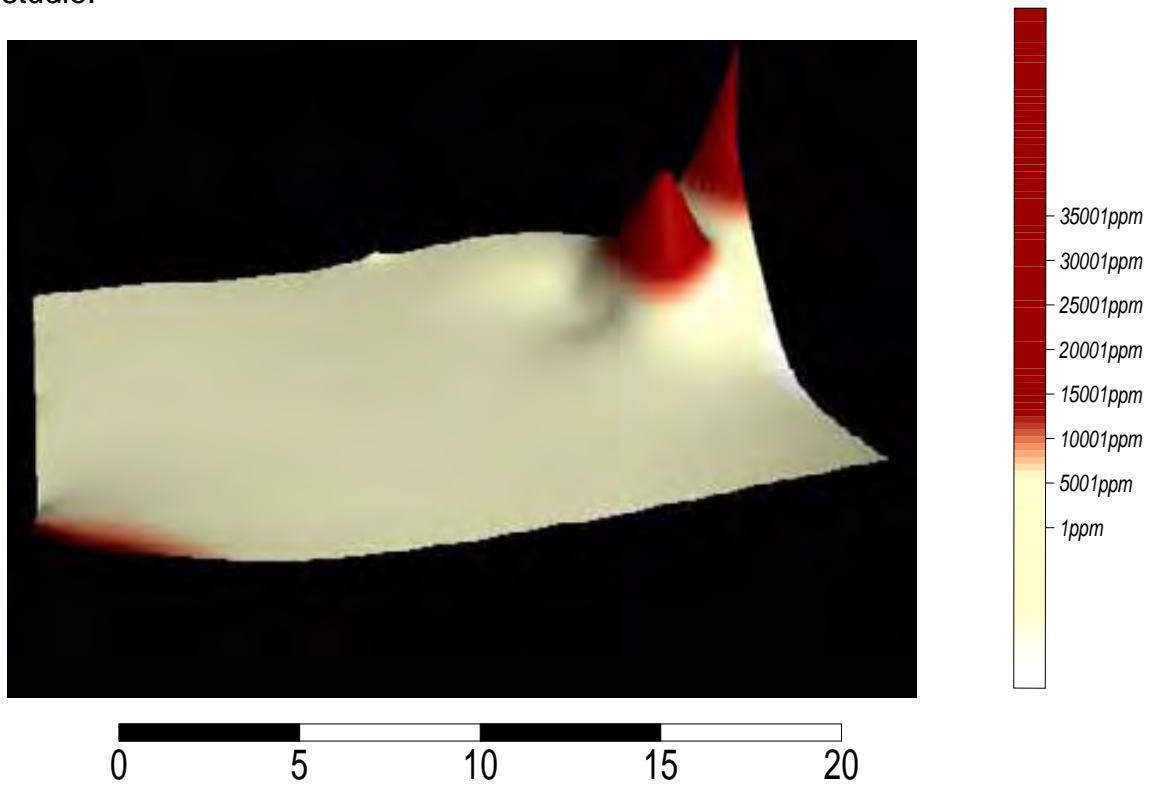


Fig. 10.- Distribución de la pluma de contaminación del sitio

Los resultados del análisis cuantitativo realizado a la muestra de aceite Clorinol (nombre comercial del producto que contenía los BPC) encontrada en el foco de contaminación demostraron que contiene una concentración de 23,094.20 ppm y el patrón de sustitución de bifenilos en la muestra es similar al estándar comercial Aroclor® 1254. La Figura 11. muestra el perfil cromatográfico de los bifenilos policlorados encontrados en el foco de contaminación

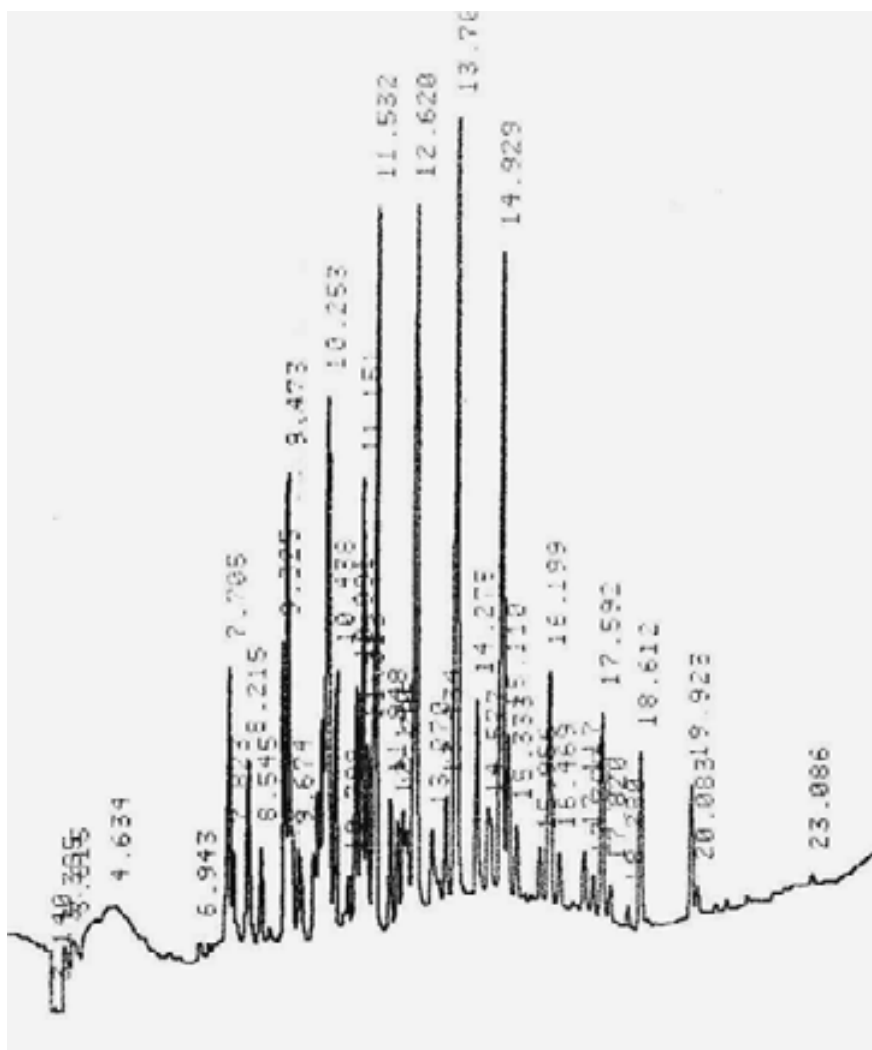


Fig11.- Perfil cromatográfico de los bifenilos policlorados encontrados en el foco de contaminación

Durante la toma de muestras del suelo de la zona 1; la existencia de capacitores en la fosa no permitió la perforación a mayores profundidades para la investigación de las condiciones del subsuelo, por lo que fue necesario solo realizar colectas de suelo en los primeros 10 a 15 cm del estrato superior de suelo y considerando que la fauna esta más expuesta al suelo en la capa superior, se decidió trabajar solo con muestras superficiales. En la figura 12 se presentan los valores de concentración determinados en la zona 1 denominada "foco de contaminación", como se puede apreciar, los rangos de concentración

de BPC alcanzan valores desde 28 a 34,710 mg/kg con un promedio de 6,578 y una desviación estándar de 7,080 siendo ésta la zona de mayor contaminación del sitio de estudio. Cabe hacer mención que debido a los altos valores alcanzados en las muestras de suelo B5, B6 y B7 que en realidad alcanzaron valores de 25,996, 34,710 y 3,667 respectivamente y fue necesario dividir entre 20 para que no se viesen disparados en la figura. La diferencia en las concentraciones es debido a que en ciertos puntos de la zona los capacitores que deberían estar enterrados han quedado al descubierto debido a la acción del intemperismo atmosférico propio de la región.

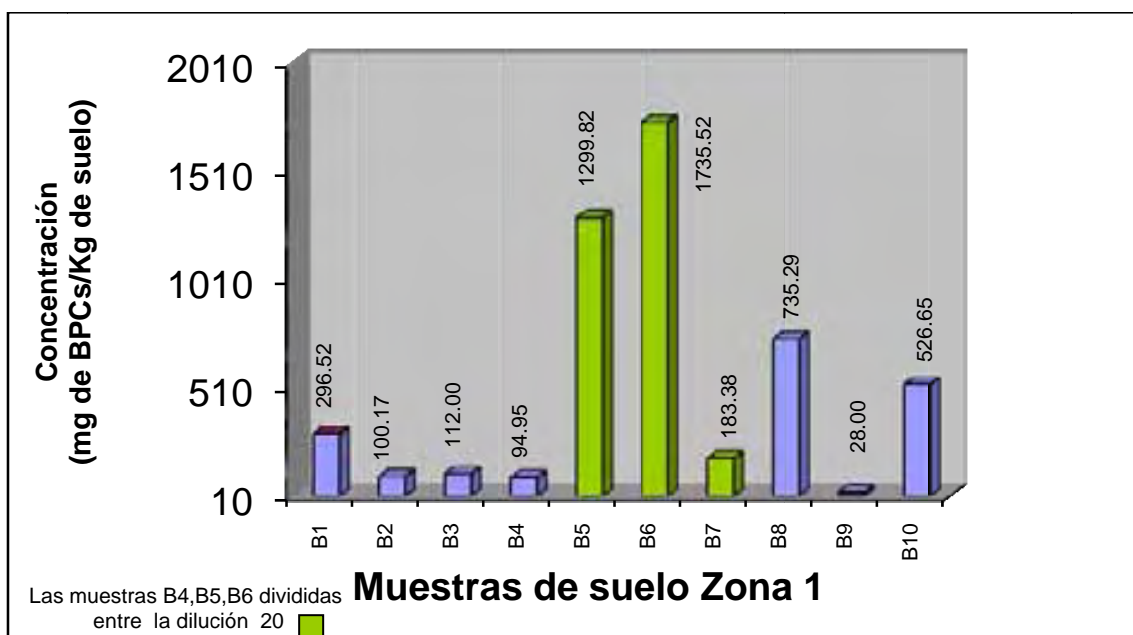


Figura 12.- Valores de Concentración de BPC en el suelo de la Zona 1

La Figura 13 presenta los valores de concentración en la zona 2, se alcanzaron rangos desde 1 a 811 mg/kg con un promedio 132 y una desviación estándar de 217. La diferencia en los valores alcanzados es debido a que en ciertas áreas existe una población de especies vegetales muy densa (que se considera están coadyuvando a la fitoremediación de la contaminación del sitio) en comparación con las áreas sin cobertura vegetal en donde se alcanzan los valores máximos de concentración de BPC.

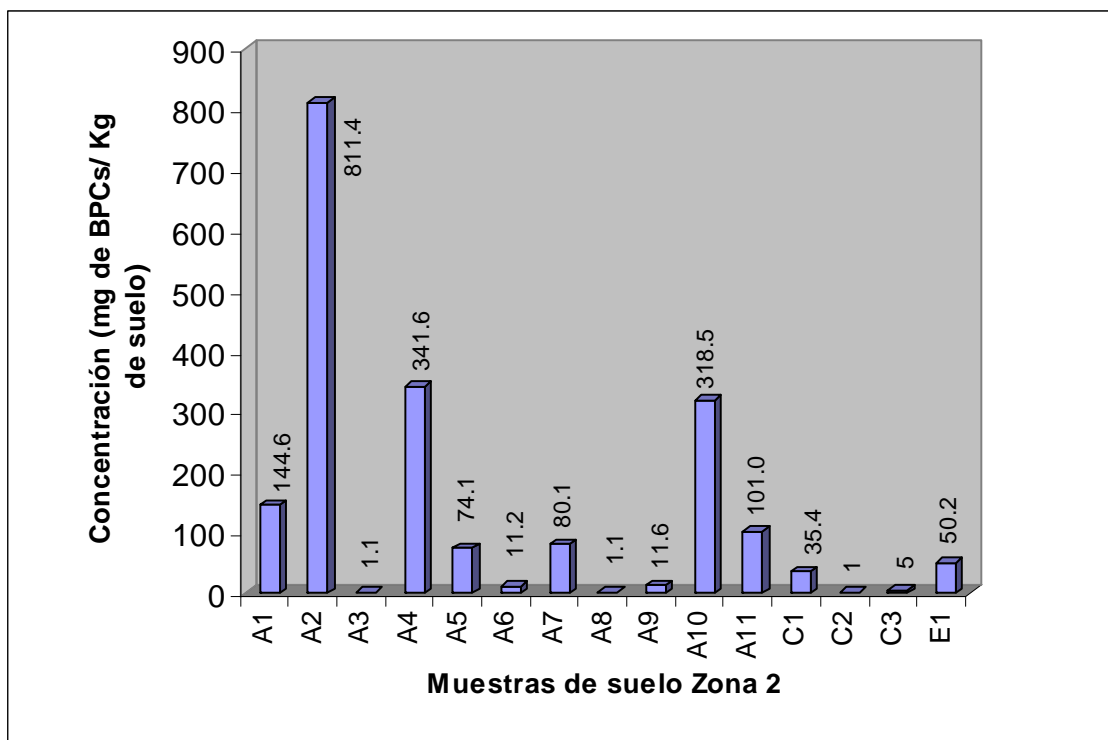


Figura 13.- Valores de Concentración de BPC en el suelo de la Zona 2

Los niveles de concentración en el suelo están controlados por la fuerte absorción de los diferentes congéneres de BPC a la materia orgánica presente en los primeros 15 cm. de suelo. Sin embargo es de esperarse que en la parte inferior la retención del contaminante sea muy escasa debido a su estructura con gran proporción de arena.

Los niveles altos de concentración de BPC encontrados en las muestras de suelo del sitio en cuestión, coinciden con varios de los casos reportados en la tabla de Erikson (1986) sobre informes de estudios de diferentes concentraciones de BPC en las cercanías a factorías de equipos dieléctricos en Japón en la manufactura de transformadores de USA, en sedimentos con derrames de BPC; en sedimentos de varios sitios contaminados en Japón y por contaminación de sedimentos en Suecia (Kimbrough, 1980).

Los sedimentos del río alcanzaron un valor de 4 ppm y han resultado un fiel reflejo de la contaminación por BPC del sitio. En la Zona 3 la concentración de BPC en los sedimentos es debido principalmente al depósito de partículas de suelo contaminado proveniente de las zonas 1 y 2 que por escurrimiento y arrastre de la lluvia han quedado en las zonas de remanso de la acequia.

El valor de concentración de BPC determinado en la muestra de agua fue de 0.084 µg/L valor que concuerda con los estudios reportados en la tabla de Erikson, 1986, en especial con los datos de ríos altamente contaminados y de los grandes lagos de Tanabe, 1983.

11.4.2 Cuantificación de la concentración de BPC en la biota

En el sitio, se recolectaron 7 ejemplares de lombrices terrestres que pertenecen a la especie *Eisenia foetida* cuyo peso seco fue de 45.39g. El valor de concentración de BPC encontrado en los tejidos de las 7 lombrices que habitan el sitio contaminado fue de 5.4 mg/kg valor para el cual no se encontró registro alguno para su comparación.

El valor fue 13 ppm para las especies vegetales que habitan la zona 1,2 y 3 valores que superan los <10 µg/Kg. base seca reportados por Strachan (1988). Sin embargo los valores encontrados en las raíces de las especies vegetales del foco de contaminación alcanzan los 185 ppm. Es preciso hacer notar que en las muestras que habitan la zona 1 se encontraron los mismos isómeros característicos para de los Aroclor 1254.

11.5 ANÁLISIS CUALITATIVO

11.5.1 Identificación por cromatografía de gases/masas

Indudablemente, las ventajas de las técnicas de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas para determinar BPC, son las que más posibilidades poseen como herramienta de investigación en la identificación de este tipo de compuestos.

La tabla 13 muestra una gran proporción de los congéneres tetra, penta, hexa y hepta propios del Aroclor 1254.

Tabla 13.- Tiempos de retención de los principales congéneres de BPC encontrados en las muestras ambientales del sitio.

Pico	Tiempo de Retención (min)	No. de cloros	No. IUPAC	Masa (m/z)	Nombre
1	7.705	3	28	260	Triclorobifenilo
2	9.325	4	52	292	Tetraclorobifenilo
3	9.473	4	54	292	Tetraclorobifenilo
4	10.25	4	55	292	Tetraclorobifenilo
5	10.43	4	57	292	Tetraclorobifenilo
6	11.15	4	58	292	Tetraclorobifenilo
7	11.31	5	99	326	Pentaclorobifenilo
8	11.53	5	100	326	Pentaclorobifenilo
9	12.14	5	117	326	Pentaclorobifenilo
10	13.43	6	141	360	Hexaclorobifenilo
11	14.27	6	129	360	Hexaclorobifenilo
12	14.92	6	136	360	Hexaclorobifenilo
13	15.33	7	186	394	Heptaclorobifenilo
14	16.19	7	187	394	Heptaclorobifenilo
15	17.59	7	181	394	Heptaclorobifenilo
16	18.61	7	182	394	Heptaclorobifenilo

En resumen, los valores encontrados en el sitio de estudio, no cumplen con el marco normativo de la NOM-ECOL-133-2000 que precisa el límite máximo permisible de contaminación en suelos por BPC es de 25 mg/kg de suelo.

La tabla 14. muestra la concentración total de BPC para cada una de las muestras analizadas, así como los isómeros identificados con respecto a los tiempos de retención

Tabla 14.- Concentración total de BPC e isómeros identificados de cada una de las muestras del sitio contaminado

MUESTRAS	CONCENTRACION	ISOMEROS IDENTIFICADOS
ZONA 1		
	TOTAL DE BPC	
	(mg/Kg)	
B1	296.52	28,57,58,117,136,187,181
B2	100.17	28,55,99,100,141,136
B3	112.00	58,55,117,99,136,182
B4	94.95	57,100,141,136
B5	25996	28,52,55,57,58,99,100,117,129,136,141,187,186
B6	34710	28,52,54,57,58,100,117,136,141,181,182,186,187
B7	3667	28,58,54,100,117,129,141,181,187
B8	735.29	52,58,99,100,117,136,181,182
B9	28.00	54,100,99,129,141,181
B10	526.65	28,52,55,99,136,187,186,
MUESTRAS		
ZONA 2		
A1	144.6	28,99,117,129,182
A2	811.4	52,55,99,100,141,136,182,187,
A3	1.1	28,54,100,136,
A4	341.6	28,52,55,136,141,182
A5	74.1	52,57,99,100,136,186,
A6	11.2	28,57,99,100,136
A7	80.1	28,100,99,129,136,181
A8	1.1	52,58,117,129
A9	11.6	58,99,100,129,136
A10	318.5	28,55,99,100,136,186,
A11	101.0	54,58,117,129,182
MUESTRAS		
ZONA 3		
C1	35.4	28,58,136,129,181
C2	1	28,99,100,181
C3	5	55,99,136,182
E1	50.2	28,52,136,141,181,182
ESPECIES	13	52,100,129,136,182
VEGETALES		
RAIZ	185	28,52,57,100,136
LOMBRICES	5.4	54,57,99,136,181
SEDIMENTOS	4	28,58,129,181
ACEITE	23094.20	28,58,55,54,100,117,99,129,141,136,181,182,187

11.6 ANÁLISIS DE RIESGO

Los compuestos contaminantes detectados por análisis de CGM en las muestras de suelo del sitio fueron bifenilos policlorados considerados dentro de la lista de sustancias peligrosas por la Ley General de Compensación y Responsabilidades de Respuesta Medioambiental o Superfondo (CERCLA) lo cual justifica la realización del análisis de riesgo.

11.7 VALORACIÓN DEL RIESGO

11.7.1 Tipo y concentración de contaminantes en los compartimientos ambientales

Los resultados de la caracterización analítica de las muestras de suelo realizados por CGM a profundidades de 10 cm arrojaron valores con rangos de 41 mg/kg a 34,710 mg/kg. Valores que superan por mucho los límites máximos permisibles de 25 mg/kg de BPC de la NOM 133-ECOL-2000 para suelos industriales contaminados con BPC y que representan un grave riesgo por su alto grado de peligrosidad persistencia, movilidad y distribución espacial, el cual constituye un proceso de exposición significativa para los receptores del área.

11.7.2 Características ambientales que afectan al destino y transporte de los contaminantes

Aunque el sitio contaminado se encuentra en la zona semi-plana del Este del municipio de Xochitepec, Morelos el sitio posee la suficiente pendiente (cercana al 3 por ciento) la cual, puede hacer posible el arrastre del contaminante (por movimiento másico) por precipitación pluvial. Aunado a que el suelo es de tipo arena-migajosa y que la zona posee una unidad geohidrológica de alta permeabilidad, con comportamiento de los niveles piezométricos estables y de corriente perenne con zonas de arroyos y canales permanentes, que en el caso de haber sido alcanzados por la contaminación pueden ser focos de alto riesgo para la población ya que la precipitación pluvial anual es de 840 mm considerado como alto y con un período de lluvias de junio a octubre.

11.7.3 Población potencialmente afectada

La población mayormente afectada está conformada principalmente por los trabajadores del sitio, que durante el tiempo en que funcionó la compañía Electrocap S.A. estuvieron expuestos a los contaminantes durante el proceso de aplicación del Clorinol a los capacitares, así como por los residentes del área circundante a la planta industrial.

Se considera que los cuerpos de agua, acuífero subterráneo y suelos aledaños al sitio, poseen una elevada concentración de BPC debido a la exposición que durante 37 años a sufrido la población del área y a la dinámica de la misma. El número de receptores de la población potencialmente expuesta es difícil de cuantificar; sin embargo, por medio de 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 mayor en las localidades de Zacatepec de Hidalgo y Jojutla de Juárez que en el resto del estado de Morelos. Las localidades mencionadas se encuentran aproximadamente entre 8 y 10 Km. respectivamente río a bajo.

11.7.4 Biota potencialmente afectada

En la zona existe una gran biodiversidad de las especies acuáticas en el río Colotepec-Apatlaco. Según el estudio reportado por Trujillo *et al.* 1999 existen 56 especies de peces, anfibios, insectos, plancton y fitoplancton en el río, además de 134 especies de vegetales sumergidas y riparias. En el suelo del sitio contaminado, existen variedad de liebres, aves, insectos, pequeños reptiles y gran variedad de vegetación nativa los cuales, se presume que pueden estar bio-acumulando y bio-magnificando los contaminantes a través de la cadena trófica.

11.7.5 Características y efectos de los contaminantes

La concentración y características de los contaminantes BPC encontrados tanto en el suelo, sedimentos y agua del río se resume en la tabla 15.

Tabla 15. Características de los contaminantes: Bifenilos Policlorados (BPC)

Incluidos dentro de la lista de Contaminantes Orgánicos Prioritarios (COPs)

Clase. EPA: B2= Evidencia suficiente de cáncer en animales pero escasa en humanos.

Factor de potencia carcinogénica: FPC: $7,70 \times 10^{+1}$

Nivel Mínimo de Riesgo aceptable por la EPA:

NMR oral exposición crónica (menor a 365 días): 0.02 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$

Nivel mínimo de efectos Adversos Observados (NMEAO): 0.0075 $\text{mg}/\text{kg}/\text{día}$

Máximo de exposición del trabajador (OSHA): 0.5 mg/m^3 para el Aroclor 1254

Dosis de referencia:

DRf-oral: no hay datos

DRf-ingestión: no hay datos

DRf-inhalación: no hay datos

Concentraciones encontradas:

Rango en suelo: 41 a 34,710 mg/kg

Media en suelo: 6,578 mg/kg

Rango en sedimentos: 3 a 4 mg/kg

Media en sedimentos: 4 mg/kg

Concentración en agua superficial: 0.084 mg/l

Solubilidad en agua: $3,10\text{E}-02$ mg/l a 25 °C

Presión de vapor: $7,70\text{E}-05$ mm Hg a 25 °C

Coef. difusión-aire: 0,05571 cm^2/s

Koc: $5,30\text{E}+05$ mg/l

Log Kow: 6,04 mg/l

Factor de Bioconcentración en peces: $1\text{E}+05$ L/kg

Valores máximos para agua potable (EPA): 0.0005 mg/L

Valores máximos en alimentos (FDA-EPA): 0.2-3 mg/L

Entre los efectos que han sido asociados con la exposición a altos niveles de BPC, se incluyen el cloroacné y alteraciones neurológicas e inmunológicas en niños. En trabajadores expuestos se han observado alteraciones en la sangre y la orina que pueden indicar daño al hígado cierto tipo cáncer hepático y del tracto biliar. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), ha determinado que es razonable predecir que los BPC son carcinogénicos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la US-EPA, han determinado que los BPC son probablemente carcinogénicos en seres humanos (clasificación B2). Efectos descritos en animales incluyen alteraciones del sistema inmunitario, de comportamiento y deterioro del sistema reproductivo. Estudios en ratas alimentadas con alimentos con altos niveles de BPC por dos años contrajeron cáncer del hígado.

La US-EPA, ha establecido un nivel de contaminación máximo de 0.0005 miligramos de BPC por litro de agua potable (0.0005 mg/L). La Administración de Alimentos y Drogas (FDA) ha establecido máximos permisibles de 0,2 a 3 ppm de BPC por cada millón de alimentos como leche, huevos y otros productos lácteos, grasa de aves, pescados, mariscos y alimentos para niños. El Nivel Mínimo de Riesgo NMR aceptado por la US-EPA es de 0.03 µg/Kg./día durante una exposición oral de mediana duración (15–364 días); Se ha aceptado un NMR de 0.02 µg/Kg./día por exposición oral crónica (365 días o menores). Todo esto basado en el Nivel mínimo de efectos Adversos Observados (NMEAO) de 0.0075 mg/kg/día para alteraciones de comportamiento neuronal en simios infantes expuestos a una mezcla de 80% de BPC. La Organización para la Administración de la Salud Humana de de USA (OSHA) ha establecido que el trabajador no debe estar expuesto por inhalación a periodos superiores de 8 horas por 5 días/semana a concentraciones mayores de 1 mg/m³ para el Aroclor 1242 y de 0,5 mg/m³ para el Aroclor 1254.

Durante la exposición a BPC, existen varios factores que determinan si su efecto será adverso. Estos factores incluyen la dosis (la cantidad), la duración (por cuanto tiempo) y la manera como se puede entrar en contacto con este contaminante. También se han considerado edad, sexo, dieta, características personales, estilo de vida y condición de salud.

11.7.6 Movilidad de los contaminantes en el medio ambiente

Los BPC, están comprendidos entre los compuestos líquidos densos de fase no acuosa (LDFNA) caracterizados por su inmiscibilidad. Sin embargo, el arrastre por precipitación pluvial cuya movilidad en el medio acuoso depende de las fuerzas gravitacionales y de las diferencias de carga hidráulica, estratigrafía y permeabilidad del suelo, han afectado el destino de tales sustancias contaminantes a los diferentes compartimientos ambientales por frenado debido a sus propiedades físico-químicas (constante de la Ley de Henry, presión de vapor, coeficiente de partición octanol-agua y solubilidad). Sin embargo se debe considerar que debido a los 37 años que ha estado expuesto el proceso de contaminación del ambiente, es de esperarse que el alcance de la dispersión de los contaminantes haya ocurrido de manera extensa como lo demuestra los resultados de los análisis realizados en el agua y sedimentos de la acequia a 80 m. aguas abajo del sitio contaminado.

11.8 VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Se estimó la exposición de los contaminantes considerando la población potencialmente cercana, sometida al riesgo para ello se determinaron:

I.- Vías ambientales por las que los BPC del sitio contaminado llegan a los receptores:

- Foco: sitio de entierro de capacitores dieléctricos.
- Medio de exposición: suelo, sedimentos y aguas contaminadas.

- Mecanismo químico de liberación: derrame y construcción de canales de drenaje en sitio contaminado episódico y crónico.
- Mecanismo de transporte: precipitación pluvial y flujo de agua subterránea.
- Mecanismo de transferencia: absorción en la materia orgánica y partículas del suelo arrastre por precipitación pluvial y acuíferos.
- Mecanismo de transformación: biodegradación por microorganismos del suelo, gusanos y protozoos.
- Puntos de exposición: pozos de agua y arroyo circundante del sitio contaminado, partículas de polvo en los cuales se han adherido los contaminantes.
- Receptores: humanos y animales consumidores de agua de las localidades cercanas.
- Ruta de exposición: ingestión y cutánea.

II.- Valoración del destino y transporte ambiental de los contaminantes:

- La emisión potencial de polvo/partículas contaminadas por erosión eólica desde el sitio contaminado se considera solo factible en las temporadas de tolvaneras que dependen de la velocidad del viento, el tamaño de partícula, el asentamiento gravitacional debido a la existencia de barreras vivas en el área (árboles).
- Se considera que el arrastre y el agua de lluvia podría potencialmente provocar una saturación suficiente del suelo como para que el lixiviado alcance el agua superficial y subterránea contaminando los pozos situados gradiente abajo. Se determinó que la población cercan al sitio utiliza también el agua de la acequia para alimentos, riego, lavar ropa y en ocasiones aseo diario.
- Se considera que debido a los 37 años que ha estado expuesto el problema de contaminación los BPC pudieron potencialmente alcanzar áreas de riego y el agua que se utiliza como bebida para el ganado y que el curso de agua soporta una población piscícola para consumo de la localidad.
- Se considera que existe liberación al suelo desde el sitio contaminado o de los alrededores por lo cual, se determinó que los principales mecanismos de movilidad de los contaminantes son las corrientes de los ríos Colotepec- Apatlaco que pasan cerca de la zona y que desembocan a su vez en el río Amacuzac, a través de los sedimentos. Se valoró la distancia aguas abajo de la localidad y se identificaron poblaciones humanas directamente expuestas al suelo.

III.- Valoración de exposición

- Se realizó la determinación de poblaciones potencialmente expuestas en las inmediaciones del sitio contaminado (aquellos que viven a una distancia de 1,5 Km.). Se detectaron sub-poblaciones de especial interés (niños, mujeres embarazadas, ancianos y personas con enfermedades crónicas colegios y guarderías) y el número de trabajadores que laboraron en el sitio contaminado. Así como la población futura (con base en el uso futuro del terreno proyectado como zona residencial).
- Se desarrollaron tres hipótesis de exposición para caracterizar las condiciones bajo las cuales las poblaciones pudieron potencialmente ser

expuestas, estableciendo parámetros específicos que gobiernan la exposición tales como: frecuencia, duración y tasa de ingestión. El desarrollo de las hipótesis implicó hacer las siguientes suposiciones:

- ✓ *Hipótesis del trabajador.*- Se realizó para determinar el riesgo potencial para el trabajador durante sus actividades. El sitio se utiliza actualmente para actividades industriales de otra índole y los trabajadores no se exponen en condiciones normales ya que ellos se encuentran dentro de una nave industrial cubierta a 10 metros arriba del sitio contaminado; sin embargo, los trabajadores no poseen los equipos de protección exigidos por la normatividad de la OSHA. En cuanto a las posibles acciones de recuperación del sitio contaminado, los trabajadores no estarían implicados en la restauración.
- ✓ *Hipótesis del infractor.*- Existen evidencias de que en el pasado ocurrieron infracciones por parte de la PROFEPA en el sitio contaminado. Sin embargo, se aprobó el cierre del sitio. La zona está limitada por una valla metálica en buenas condiciones, pero no existen otras medidas para limitar el acceso. El sitio no se encuentra próximo a ningún colegio ni zona comercial pero colinda con un hotel.
- ✓ *Hipótesis de uso residencial.*- El sitio estaba proyectado por el nuevo dueño para establecer una zona residencial unifamiliar con albercas a partir de la extracción de agua subterránea. El uso del suelo no tiene ninguna limitación para uso residencial.
- ✓ *Hipótesis de uso recreativo.*- El sitio es aplicable para evaluar los riesgos potenciales asociados a los cursos de agua superficiales ya que a escaso 30 metros del sitio contaminado pasa un arroyo que desemboca en el río Amacuzac donde la gente puede pescar y nadar.
- ✓ *Hipótesis de la construcción.*- La planificación de viviendas ha sido suspendida por sospechar contaminación en el suelo. Y debido a que la construcción tendría como resultado exposiciones potenciales tanto para los receptores del lugar (contacto directo de los trabajadores de la construcción con el suelo) como para las poblaciones de afuera (resultado de las actividades de movimiento de la tierra) lo que supondría la exposición de emisiones de polvos contaminados.

11.9 CALCULO DE DOSIS DE EXPOSICIÓN

Se realizó la estimación de las exposiciones a corto y largo plazo, en términos de dosis para cada ruta de exposición. Se determinaron las concentraciones de los puntos de exposición identificando para cada hipótesis las rutas, principalmente aquellas que implican la cadena alimenticia:

Dosis del Receptor.- Se estimaron las dosis del contaminante a los que los receptores están potencialmente expuestos, considerando dos rutas de exposición: ingestión oral y por contacto dérmico sobre los cuales tienen incidencia los dos tipos de dosis administrada: dosis de ingestión (cantidad

absorbida por el cuerpo vía oral) y la dosis contacto dérmico (cantidad que es absorbida por la piel).

11.9.1 Cálculo de la dosis de ingestión oral (I_o) de los bifenilos policlorados para los trabajadores expuestos adultos de la población expuesta.

Los BPC han sido catalogados por la US-EPA dentro de la lista de los compuestos B2 de sustancias carcinogénicas. El tiempo medio (TM) en la exposición a BPC como sustancias potencialmente carcinogénica se calculó sobre la vida media (supuesta 70 años o 25,550 días) para estar en concordancia con la propuesta utilizada en el desarrollo de los factores de la pendiente.

$$I_o = \frac{C \times TC \times F \times DE}{(PC \times TM)}$$

Donde:

I = Ingestión (mg/kg de peso-día)

C = Concentración en el punto de exposición (mg/L agua).

TC = Tasa de contacto (L/ día) (se considera que un humano ingiere 2 L/ día)

F = Frecuencia (día/año) (Se considera una frecuencia constante de 365 años de exposición).

DE = Duración de la exposición (año) (se considera 8 años como promedio de tiempo de trabajo en la empresa).

PC = Peso del cuerpo (kg) (Estimado para personas de raza mestiza de fuentes norteamericana (MTCA), según observaciones en campo 65 Kg., adultos

TM = Tiempo medio (días) (se consideran 25550 calculado sobre la vida media).

TR y ABS = Se asumió un planteamiento conservativo en ausencia de información para el tiempo de retención absorción en la sangre de 1,0.

$$I = \frac{(0.084 \text{ mg/L}) (2 \text{ L/día}) (365 \text{ días/año}) (8 \text{ años}) (1) (1)}{(65 \text{ kg}) (25550 \text{ días})} = 2.95 \times 10^{-4} \text{ mg/kg-día}$$

Y la dosis administrada por ingestión oral de los bifenilos policlorados como sustancia cancerígena para los adultos de la población expuesta por ingestión del agua potencialmente contaminada durante 37 años; (para este caso DE = 37 años).

$$I = \frac{(0.084 \text{ mg/L}) (2 \text{ L/día}) (365 \text{ días/año}) (37 \text{ años}) (1) (1)}{(65 \text{ kg}) (25,550 \text{ días})} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg-día}$$

11.9.2 Para el caso de una exposición por ingestión accidental del suelo:

$$\text{Nivel Máximo Recomendable} = \frac{\text{Riesgo} \times \text{Peso} \times \text{Vida}}{\text{TIS} \times \text{Abs} \times \text{FdC}} \times \frac{\text{FCU} \times \text{FPC}}{\text{DUR}} \quad (\text{NMR} = \text{mg kg}^{-1})$$

Riesgo = Riesgo aceptable de desarrollo de cáncer para un individuo en el área contaminada, tomado en 1/1, 000,000

Peso = Promedio de peso durante el período de exposición (kg) (Estimado para personas de raza mestiza de fuentes norteamericana (MTCA), según observaciones en campo 65 kg, adultos, 15 kg para niños).

Vida = Promedio de expectativa de vida en años (Tomado como un poco menor que el promedio nacional por vida de campo (72 → 65 años, INEGI)

DUR = Duración de exposición en años (se considera 8 años como promedio de tiempo de trabajo en la empresa).

FCU = Factor de conversión de unidades (1,000,000 mg kg⁻¹)

FPC = Factor de potencial de carcinogenicidad (7.70X10⁺¹ mg/kg/día obtenido de IRIS de la US-EPA).

TIS = Tasa de ingestión accidental de suelo (mg/d¹) Estimación conservadora de (Model Toxic Control Act (MTCA) (50 mg/d → 200 mg/d)

Abs = Tasa de absorción intestinal (tomado en 1, nivel más exigente).

FdC = Frecuencia de contacto (promedio de días en área contaminada durante el período de exposición) (se consideraron 3 días/ semana durante 8 años de exposición)

$$\text{NMR} = \frac{(1/1,000,000) (65 \text{ kg}) (65\text{años}/8\text{años})(1 \times 10^6 \text{ mg/kg}^{-1}) (7.70 \times 10^1 \text{ mg/kg-día})}{(200 \text{ mg/día}) (19,1152 \text{ días})}$$

$$\text{MNR} = 1.06 \times 10^{-2} \text{ mg/kg}^{-1}$$

11.9.3 Calculo de la ingestión media diaria por contacto dérmico (Ic) con bifenilos policlorados del suelo para los trabajadores del sitio estimando como promedio 8 años de trabajo:

$$I = \frac{C \times A \times AP \times ABS \times MS \times DE}{(PC \times TM)}$$

Se asumieron lo siguientes parámetros:

C = Concentración media en el punto de exposición (6,578 mg/kg).

A = Piel expuesta = 20 por 100 = 0,2 X 18.150 cm² = 3.630 cm²

AP = Adherencia de polvo = 0,51 mg/cm²

ABS = Tasa de absorción de la piel = 6 por 100

MS = Efecto de la matriz del suelo = 15 por 100 (es decir, debido a la matriz del suelo, únicamente el 15% de la contaminación es en realidad debida al suelo).

F = Dos exposiciones por día; 260 días de exposición (considerando sábados, domingo y festivos).

DE = 8 años

PC = (Estimado para personas de raza mestiza de fuentes norteamericana (MTCA), según observaciones en campo 65 kg, adultos, 15 Kg para niños).

TM = 22,550 días.

$$Ic = \frac{(6,578 \text{ mg/kg}) (3.630 \text{ cm}^2) (0.51 \text{ mg/cm}^2) (0.06) (0.15) (2 \text{ exp/día} \times 260 \text{ días/año}) (8 \text{ años}) (X10^{-6})}{(65 \text{ kg}) (25,550 \text{ días})}$$

$$Ic = 2.75 \times 10^{-6} \text{ mg/kg-día}$$

Se considera como dosis suministrada total a la suma de las todas las dosis:

Dosis total suministrada (It) = Dosis de ingestión oral + dosis por contacto dérmico:

$$It = (1.3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg-día} + 2.75 \times 10^{-6} \text{ mg/kg-día}) = 1.3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg-día}$$

11.9.4 CALCULO DE RIESGO INDIVIDUAL DE CÁNCER (RIC):

Riesgo Individual de Cáncer (RIC) = FPC X Dosis media (Ic)

$$RIC = (7.70 \times 10^1 \text{ mg/kg-día}) (2.75 \times 10^{-6} \text{ mg/kg-día}) = 2.11 \times 10^{-4} \text{ mg/kg-día}$$

11.9.5 CALCULO DE INCIDENCIA DE CÁNCER POBLACIONAL (ICP):

ICP = (Riesgo Individual) (Población expuesta)

ICP= $(2.11 \times 10^{-4}) (7,203 \text{ habitantes}) = 1.522 = \text{casos de cáncer en la población de Alpuyecá. Por lo tanto existe un riesgo de que se presenten 211 casos de cáncer en una población de 1, 000,000 habitantes.}$

11.10 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

11.10.1 Valoración de la toxicidad

En el cálculo de riesgo potencial se utilizó la concentración media que permite una mejor estimación del riesgo asociado con las exposiciones crónicas ya que representa la estimación más probable de la concentración en los puntos de

exposición a la que un receptor está expuesto todo el tiempo. 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.

11.10.2 Determinación en cada medio los valores de toxicidad del contaminante:

Para ello se determinó el valor de toxicidad mediante la siguiente expresión:

$$VT = FP \times C_{max} \quad \text{Donde :}$$

C_{max} = Concentración máxima 34,710 mg/kg 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 obtenido de IRIS de la US-EPA)

Para suelo:

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

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

Para agua:

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

Se determinó el **Riesgo Carcinogénico** para los trabajadores del área mediante la relación de la dosis de ingestión diaria crónica (expuesta en la valoración de la exposición) multiplicada por el factor de la pendiente carcinogénica (seleccionado en la valoración de la toxicidad). Con el fin de determinar el incremento de probabilidad de incidencia de cáncer por la exposición a los bifenilos policlorados y el cálculo se realizó por:

$$\text{Riesgo} = IDC \times FP$$

Donde:

IDC = Ingestión diaria crónica (mg/kg/día) (dosis suministrada total calculada anteriormente).

FP = Factor de la pendiente carcinogénica (kg/día-mg).

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

Para la población potencialmente expuesta por ingestión de agua contaminada:

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

Los valores 2.2×10^{-2} mg/kg-día y 1.1×10^{-1} mg/kg-día son 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 significativa para la salud de la población.

Debido a los altos niveles de concentración de BPC encontrados en el sitio y a que el área se ubica cerca a una zona residencial, agrícola y de relevancia ecológica, representan un riesgo directo para los ecosistemas y la salud humana.

Los resultados del presente estudio permiten establecer las bases para atender la emergencia ambiental provocada por la contaminación del suelo, evitar el riesgo que implican al medio ambiente, y para dar certidumbre a las acciones de restauración del sitio.

11.10.3 Evaluación de incertidumbres

La valoración de las incertidumbres en el presente estudio se considera adecuada ya que los datos fueron tomados de las tablas de parámetros de exposición recomendadas por la US-EPA. Se realizó la evaluación de la incertidumbre en cada paso para conocer las posibilidades de sensibilidad de las respuestas finales para cada parámetro individual cuando se estimó la exposición, por ejemplo: los valores de concentración de los contaminantes a partir de muestras estadísticamente representativas, la calidad de la información consultada para determinar la peligrosidad de los contaminantes del sitio y la determinación de las rutas completas de exposición a efecto de validar los resultados del análisis de riesgo.

11.11 ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

El estudio de impacto ambiental, es una predicción de la forma en que las actividades de la mala disposición de los BPC en el sitio han repercutido en el entorno, por lo tanto como en toda predicción, es de esperarse que la incertidumbre esté presente en algunos de los parámetros involucrados.

Debido a que los BPC son persistentes, lipofílicos, hidrofóbicos y bioacumulables, se considera que las aves, pequeños mamíferos, peces y reptiles que residen dentro del sitio contaminado han sido expuestos a los BPC por transferencia de la cadena trófica y la ingestión de agua, suelo y sedimento contaminando. Se realizó la evaluación ecológica del impacto para determinar la naturaleza, magnitud, transitoriedad o permanencia de los efectos ecológicos potenciales provocados por la contaminación con BPC del 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 como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16.- 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 muy probable que debido al gran periodo de exposición (37 años) la contaminación haya alcanzado el acuífero que se encuentra a 3m. de profundidad	Puede ser reversible con sistemas de filtración a través de carbón activado	Depende de costos

La tabla 17. presenta la lista de identificación de las especies vegetales (receptores ecológicos existentes en las tres zonas de estudio. La especie *Biden 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. La descripción de las especies se encuentra en el anexo 3

Tabla 17.- Especies vegetales del sitio de contaminación.

Espece	Vegetal	Ubicación por zona
<i>Bidens pilosa</i>		1
<i>Commelina diffusa</i>		1
<i>Choris virgata</i>		1
<i>Anoda pubecens</i>		2
<i>Sanvitalia procumbens</i>		2
<i>Tithonia tubiformis</i>		2
<i>Dalea foliolosa</i>		2
<i>Cynodon dactylon</i>		3
<i>Ipomea purpúrea</i>		3

La tabla 18. Presenta la estimación de la severidad de los impactos y efectos ecológicos de las zonas muestreadas. Como se puede apreciar, el rango de clasificación del impacto en el sitio va desde medianamente impactada a muy significativa por lo que puede considerarse un sitio identificado como de alta intensidad ya que su efecto se manifiesta como una modificación del ambiente para las especies nativas del sitio y es probable que produzca repercusiones apreciables en los procesos reproductivos, y alimenticios de las especies de animales que lo habitan. Y como consecuencia de una aportación progresiva de contaminantes BPC a través del tiempo es probable que lleguen a sobrepasar el umbral tolerable de estas especies debido a su acumulación, pudiendo ocasionar graves problemas de bioacumulación y biomagnificación. Sin embargo, es necesario considerar todos aquellos procesos de atenuación natural y la tendencia natural del medio ambiente hacia la homeostasia integral del sistema ecológico involucrado.

XI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

11.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL SUELO

La tabla 10 presenta los resultados de los análisis de la caracterización física y química del suelo contaminado con BPC en la comunidad de Alpuyecá, Morelos. Como se puede observar, a partir del análisis se determinó que es un suelo Franco-arenoso, con características físicas comunes al suelo de la región.

Tabla 10.- Caracterización físico-química del suelo proveniente del sitio de estudio

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Densidad aparente	0.1683
Densidad Real	2.93
% Arena	72.61
% Limo	25.14
% Arcilla	2.24
Nombre Textural	Arena – Migajosa
Estabilidad de Agregados	Alta
Permeabilidad cmh^{-1}	4.3
Conductividad Hidráulica cm/h.	26.8
Velocidad de flujo cm^3h^{-1}	125

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

pH Real	6.7 Ligeramente Ácido
pH Potencial	7.3
% de Materia Orgánica	10.4 Alto

Comparando los valores para la conductividad hidráulica de la tabla 11:

Tabla 11.-Conductividad hidráulica del suelo. *Tomada de <http://www.ceniap.gov.ve>

Conductividad hidráulica (cm/hora)	Características
0,1	Muy lenta
0,1 - 0,5	Lenta
0,5 - 2,0	Moderadamente lenta
2,0 - 6,0	Moderada
6,0 - 12,0	Moderadamente rápida
12,0 -18,0	Rápida

Se observa que esta, es rápida y se ratifica con los datos de permeabilidad, ya que valores de K (permeabilidad) inferiores a 0.04 cmh^{-1} indican suelos u horizontes fuertemente impermeables. Valores de 0.2 cmh^{-1} hablamos de horizontes o suelos poco permeables. Valores por encima de 5 cmh^{-1} deben considerarse como excesivamente permeables. Nuestro valor se encuentra en 4.3 cmh^{-1} , considerándose muy permeable ya que pertenece a la clase textural franco-arenosa. <http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFPermeabilidad.htm>

Sobre la base de las características de alta permeabilidad del suelo del sitio contaminado, la cubierta vegetal densamente poblada y precipitación media anual de 840 mm se puede obtener un coeficiente de escurrimiento que representa el agua precipitada que se acumula en la superficie, para el caso de estudio se encuentra entre 50 y 70%, se caracteriza por hallarse en terrenos de topografía suave en su mayoría con algunas pendientes poco pronunciadas lo que facilita la movilidad del contaminante por la infiltración de la precipitación pluvial (en este caso por movimiento másico), hacia el acuífero subterráneo que en particular se encuentra a 3 m. de profundidad y hacia la acequia que se encuentra a escasos 80 m. al sureste del foco de contaminación.

11.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Los resultados de los muestreos de suelos y sedimentos contaminados con BPC en el municipio de Alpuyeca Morelos. Arrojaron un total de 52 datos, a partir de los cuales se realizaron los análisis estadísticos.

11.3 CALCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA.

Se determinó el promedio y desviación estándar para cada uno de los valores obtenidos; así mismo se determinó el tamaño real de muestra con base en la desviación estándar muestral y empleando la distribución "T de Student", mediante la siguiente fórmula y sustituyendo los datos para las muestras de suelo del sitio contaminado:

$$N = \frac{(T * S)^2}{E^2}$$

Concluyendo:

Donde:

N = 30

e = 0.01

S = 8.8034

T = 2.457 para un nivel de confianza de (0.01)

El tamaño de la muestra (n1) es mayor al tamaño de la muestra (n), por lo cual no se requieren más elementos (n2) para considerar válido el muestreo; por ello, se acepta el análisis estadístico realizado. De acuerdo a lo anterior, los estadísticos obtenidos para la muestra, se consideran válidos también para la muestra, por lo que no habrá necesidad de realizar nuevos análisis.

Los resultados del análisis demuestran que con solo 46 elementos del muestreo son suficientes para aceptar como válido el tamaño real, y son estadísticamente representativas de las muestras empleadas para determinar la contaminación ambiental del sitio, aunque se tomaron un total de 52 muestras.

11.4 ANÁLISIS CUANTITATIVO

11.4.1 Cromatografía del estándar de Aroclor® 1254

Los estándares comerciales del Aroclor® 1254, pueden variar en su composición lo que supone una importante fuente de errores en el proceso de cuantificación cuando se utilizan como patrones; para evitar esto, la Comunidad Económica Europea aconseja la determinación utilizando una serie de isómeros individuales seleccionados por su facilidad de ser detectados en la mayoría de las mezclas comerciales y ambientales. Por otra parte, con la cuantificación de picos aislados, se elimina el factor subjetivo de seleccionar el perfil de un tipo especial de Aroclor® y se asemeja más a los componentes existentes en la muestra.

Los isómeros de cuantificación utilizados como referencia corresponden a los números 28, 52, 100, 117, 141, 182 y 187 de la IUPAC. En principio, se seleccionó un isómero por cada tipo de sustitución (di-tri-tetra, penta, hexa y hepta-clorobifenilo) de la referencia y se realizó la curva de calibración para el conjunto de compuestos preparando distintas concentraciones y representando el área obtenida frente a la concentración.

Las concentraciones utilizadas y las áreas obtenidas se presentan en las figura 8 como se puede observar, los puntos se ajustan bien a una ecuación del tipo ($y = ax + b$) por lo que se utilizaron para la cuantificación de los BPC de las muestras ambientales. Las muestras concentradas se diluyeron 1:50 en hexano para no saturar el detector de Captura de Electrones por lo que los valores obtenidos fueron multiplicados por la dilución.

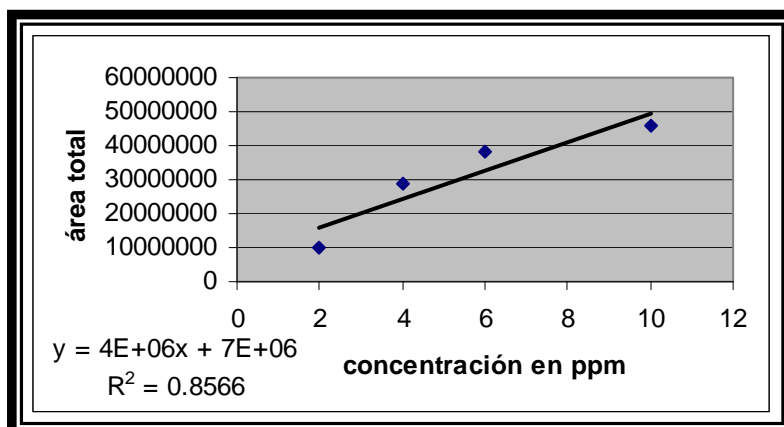


Figura 8.- Recta de calibración de los congéneres de BPC utilizado como referencia

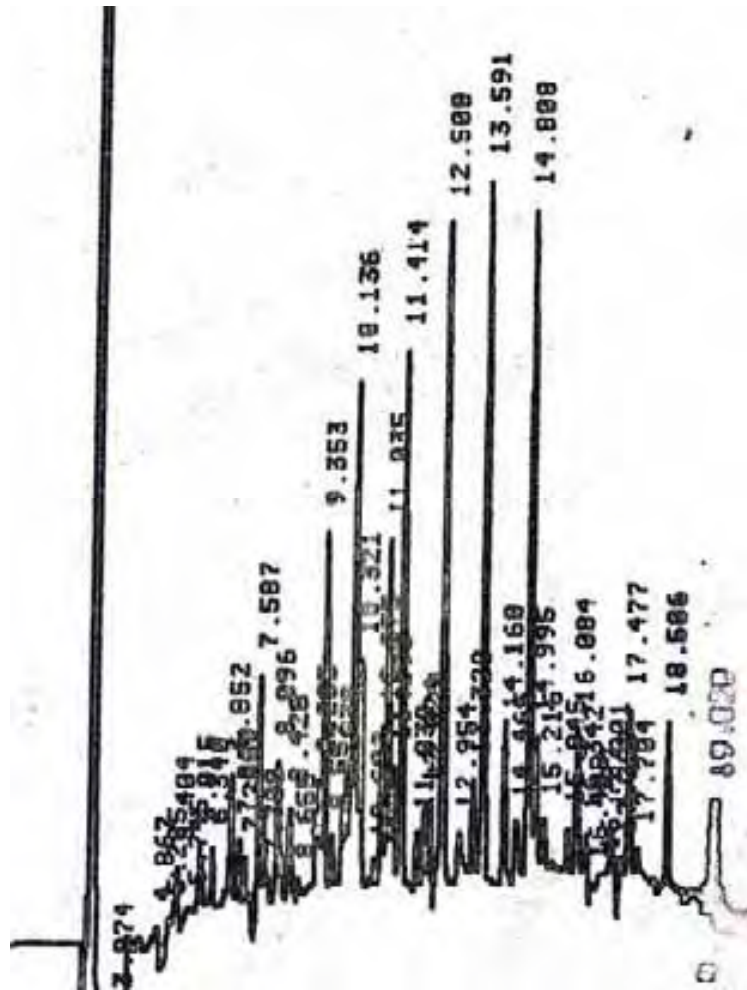


Fig. 9.- Cromatograma del estándar de Aroclor 1254

La tabla 12 presenta los congéneres e isómeros en la muestra de referencia analizados mediante la técnica de CG. En el cromatograma se observa que los congéneres de BPC que aparecen con buena resolución corresponden a los isómeros: 52 de los tetraclorobifenilos; 99, 100 y 117 de los pentaclorobifenilos; 129, 136, 141 y 169 de los hexaclorobifenilos; 181, 182, 186 y 187 de los heptaclorobifenilos según la numeración sistemática de BPC propuesta por Ballschmiter y Zell (1980) y aceptada por IUPAC; siendo relativamente más abundantes las masas de los congéneres pentaclorobifenilos seguido en abundancia por los hexaclorobifenilos. La figura 9 muestra el cromatograma del estándar del Aroclor 1254.

Tabla 12.- Análisis cualitativo del estándar de Aroclor®1254

Isómero	Nombre	Número IUPAC	Masa de identificación m/z
2,4,4'	Triclorobifenilo	28	260
3,3',4',	Triclorobifenilo	35	260
2,2',5,5'	Tetraclorobifenilo	52	292
2,2',4,4',5	Pentaclorobifenilo	99	326
2,2',4,4',6	Pentaclorobifenilo	100	326
2,3,4',5,6	Pentaclorobifenilo	117	326
3,3',4,4',5,5'	Hexaclorobifenilo	169	360
2,2',3,4,5,5'	Hexaclorobifenilo	141	360
2,2',3,3',4,4'	Hexaclorobifenilo	129	360
2,2',3,3',6,6'	Hexaclorobifenilo	136	360
2,2',3,4,5,6,6'	Heptaclorobifenilo	186	394
2,2',3,4',5,5',6	Heptaclorobifenilo	187	394
2,2',3,4,4',5,6	Heptaclorobifenilo	181	394
2,2',3,4,4',5,6'	Heptaclorobifenilo	182	394

La figura 10. muestra la distribución de la pluma de contaminación del sitio de estudio.

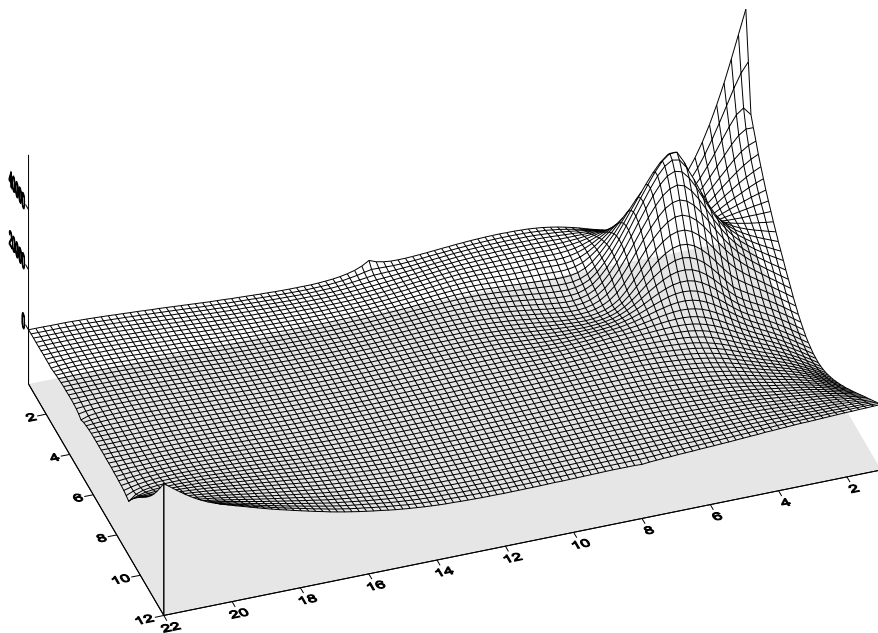
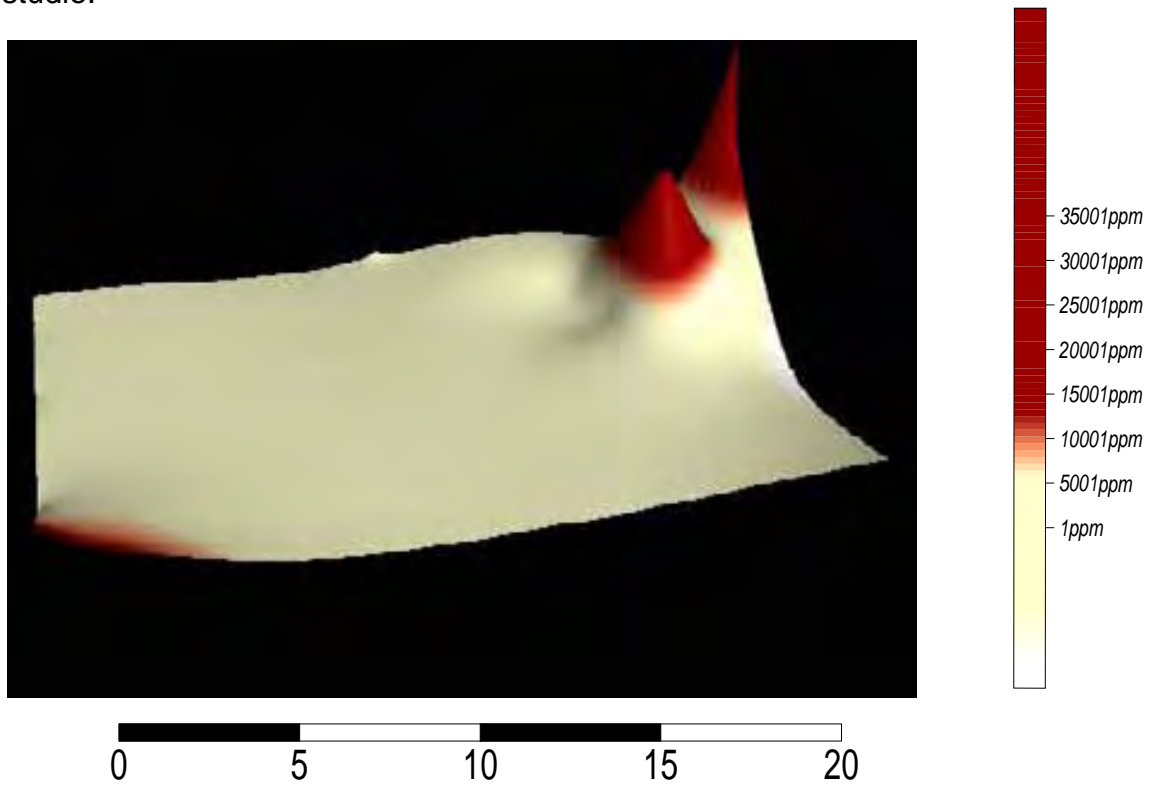


Fig. 10.- Distribución de la pluma de contaminación del sitio

Los resultados del análisis cuantitativo realizado a la muestra de aceite Clorinol (nombre comercial del producto que contenía los BPC) encontrada en el foco de contaminación demostraron que contiene una concentración de 23,094.20 ppm y el patrón de sustitución de bifenilos en la muestra es similar al estándar comercial Aroclor® 1254. La Figura 11. muestra el perfil cromatográfico de los bifenilos policlorados encontrados en el foco de contaminación

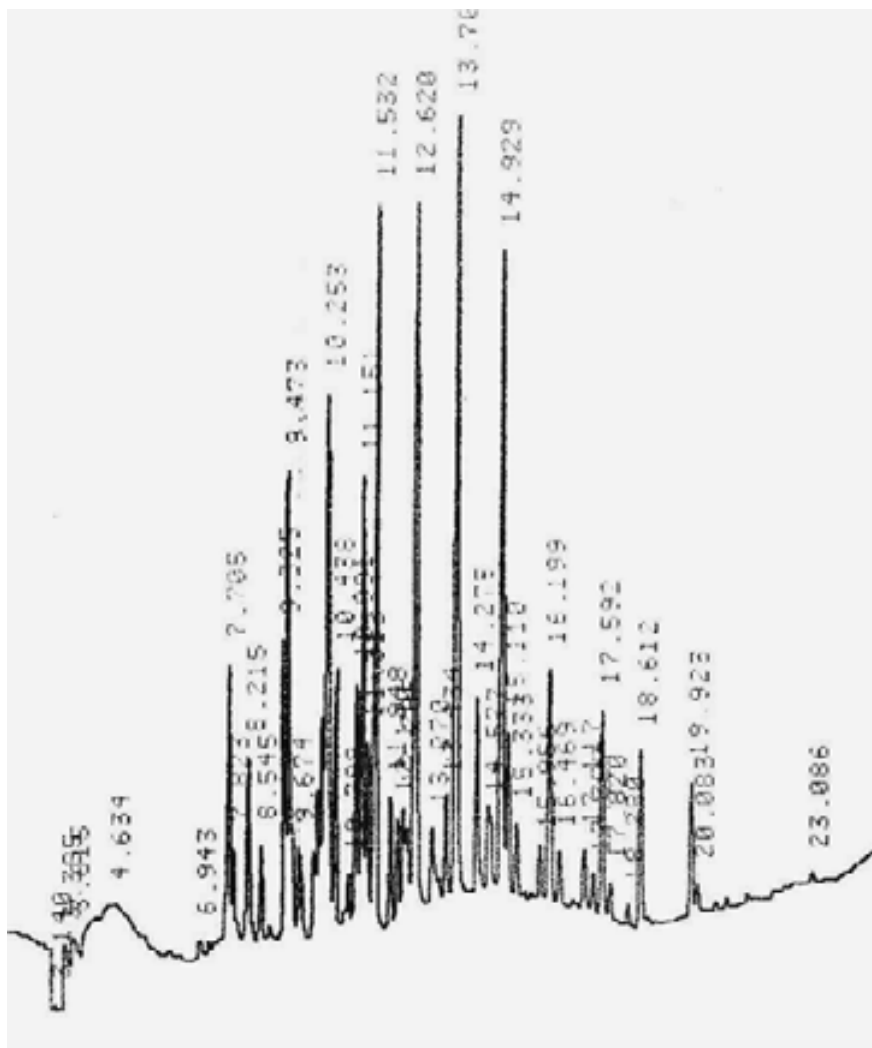


Fig11.- Perfil cromatográfico de los bifenilos policlorados encontrados en el foco de contaminación

Durante la toma de muestras del suelo de la zona 1; la existencia de capacitores en la fosa no permitió la perforación a mayores profundidades para la investigación de las condiciones del subsuelo, por lo que fue necesario solo realizar colectas de suelo en los primeros 10 a 15 cm del estrato superior de suelo y considerando que la fauna esta más expuesta al suelo en la capa superior, se decidió trabajar solo con muestras superficiales. En la figura 12 se presentan los valores de concentración determinados en la zona 1 denominada "foco de contaminación", como se puede apreciar, los rangos de concentración

de BPC alcanzan valores desde 28 a 34,710 mg/kg con un promedio de 6,578 y una desviación estándar de 7,080 siendo ésta la zona de mayor contaminación del sitio de estudio. Cabe hacer mención que debido a los altos valores alcanzados en las muestras de suelo B5, B6 y B7 que en realidad alcanzaron valores de 25,996, 34,710 y 3,667 respectivamente y fue necesario dividir entre 20 para que no se viesen disparados en la figura. La diferencia en las concentraciones es debido a que en ciertos puntos de la zona los capacitores que deberían estar enterrados han quedado al descubierto debido a la acción del intemperismo atmosférico propio de la región.

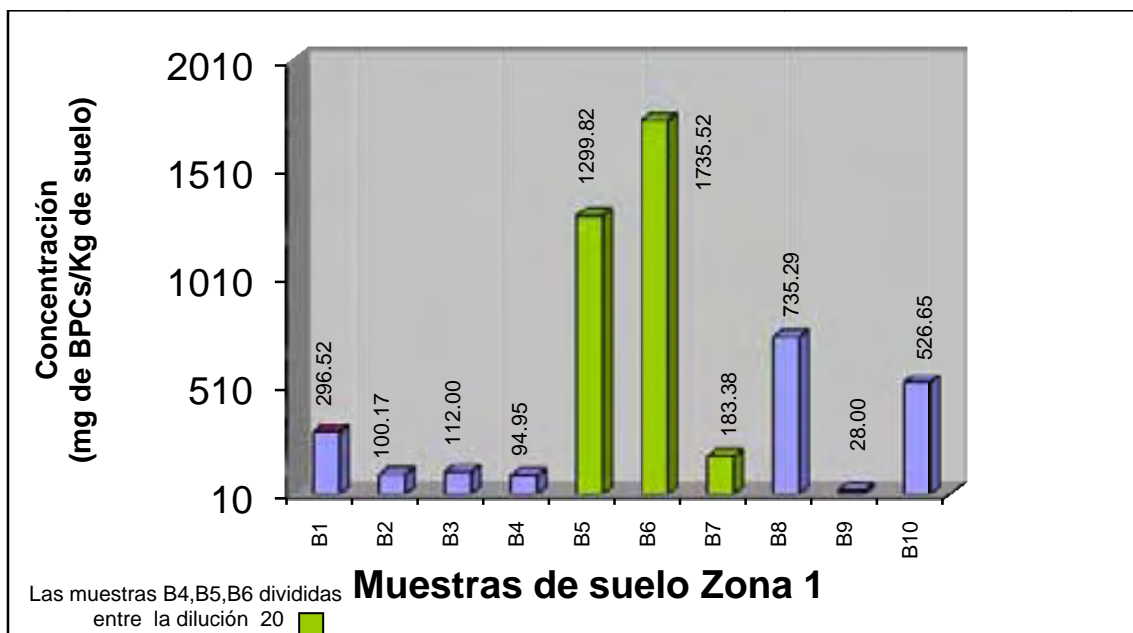


Figura 12.- Valores de Concentración de BPC en el suelo de la Zona 1

La Figura 13 presenta los valores de concentración en la zona 2, se alcanzaron rangos desde 1 a 811 mg/kg con un promedio 132 y una desviación estándar de 217. La diferencia en los valores alcanzados es debido a que en ciertas áreas existe una población de especies vegetales muy densa (que se considera están coadyuvando a la fitoremediación de la contaminación del sitio) en comparación con las áreas sin cobertura vegetal en donde se alcanzan los valores máximos de concentración de BPC.

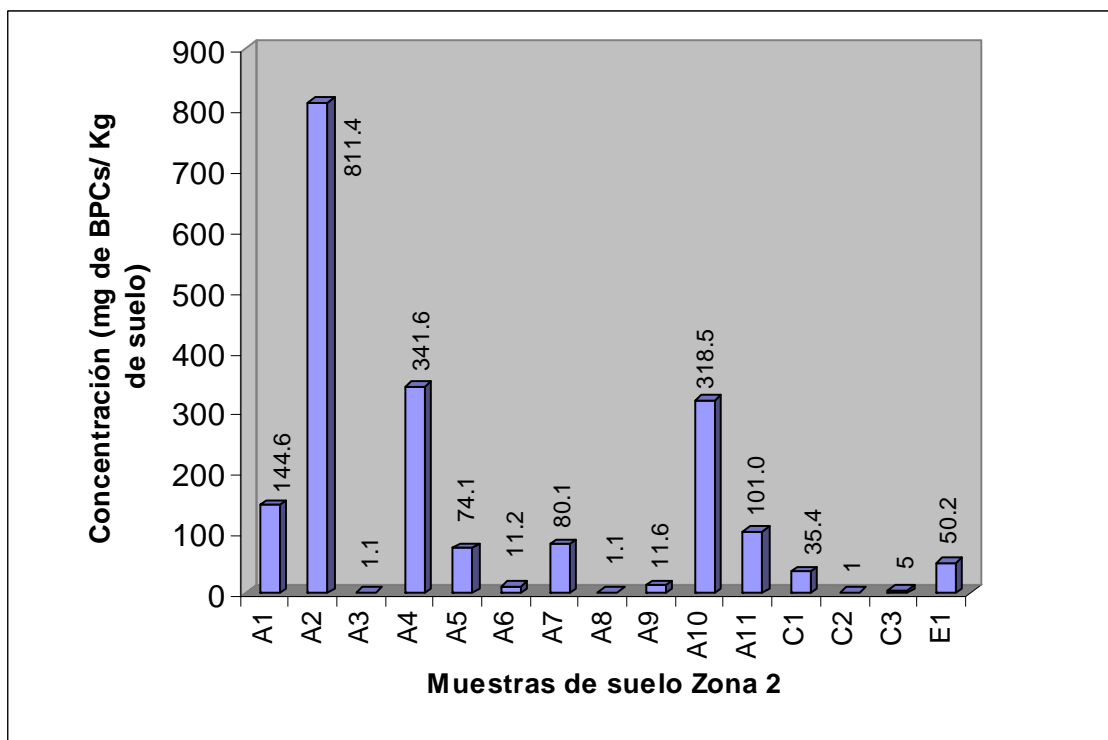


Figura 13.- Valores de Concentración de BPC en el suelo de la Zona 2

Los niveles de concentración en el suelo están controlados por la fuerte absorción de los diferentes congéneres de BPC a la materia orgánica presente en los primeros 15 cm. de suelo. Sin embargo es de esperarse que en la parte inferior la retención del contaminante sea muy escasa debido a su estructura con gran proporción de arena.

Los niveles altos de concentración de BPC encontrados en las muestras de suelo del sitio en cuestión, coinciden con varios de los casos reportados en la tabla de Erikson (1986) sobre informes de estudios de diferentes concentraciones de BPC en las cercanías a factorías de equipos dieléctricos en Japón en la manufactura de transformadores de USA, en sedimentos con derrames de BPC; en sedimentos de varios sitios contaminados en Japón y por contaminación de sedimentos en Suecia (Kimbrough, 1980).

Los sedimentos del río alcanzaron un valor de 4 ppm y han resultado un fiel reflejo de la contaminación por BPC del sitio. En la Zona 3 la concentración de BPC en los sedimentos es debido principalmente al depósito de partículas de suelo contaminado proveniente de las zonas 1 y 2 que por escurrimiento y arrastre de la lluvia han quedado en las zonas de remanso de la acequia.

El valor de concentración de BPC determinado en la muestra de agua fue de 0.084 µg/L valor que concuerda con los estudios reportados en la tabla de Erikson, 1986, en especial con los datos de ríos altamente contaminados y de los grandes lagos de Tanabe, 1983.

11.4.2 Cuantificación de la concentración de BPC en la biota

En el sitio, se recolectaron 7 ejemplares de lombrices terrestres que pertenecen a la especie *Eisenia foetida* cuyo peso seco fue de 45.39g. El valor de concentración de BPC encontrado en los tejidos de las 7 lombrices que habitan el sitio contaminado fue de 5.4 mg/kg valor para el cual no se encontró registro alguno para su comparación.

El valor fue 13 ppm para las especies vegetales que habitan la zona 1,2 y 3 valores que superan los <10 µg/Kg. base seca reportados por Strachan (1988). Sin embargo los valores encontrados en las raíces de las especies vegetales del foco de contaminación alcanzan los 185 ppm. Es preciso hacer notar que en las muestras que habitan la zona 1 se encontraron los mismos isómeros característicos para de los Aroclor 1254.

11.5 ANÁLISIS CUALITATIVO

11.5.1 Identificación por cromatografía de gases/masas

Indudablemente, las ventajas de las técnicas de cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas para determinar BPC, son las que más posibilidades poseen como herramienta de investigación en la identificación de este tipo de compuestos.

La tabla 13 muestra una gran proporción de los congéneres tetra, penta, hexa y hepta propios del Aroclor 1254.

Tabla 13.- Tiempos de retención de los principales congéneres de BPC encontrados en las muestras ambientales del sitio.

Pico	Tiempo de Retención (min)	No. de cloros	No. IUPAC	Masa (m/z)	Nombre
1	7.705	3	28	260	Triclorobifenilo
2	9.325	4	52	292	Tetraclorobifenilo
3	9.473	4	54	292	Tetraclorobifenilo
4	10.25	4	55	292	Tetraclorobifenilo
5	10.43	4	57	292	Tetraclorobifenilo
6	11.15	4	58	292	Tetraclorobifenilo
7	11.31	5	99	326	Pentaclorobifenilo
8	11.53	5	100	326	Pentaclorobifenilo
9	12.14	5	117	326	Pentaclorobifenilo
10	13.43	6	141	360	Hexaclorobifenilo
11	14.27	6	129	360	Hexaclorobifenilo
12	14.92	6	136	360	Hexaclorobifenilo
13	15.33	7	186	394	Heptaclorobifenilo
14	16.19	7	187	394	Heptaclorobifenilo
15	17.59	7	181	394	Heptaclorobifenilo
16	18.61	7	182	394	Heptaclorobifenilo

En resumen, los valores encontrados en el sitio de estudio, no cumplen con el marco normativo de la NOM-ECOL-133-2000 que precisa el límite máximo permisible de contaminación en suelos por BPC es de 25 mg/kg de suelo.

La tabla 14. muestra la concentración total de BPC para cada una de las muestras analizadas, así como los isómeros identificados con respecto a los tiempos de retención

Tabla 14.- Concentración total de BPC e isómeros identificados de cada una de las muestras del sitio contaminado

MUESTRAS	CONCENTRACION	ISOMEROS IDENTIFICADOS
ZONA 1		
	TOTAL DE BPC	
	(mg/Kg)	
B1	296.52	28,57,58,117,136,187,181
B2	100.17	28,55,99,100,141,136
B3	112.00	58,55,117,99,136,182
B4	94.95	57,100,141,136
B5	25996	28,52,55,57,58,99,100,117,129,136,141,187,186
B6	34710	28,52,54,57,58,100,117,136,141,181,182,186,187
B7	3667	28,58,54,100,117,129,141,181,187
B8	735.29	52,58,99,100,117,136,181,182
B9	28.00	54,100,99,129,141,181
B10	526.65	28,52,55,99,136,187,186,
MUESTRAS		
ZONA 2		
A1	144.6	28,99,117,129,182
A2	811.4	52,55,99,100,141,136,182,187,
A3	1.1	28,54,100,136,
A4	341.6	28,52,55,136,141,182
A5	74.1	52,57,99,100,136,186,
A6	11.2	28,57,99,100,136
A7	80.1	28,100,99,129,136,181
A8	1.1	52,58,117,129
A9	11.6	58,99,100,129,136
A10	318.5	28,55,99,100,136,186,
A11	101.0	54,58,117,129,182
MUESTRAS		
ZONA 3		
C1	35.4	28,58,136,129,181
C2	1	28,99,100,181
C3	5	55,99,136,182
E1	50.2	28,52,136,141,181,182
ESPECIES	13	52,100,129,136,182
VEGETALES		
RAIZ	185	28,52,57,100,136
LOMBRICES	5.4	54,57,99,136,181
SEDIMENTOS	4	28,58,129,181
ACEITE	23094.20	28,58,55,54,100,117,99,129,141,136,181,182,187

11.6 ANÁLISIS DE RIESGO

Los compuestos contaminantes detectados por análisis de CGM en las muestras de suelo del sitio fueron bifenilos policlorados considerados dentro de la lista de sustancias peligrosas por la Ley General de Compensación y Responsabilidades de Respuesta Medioambiental o Superfondo (CERCLA) lo cual justifica la realización del análisis de riesgo.

11.7 VALORACIÓN DEL RIESGO

11.7.1 Tipo y concentración de contaminantes en los compartimientos ambientales

Los resultados de la caracterización analítica de las muestras de suelo realizados por CGM a profundidades de 10 cm arrojaron valores con rangos de 41 mg/kg a 34,710 mg/kg. Valores que superan por mucho los límites máximos permisibles de 25 mg/kg de BPC de la NOM 133-ECOL-2000 para suelos industriales contaminados con BPC y que representan un grave riesgo por su alto grado de peligrosidad persistencia, movilidad y distribución espacial, el cual constituye un proceso de exposición significativa para los receptores del área.

11.7.2 Características ambientales que afectan al destino y transporte de los contaminantes

Aunque el sitio contaminado se encuentra en la zona semi-plana del Este del municipio de Xochitepec, Morelos el sitio posee la suficiente pendiente (cercana al 3 por ciento) la cual, puede hacer posible el arrastre del contaminante (por movimiento másico) por precipitación pluvial. Aunado a que el suelo es de tipo arena-migajosa y que la zona posee una unidad geohidrológica de alta permeabilidad, con comportamiento de los niveles piezométricos estables y de corriente perenne con zonas de arroyos y canales permanentes, que en el caso de haber sido alcanzados por la contaminación pueden ser focos de alto riesgo para la población ya que la precipitación pluvial anual es de 840 mm considerado como alto y con un período de lluvias de junio a octubre.

11.7.3 Población potencialmente afectada

La población mayormente afectada está conformada principalmente por los trabajadores del sitio, que durante el tiempo en que funcionó la compañía Electrocap S.A. estuvieron expuestos a los contaminantes durante el proceso de aplicación del Clorinol a los capacitares, así como por los residentes del área circundante a la planta industrial.

Se considera que los cuerpos de agua, acuífero subterráneo y suelos aledaños al sitio, poseen una elevada concentración de BPC debido a la exposición que durante 37 años a sufrido la población del área y a la dinámica de la misma. El número de receptores de la población potencialmente expuesta es difícil de cuantificar; sin embargo, por medio de 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 mayor en las localidades de Zacatepec de Hidalgo y Jojutla de Juárez que en el resto del estado de Morelos. Las localidades mencionadas se encuentran aproximadamente entre 8 y 10 Km. respectivamente río a bajo.

11.7.4 Biota potencialmente afectada

En la zona existe una gran biodiversidad de las especies acuáticas en el río Colotepec-Apatlaco. Según el estudio reportado por Trujillo *et al.* 1999 existen 56 especies de peces, anfibios, insectos, plancton y fitoplancton en el río, además de 134 especies de vegetales sumergidas y riparias. En el suelo del sitio contaminado, existen variedad de liebres, aves, insectos, pequeños reptiles y gran variedad de vegetación nativa los cuales, se presume que pueden estar bio-acumulando y bio-magnificando los contaminantes a través de la cadena trófica.

11.7.5 Características y efectos de los contaminantes

La concentración y características de los contaminantes BPC encontrados tanto en el suelo, sedimentos y agua del río se resume en la tabla 15.

Tabla 15. Características de los contaminantes: Bifenilos Policlorados (BPC)

Incluidos dentro de la lista de Contaminantes Orgánicos Prioritarios (COPs)

Clase. EPA: B2= Evidencia suficiente de cáncer en animales pero escasa en humanos.

Factor de potencia carcinogénica: FPC: $7,70 \times 10^{+1}$

Nivel Mínimo de Riesgo aceptable por la EPA:

NMR oral exposición crónica (menor a 365 días): 0.02 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$

Nivel mínimo de efectos Adversos Observados (NMEAO): 0.0075 mg/kg/día

Máximo de exposición del trabajador (OSHA): 0.5 mg/m³ para el Aroclor 1254

Dosis de referencia:

DRf-oral: no hay datos

DRf-ingestión: no hay datos

DRf-inhalación: no hay datos

Concentraciones encontradas:

Rango en suelo: 41 a 34,710 mg/kg

Media en suelo: 6,578 mg/kg

Rango en sedimentos: 3 a 4 mg/kg

Media en sedimentos: 4 mg/kg

Concentración en agua superficial: 0.084 mg/l

Solubilidad en agua: $3,10\text{E}-02$ mg/l a 25 °C

Presión de vapor: $7,70\text{E}-05$ mm Hg a 25 °C

Coef. difusión-aire: $0,05571$ cm²/s

Koc: $5,30\text{E}+05$ mg/l

Log Kow: 6,04 mg/l

Factor de Bioconcentración en peces: $1\text{E}+05$ L/kg

Valores máximos para agua potable (EPA): 0.0005mg/L

Valores máximos en alimentos (FDA-EPA): 0.2-3 mg/L

Entre los efectos que han sido asociados con la exposición a altos niveles de BPC, se incluyen el cloroacné y alteraciones neurológicas e inmunológicas en niños. En trabajadores expuestos se han observado alteraciones en la sangre y la orina que pueden indicar daño al hígado cierto tipo cáncer hepático y del tracto biliar. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), ha determinado que es razonable predecir que los BPC son carcinogénicos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la US-EPA, han determinado que los BPC son probablemente carcinogénicos en seres humanos (clasificación B2). Efectos descritos en animales incluyen alteraciones del sistema inmunitario, de comportamiento y deterioro del sistema reproductivo. Estudios en ratas alimentadas con alimentos con altos niveles de BPC por dos años contrajeron cáncer del hígado.

La US-EPA, ha establecido un nivel de contaminación máximo de 0.0005 miligramos de BPC por litro de agua potable (0.0005 mg/L). La Administración de Alimentos y Drogas (FDA) ha establecido máximos permisibles de 0,2 a 3 ppm de BPC por cada millón de alimentos como leche, huevos y otros productos lácteos, grasa de aves, pescados, mariscos y alimentos para niños. El Nivel Mínimo de Riesgo NMR aceptado por la US-EPA es de 0.03 µg/Kg./día durante una exposición oral de mediana duración (15–364 días); Se ha aceptado un NMR de 0.02 µg/Kg./día por exposición oral crónica (365 días o menores). Todo esto basado en el Nivel mínimo de efectos Adversos Observados (NMEAO) de 0.0075 mg/kg/día para alteraciones de comportamiento neuronal en simios infantes expuestos a una mezcla de 80% de BPC. La Organización para la Administración de la Salud Humana de de USA (OSHA) ha establecido que el trabajador no debe estar expuesto por inhalación a periodos superiores de 8 horas por 5 días/semana a concentraciones mayores de 1 mg/m³ para el Aroclor 1242 y de 0,5 mg/m³ para el Aroclor 1254.

Durante la exposición a BPC, existen varios factores que determinan si su efecto será adverso. Estos factores incluyen la dosis (la cantidad), la duración (por cuanto tiempo) y la manera como se puede entrar en contacto con este contaminante. También se han considerado edad, sexo, dieta, características personales, estilo de vida y condición de salud.

11.7.6 Movilidad de los contaminantes en el medio ambiente

Los BPC, están comprendidos entre los compuestos líquidos densos de fase no acuosa (LDFNA) caracterizados por su inmiscibilidad. Sin embargo, el arrastre por precipitación pluvial cuya movilidad en el medio acuoso depende de las fuerzas gravitacionales y de las diferencias de carga hidráulica, estratigrafía y permeabilidad del suelo, han afectado el destino de tales sustancias contaminantes a los diferentes compartimientos ambientales por frenado debido a sus propiedades físico-químicas (constante de la Ley de Henry, presión de vapor, coeficiente de partición octanol-agua y solubilidad). Sin embargo se debe considerar que debido a los 37 años que ha estado expuesto el proceso de contaminación del ambiente, es de esperarse que el alcance de la dispersión de los contaminantes haya ocurrido de manera extensa como lo demuestra los resultados de los análisis realizados en el agua y sedimentos de la acequia a 80 m. aguas abajo del sitio contaminado.

11.8 VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Se estimó la exposición de los contaminantes considerando la población potencialmente cercana, sometida al riesgo para ello se determinaron:

I.- Vías ambientales por las que los BPC del sitio contaminado llegan a los receptores:

- Foco: sitio de entierro de capacitores dieléctricos.
- Medio de exposición: suelo, sedimentos y aguas contaminadas.

- Mecanismo químico de liberación: derrame y construcción de canales de drenaje en sitio contaminado episódico y crónico.
- Mecanismo de transporte: precipitación pluvial y flujo de agua subterránea.
- Mecanismo de transferencia: absorción en la materia orgánica y partículas del suelo arrastre por precipitación pluvial y acuíferos.
- Mecanismo de transformación: biodegradación por microorganismos del suelo, gusanos y protozoos.
- Puntos de exposición: pozos de agua y arroyo circundante del sitio contaminado, partículas de polvo en los cuales se han adherido los contaminantes.
- Receptores: humanos y animales consumidores de agua de las localidades cercanas.
- Ruta de exposición: ingestión y cutánea.

II.- Valoración del destino y transporte ambiental de los contaminantes:

- La emisión potencial de polvo/partículas contaminadas por erosión eólica desde el sitio contaminado se considera solo factible en las temporadas de tolvaneras que dependen de la velocidad del viento, el tamaño de partícula, el asentamiento gravitacional debido a la existencia de barreras vivas en el área (árboles).
- Se considera que el arrastre y el agua de lluvia podría potencialmente provocar una saturación suficiente del suelo como para que el lixiviado alcance el agua superficial y subterránea contaminando los pozos situados gradiente abajo. Se determinó que la población cercan al sitio utiliza también el agua de la acequia para alimentos, riego, lavar ropa y en ocasiones aseo diario.
- Se considera que debido a los 37 años que ha estado expuesto el problema de contaminación los BPC pudieron potencialmente alcanzar áreas de riego y el agua que se utiliza como bebida para el ganado y que el curso de agua soporta una población piscícola para consumo de la localidad.
- Se considera que existe liberación al suelo desde el sitio contaminado o de los alrededores por lo cual, se determinó que los principales mecanismos de movilidad de los contaminantes son las corrientes de los ríos Colotepec- Apatlaco que pasan cerca de la zona y que desembocan a su vez en el río Amacuzac, a través de los sedimentos. Se valoró la distancia aguas abajo de la localidad y se identificaron poblaciones humanas directamente expuestas al suelo.

III.- Valoración de exposición

- Se realizó la determinación de poblaciones potencialmente expuestas en las inmediaciones del sitio contaminado (aquellos que viven a una distancia de 1,5 Km.). Se detectaron sub-poblaciones de especial interés (niños, mujeres embarazadas, ancianos y personas con enfermedades crónicas colegios y guarderías) y el número de trabajadores que laboraron en el sitio contaminado. Así como la población futura (con base en el uso futuro del terreno proyectado como zona residencial).
- Se desarrollaron tres hipótesis de exposición para caracterizar las condiciones bajo las cuales las poblaciones pudieron potencialmente ser

expuestas, estableciendo parámetros específicos que gobiernan la exposición tales como: frecuencia, duración y tasa de ingestión. El desarrollo de las hipótesis implicó hacer las siguientes suposiciones:

- ✓ *Hipótesis del trabajador.*- Se realizó para determinar el riesgo potencial para el trabajador durante sus actividades. El sitio se utiliza actualmente para actividades industriales de otra índole y los trabajadores no se exponen en condiciones normales ya que ellos se encuentran dentro de una nave industrial cubierta a 10 metros arriba del sitio contaminado; sin embargo, los trabajadores no poseen los equipos de protección exigidos por la normatividad de la OSHA. En cuanto a las posibles acciones de recuperación del sitio contaminado, los trabajadores no estarían implicados en la restauración.
- ✓ *Hipótesis del infractor.*- Existen evidencias de que en el pasado ocurrieron infracciones por parte de la PROFEPA en el sitio contaminado. Sin embargo, se aprobó el cierre del sitio. La zona está limitada por una valla metálica en buenas condiciones, pero no existen otras medidas para limitar el acceso. El sitio no se encuentra próximo a ningún colegio ni zona comercial pero colinda con un hotel.
- ✓ *Hipótesis de uso residencial.*- El sitio estaba proyectado por el nuevo dueño para establecer una zona residencial unifamiliar con albercas a partir de la extracción de agua subterránea. El uso del suelo no tiene ninguna limitación para uso residencial.
- ✓ *Hipótesis de uso recreativo.*- El sitio es aplicable para evaluar los riesgos potenciales asociados a los cursos de agua superficiales ya que a escaso 30 metros del sitio contaminado pasa un arroyo que desemboca en el río Amacuzac donde la gente puede pescar y nadar.
- ✓ *Hipótesis de la construcción.*- La planificación de viviendas ha sido suspendida por sospechar contaminación en el suelo. Y debido a que la construcción tendría como resultado exposiciones potenciales tanto para los receptores del lugar (contacto directo de los trabajadores de la construcción con el suelo) como para las poblaciones de afuera (resultado de las actividades de movimiento de la tierra) lo que supondría la exposición de emisiones de polvos contaminados.

11.9 CALCULO DE DOSIS DE EXPOSICIÓN

Se realizó la estimación de las exposiciones a corto y largo plazo, en términos de dosis para cada ruta de exposición. Se determinaron las concentraciones de los puntos de exposición identificando para cada hipótesis las rutas, principalmente aquellas que implican la cadena alimenticia:

Dosis del Receptor.- Se estimaron las dosis del contaminante a los que los receptores están potencialmente expuestos, considerando dos rutas de exposición: ingestión oral y por contacto dérmico sobre los cuales tienen incidencia los dos tipos de dosis administrada: dosis de ingestión (cantidad

absorbida por el cuerpo vía oral) y la dosis contacto dérmico (cantidad que es absorbida por la piel).

11.9.1 Cálculo de la dosis de ingestión oral (I_o) de los bifenilos policlorados para los trabajadores expuestos adultos de la población expuesta.

Los BPC han sido catalogados por la US-EPA dentro de la lista de los compuestos B2 de sustancias carcinogénicas. El tiempo medio (TM) en la exposición a BPC como sustancias potencialmente carcinogénica se calculó sobre la vida media (supuesta 70 años o 25,550 días) para estar en concordancia con la propuesta utilizada en el desarrollo de los factores de la pendiente.

$$I_o = \frac{C \times TC \times F \times DE}{(PC \times TM)}$$

Donde:

I = Ingestión (mg/kg de peso-día)

C = Concentración en el punto de exposición (mg/L agua).

TC = Tasa de contacto (L/ día) (se considera que un humano ingiere 2 L/ día)

F = Frecuencia (día/año) (Se considera una frecuencia constante de 365 años de exposición).

DE = Duración de la exposición (año) (se considera 8 años como promedio de tiempo de trabajo en la empresa).

PC = Peso del cuerpo (kg) (Estimado para personas de raza mestiza de fuentes norteamericana (MTCA), según observaciones en campo 65 Kg., adultos)

TM = Tiempo medio (días) (se consideran 25550 calculado sobre la vida media).

TR y ABS = Se asumió un planteamiento conservativo en ausencia de información para el tiempo de retención absorción en la sangre de 1,0.

$$I = \frac{(0.084 \text{ mg/L}) (2 \text{ L/día}) (365 \text{ días/año}) (8 \text{ años}) (1) (1)}{(65 \text{ kg}) (25550 \text{ días})} = 2.95 \times 10^{-4} \text{ mg/kg-día}$$

Y la dosis administrada por ingestión oral de los bifenilos policlorados como sustancia cancerígena para los adultos de la población expuesta por ingestión del agua potencialmente contaminada durante 37 años; (para este caso DE = 37 años).

$$I = \frac{(0.084 \text{ mg/L}) (2 \text{ L/día}) (365 \text{ días/año}) (37 \text{ años}) (1) (1)}{(65 \text{ kg}) (25,550 \text{ días})} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg-día}$$

11.9.2 Para el caso de una exposición por ingestión accidental del suelo:

$$\text{Nivel Máximo Recomendable} = \frac{\text{Riesgo} \times \text{Peso} \times \text{Vida}}{\text{TIS} \times \text{Abs} \times \text{FdC}} \times \frac{\text{FCU} \times \text{FPC}}{\text{DUR}} \quad (\text{NMR} = \text{mg kg}^{-1})$$

Riesgo = Riesgo aceptable de desarrollo de cáncer para un individuo en el área contaminada, tomado en 1/1, 000,000

Peso = Promedio de peso durante el período de exposición (kg) (Estimado para personas de raza mestiza de fuentes norteamericana (MTCA), según observaciones en campo 65 kg, adultos, 15 kg para niños).

Vida = Promedio de expectativa de vida en años (Tomado como un poco menor que el promedio nacional por vida de campo (72 → 65 años, INEGI)

DUR = Duración de exposición en años (se considera 8 años como promedio de tiempo de trabajo en la empresa).

FCU = Factor de conversión de unidades (1,000,000 mg kg⁻¹)

FPC = Factor de potencial de carcinogenicidad (7.70X10⁺¹ mg/kg/día obtenido de IRIS de la US-EPA).

TIS = Tasa de ingestión accidental de suelo (mg/d¹) Estimación conservadora de (Model Toxic Control Act (MTCA) (50 mg/d → 200 mg/d)

Abs = Tasa de absorción intestinal (tomado en 1, nivel más exigente).

FdC = Frecuencia de contacto (promedio de días en área contaminada durante el período de exposición) (se consideraron 3 días/ semana durante 8 años de exposición)

$$\text{NMR} = \frac{(1/1,000,000) (65 \text{ kg}) (65\text{años}/8\text{años})(1 \times 10^6 \text{ mg/kg}^{-1}) (7.70 \times 10^1 \text{ mg/kg-día})}{(200 \text{ mg/día}) (19,1152 \text{ días})}$$

$$\text{MNR} = 1.06 \times 10^{-2} \text{ mg/kg}^{-1}$$

11.9.3 Calculo de la ingestión media diaria por contacto dérmico (Ic) con bifenilos policlorados del suelo para los trabajadores del sitio estimando como promedio 8 años de trabajo:

$$I = \frac{C \times A \times AP \times ABS \times MS \times DE}{(PC \times TM)}$$

Se asumieron lo siguientes parámetros:

C = Concentración media en el punto de exposición (6,578 mg/kg).

A = Piel expuesta = 20 por 100 = 0,2 X 18.150 cm² = 3.630 cm²

AP = Adherencia de polvo = 0,51 mg/cm²

ABS = Tasa de absorción de la piel = 6 por 100

MS = Efecto de la matriz del suelo = 15 por 100 (es decir, debido a la matriz del suelo, únicamente el 15% de la contaminación es en realidad debida al suelo).

F = Dos exposiciones por día; 260 días de exposición (considerando sábados, domingo y festivos).

DE = 8 años

PC = (Estimado para personas de raza mestiza de fuentes norteamericana (MTCA), según observaciones en campo 65 kg, adultos, 15 Kg para niños).

TM = 22,550 días.

$$Ic = \frac{(6,578 \text{ mg/kg}) (3.630 \text{ cm}^2) (0.51 \text{ mg/cm}^2) (0.06) (0.15) (2 \text{ exp/día} \times 260 \text{ días/año}) (8 \text{ años}) (X10^{-6})}{(65 \text{ kg}) (25,550 \text{ días})}$$

$$Ic = 2.75 \times 10^{-6} \text{ mg/kg-día}$$

Se considera como dosis suministrada total a la suma de las todas las dosis:

Dosis total suministrada (It) = Dosis de ingestión oral + dosis por contacto dérmico:

$$It = (1.3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg-día} + 2.75 \times 10^{-6} \text{ mg/kg-día}) = 1.3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg-día}$$

11.9.4 CALCULO DE RIESGO INDIVIDUAL DE CÁNCER (RIC):

Riesgo Individual de Cáncer (RIC) = FPC X Dosis media (Ic)

$$RIC = (7.70 \times 10^1 \text{ mg/kg-día}) (2.75 \times 10^{-6} \text{ mg/kg-día}) = 2.11 \times 10^{-4} \text{ mg/kg-día}$$

11.9.5 CALCULO DE INCIDENCIA DE CÁNCER POBLACIONAL (ICP):

ICP = (Riesgo Individual) (Población expuesta)

ICP= $(2.11 \times 10^{-4}) (7,203 \text{ habitantes}) = 1.522 = \text{casos de cáncer en la población de Alpuyecá. Por lo tanto existe un riesgo de que se presenten 211 casos de cáncer en una población de 1, 000,000 habitantes.}$

11.10 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

11.10.1 Valoración de la toxicidad

En el cálculo de riesgo potencial se utilizó la concentración media que permite una mejor estimación del riesgo asociado con las exposiciones crónicas ya que representa la estimación más probable de la concentración en los puntos de

exposición a la que un receptor está expuesto todo el tiempo. 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.

11.10.2 Determinación en cada medio los valores de toxicidad del contaminante:

Para ello se determinó el valor de toxicidad mediante la siguiente expresión:

$$VT = FP \times C_{max} \quad \text{Donde :}$$

C_{max} = Concentración máxima 34,710 mg/kg 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 obtenido de IRIS de la US-EPA)

Para suelo:

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

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

Para agua:

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

Se determinó el **Riesgo Carcinogénico** para los trabajadores del área mediante la relación de la dosis de ingestión diaria crónica (expuesta en la valoración de la exposición) multiplicada por el factor de la pendiente carcinogénica (seleccionado en la valoración de la toxicidad). Con el fin de determinar el incremento de probabilidad de incidencia de cáncer por la exposición a los bifenilos policlorados y el cálculo se realizó por:

$$\text{Riesgo} = IDC \times FP$$

Donde:

IDC = Ingestión diaria crónica (mg/kg/día) (dosis suministrada total calculada anteriormente).

FP = Factor de la pendiente carcinogénica (kg/día-mg).

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

Para la población potencialmente expuesta por ingestión de agua contaminada:

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

Los valores 2.2×10^{-2} mg/kg-día y 1.1×10^{-1} mg/kg-día son 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 significativa para la salud de la población.

Debido a los altos niveles de concentración de BPC encontrados en el sitio y a que el área se ubica cerca a una zona residencial, agrícola y de relevancia ecológica, representan un riesgo directo para los ecosistemas y la salud humana.

Los resultados del presente estudio permiten establecer las bases para atender la emergencia ambiental provocada por la contaminación del suelo, evitar el riesgo que implican al medio ambiente, y para dar certidumbre a las acciones de restauración del sitio.

11.10.3 Evaluación de incertidumbres

La valoración de las incertidumbres en el presente estudio se considera adecuada ya que los datos fueron tomados de las tablas de parámetros de exposición recomendadas por la US-EPA. Se realizó la evaluación de la incertidumbre en cada paso para conocer las posibilidades de sensibilidad de las respuestas finales para cada parámetro individual cuando se estimó la exposición, por ejemplo: los valores de concentración de los contaminantes a partir de muestras estadísticamente representativas, la calidad de la información consultada para determinar la peligrosidad de los contaminantes del sitio y la determinación de las rutas completas de exposición a efecto de validar los resultados del análisis de riesgo.

11.11 ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

El estudio de impacto ambiental, es una predicción de la forma en que las actividades de la mala disposición de los BPC en el sitio han repercutido en el entorno, por lo tanto como en toda predicción, es de esperarse que la incertidumbre esté presente en algunos de los parámetros involucrados.

Debido a que los BPC son persistentes, lipofílicos, hidrofóbicos y bioacumulables, se considera que las aves, pequeños mamíferos, peces y reptiles que residen dentro del sitio contaminado han sido expuestos a los BPC por transferencia de la cadena trófica y la ingestión de agua, suelo y sedimento contaminando. Se realizó la evaluación ecológica del impacto para determinar la naturaleza, magnitud, transitoriedad o permanencia de los efectos ecológicos potenciales provocados por la contaminación con BPC del 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 como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16.- 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 muy probable que debido al gran periodo de exposición (37 años) la contaminación haya alcanzado el acuífero que se encuentra a 3m. de profundidad	Puede ser reversible con sistemas de filtración a través de carbón activado	Depende de costos

La tabla 17. presenta la lista de identificación de las especies vegetales (receptores ecológicos existentes en las tres zonas de estudio. La especie *Biden 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. La descripción de las especies se encuentra en el anexo 3

Tabla 17.- Especies vegetales del sitio de contaminación.

Espece	Vegetal	Ubicación por zona
<i>Bidens pilosa</i>		1
<i>Commelina diffusa</i>		1
<i>Choris virgata</i>		1
<i>Anoda pubecens</i>		2
<i>Sanvitalia procumbens</i>		2
<i>Tithonia tubiformis</i>		2
<i>Dalea foliolosa</i>		2
<i>Cynodon dactylon</i>		3
<i>Ipomea purpúrea</i>		3

La tabla 18. Presenta la estimación de la severidad de los impactos y efectos ecológicos de las zonas muestreadas. Como se puede apreciar, el rango de clasificación del impacto en el sitio va desde medianamente impactada a muy significativa por lo que puede considerarse un sitio identificado como de alta intensidad ya que su efecto se manifiesta como una modificación del ambiente para las especies nativas del sitio y es probable que produzca repercusiones apreciables en los procesos reproductivos, y alimenticios de las especies de animales que lo habitan. Y como consecuencia de una aportación progresiva de contaminantes BPC a través del tiempo es probable que lleguen a sobrepasar el umbral tolerable de estas especies debido a su acumulación, pudiendo ocasionar graves problemas de bioacumulación y biomagnificación. Sin embargo, es necesario considerar todos aquellos procesos de atenuación natural y la tendencia natural del medio ambiente hacia la homeostasia integral del sistema ecológico involucrado.

XII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos del presente estudio son indicativos de los posibles efectos potenciales de los BPC sobre la población cercana al sitio contaminado ya que los elementos de juicio utilizados como son, la calidad de la información, los estadísticos aplicados y la consistencia de las observaciones, proporcionan evidencias suficientes para prevenir sobre la posible afectación de la población.

Los niveles de contaminación más elevados por BPC correspondieron a la primera zona, denominada "Foco de contaminación", sin embargo existen concentraciones considerables en la zona 2, debido al movimiento masico que existe de los BPC a través del suelo.

Debido a las características físicas y químicas (Textura, permeabilidad, conductividad hidráulica, etc.) que presenta el suelo del sitio contaminado, estas favorecen en gran medida al movimiento del contaminante

Los resultados analíticos realizados por cromatografía de gases masas de las muestras de suelo y sedimentos arrojaron valores que superan los límites máximos permisibles para suelos industriales contaminados con BPC de la Norma Ecol-133-2000.

Las concentraciones obtenidas en flora, fauna y agua representan un indicio de la transferencia del contaminante hacia estos compartimentos ambientales.

Los resultados del análisis de riesgo, muestran valores de 2.2×10^{-1} mg/kg-día valores mayores al rango de 10^{-4} a 10^{-6} de riesgo aceptable de la EPA para riesgos carcinogénicos es decir, los ciudadanos expuestos a los BPC por todas los medios y rutas estudiadas, enfrentan un riesgo de contraer cáncer de 211 personas en una población de 1,000,000.

Se sugiere la eliminación de los capacitores y del suelo circundante en tambos UN y el cierre limpio del sitio llevando a cabo las acciones necesarias después del cierre, como mantener cercado el área, instalar una cubierta final para aminorar la infiltración hacia el interior y el monitoreo del agua superficial y subterránea.

En el caso de existencia de la parte inferior del sitio de entierro de los capacitores (foco de contaminación) será necesario excavar y remover los artefactos y suelo, tratarlos como residuos peligrosos; solidificar cualquier lodo que permanezca y rellenar el espacio con material limpio; mantener el monitoreo y cuidado después del cierre. Como ya se ha tratado anteriormente, los compuestos orgánicos identificados resultan tóxicos en concentraciones muy bajas y tienen el potencial de bioacumularse a lo largo de la cadena alimentaria. Además de ser altamente persistentes; incluso si el foco de contaminación fuera eliminado, la retención en sedimentos, suelos y tejidos animales probablemente retrasaría muchos años la eliminación de esta

contaminación. Por lo cual, se deben establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, de la vida animal vegetal y de la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos.

Si no se soluciona la situación actual, se continuará con un deterioro más generalizado de la cuenca del río Amacuzac. A corto plazo, resulta esencial limpiar el sitio contaminado y los responsables de la contaminación deben asumir plena responsabilidad financiera y legal del problema de contaminación.

Para la recuperación del suelo contaminado se deben analizar las diferentes técnicas de tratamiento para aplicar las más adecuadas.

La implementación de la tecnología más adecuada de restauración del sitio deberá estar acompañada de la ejecución de todas las medidas dirigidas a reducir, eliminar y compensar los efectos negativos durante la fase de desactivación del proceso contaminante y el cierre del sitio, mediante la aplicación de programas de monitoreo.

Propuesta de remediación ambiental:

Se recomienda realizar investigación para aplicar la tecnología más adecuada para remediar el sitio contaminado y minimizar el impacto ambiental producido por la contaminación del sitio mediante:

- El monitoreo exhaustivo para generar una mayor información sobre el sitio contaminado por tipo y concentración del contaminante y por posible población afectada.
- La evaluación de alternativas tecnológicas de tratamiento de los artefactos (capacitores) que contienen BPC en base a la eficiencia de eliminación, costos e impactos al ambiente.
- La determinación de la tecnología de bioremediación más adecuada para este tipo de contaminante existente en el suelo del sitio. Realizando previamente la investigación necesaria para la restauración mediante estudios de viabilidad y alcances con definición de metas de restauración finales.
- Realizar el estudio de la fitoremediación de la contaminación que se esta llevando acabo en el sitio.
- Establecer un plan de vigilancia ambiental.

XIV ANEXOS

Anexo Fotográfico 1



Anexo fotografico 2



ANEXO FOTOGRÁFICO 3

Bidens pilosa L.

Amor seco

Nombres

Otros nombre comunes usados en español

Acahuale blanco, aceitillo, mulito, rosilla, saetilla, té de milpa, mozotillo, mozote negro, aceitilla, cadillo, amor seco, picón, saetilla.

Categorías taxonómicas superiores

Reino: Plantae; Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares); Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas); Subclase: Asteridae; Orden: Asterales.

Origen y distribución geográfica

Área de origen

De California, E.U. a Centroamérica.

Distribución secundaria

Ampliamente distribuido en los trópicos de todo el mundo.

Distribución en México

Se ha registrado en Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas.

Estatus migratorio en México

Nativo.

Identificación y descripción

Hábito y forma de vida: Planta anual, comúnmente ramificada desde la base, con o sin pelos.

Tamaño: Hasta de 1 (1.8) m de alto.

Tallo: Cuadrangular, ramificado, con pocos pelos o sin ellos.

Hojas: Pecíolos de hasta 8 cm de largo; lámina de hasta 13.5 cm de largo y 11 cm de ancho, partida en 3 a 5 (7) folíolos simples, ovados a lanceolados, agudos a acuminados en el ápice, toscamente aserrados, con pelos esparcidos en ambas caras.

Inflorescencia: Varias cabezuelas agrupadas en cimas corimbosas en las porciones terminales de las ramas.

Flores/cabezuela: **Cabezuela** con involucro anchamente campanulado a subhemisférico, brácteas exteriores 7 a 10, lineares a linear-espatuladas, de 3 a 5 cm de largo, verdes, ciliadas, las interiores 8 a 10, lanceoladas, de 3 a 5 mm de largo, café pero con los márgenes hialinos, sin pelos; receptáculo plano a convexo, páleas lineares; **flores ligulazas** ausentes pero llegan a observarse en la periferia del disco de 1 a 5 pequeñas flores tubulosas fértiles de corola blanca; **flores del disco** 35 a 75 de corola amarilla, de 3 a 4 mm de largo, con pocos pelos o sin ellos en el tubo, anteras oscuras.

Frutos y semillas: Aquenios de 5 a 18 mm de largo, los interiores lineares y más largos, los exteriores mas o menos comprimidos dorso-ventralmente y

más cortos, negruzcos a café, vilano por lo común de 3 aristas amarillas, de 1 a 3 mm de largo.

Raíz: Pivotante.

Hábitat.-En lugares abiertos, cultivos, bordes de caminos y baldíos.

Distribución por tipo de zonas bioclimáticas.-En regiones tropicales y subtropicales.

Distribución altitudinal.-Se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2500 m.

Distribución por tipo de suelos.-En suelos arenosos.

Biología y ecología

Propagación, dispersión y germinación

Se propaga por semillas, los frutos se pegan a la ropa facilitando así su diseminación.

Ciclo de vida.-Planta anual.

Fenología.-Florece en primavera y verano.

Impacto e importancia

Cultivos afectados y efectos sobre los cultivos

Villaseñor y Espinosa (1998) la reportan como maleza en avena, café, calabaza, caña, cítricos, fresa, frijol, frutales, hortalizas, maíz, manzana, sorgo y soya. En el noroeste de Argentina es invasora de plantaciones de tabaco (Marzocca, 1976).



Commelinaceae

Commelina diffusa Burm. f.

Tripa de pollo

Nombres

Otros nombres comunes usados en español

Hierba de pollo, canutillo, siempreviva, coyuntura.

Categorías taxonómicas superiores

Reino: Plantae; Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares); Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase: Liliopsida (monocotiledóneas); Subclase: Commelinidae; Orden: Commelinales.

Origen y distribución geográfica

Área de origen.-América tropical y subtropical.

Distribución en México

Se tiene registro de Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Colima, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán.

Estatus migratorio en México.-Nativa.

Identificación y descripción

Es una planta rastrera o ascendente, rara vez erecta, más bien delicada, con tallos por lo general de menos de 5 mm de diámetro; pétalos de color azul intenso, el inferior cortamente unguiculado, con una uña de ± 1 mm de largo por 1 mm de ancho.

Hábito y forma de vida: Planta rastrera a ascendente, rara vez erecta, suculenta.

Tamaño: Hasta de 50 cm o más de largo.

Tallo: Radicante en los nudos inferiores, abundantes, muy ramificados, casi sin pelos, delgados, por lo general de menos de 5 mm de diámetro, tendiendo al color morado.

Hojas: Con vainas membranosas, de 0.5 a 1 (1.5) cm de largo por 3 a 4 mm de ancho, margen superior ciliado, persistentes, láminas ovadas a lanceoladas, de 2 a 6 (12) cm de largo por 1 a 2 (3) cm de ancho, agudas en el ápice, redondeadas en la base, con pocos pelos o sin ellos.

Inflorescencia: Cimmas axilares, con pedúnculos por lo común de 1 a 5 cm de largo, bráctea espatácea de 1 a 2 (3) cm de largo por 5 a 10 mm de ancho, con frecuencia algo curvada sobre todo en el ápice, que es agudo o acuminado, por lo general sin pelos y con las venaciones transversales algo conspicuas o inconspicuas.

Flores: Con pétalos azules, de 4 a 6 (10) mm de largo, dos de ellos un poco mayores y de uña relativamente larga, con respecto al tercero que es poco menor y de uña corta; estambres 3, estaminodios 2 o 3; sépalos de 3 a 4 mm de largo.

Frutos y semillas: El fruto es una cápsula bivalva, elipsoide, de unos 6 mm de largo, con 4 o 5 semillas de color negro, con marcas en forma de pequeños hoyos, de 2.5 a 4 mm de largo.

Raíz: Adventicia, numerosas y fibrosas, cilíndricas, más bien delgadas en la porción cercana a la planta, a veces muy largas, engrosándose en el extremo distal.

Hábitat

Comunidades y plantas o animales asociadas

En pastizales y matorrales.

Distribución por tipo de zonas bioclimáticas

Se distribuye en regiones tropicales y subtropicales de ambos hemisferios.

Distribución altitudinal.-En el Valle de México hasta los 2750 m.

Distribución por tipo de suelos.-Suelos húmedos.

Biología y ecología

Propagación, dispersión y germinación.-Se propaga vegetativamente.

Ciclo de vida.-Planta anual o perenne.

Impacto e importancia

Cultivos afectados y efectos sobre los cultivos

Se ha registrado en ajonjolí, alfalfa, arroz, avena, café, calabaza, caña, cítricos, fresa, frijol, frutales, garbanzo, haba, linaza, maíz, mango, plantas ornamentales, papaya, plátano, potreros, sorgo (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Usos

Su utiliza como forraje, útil en los cafetos porque protege el suelo contra la erosión, también tiene un uso medicinal (acompañada con otras plantas se utiliza en baños para disminuir inflamaciones en el cuerpo).



Poaceae = Gramineae

Cynodon dactylon (L.) Pers.

Zacate bermuda

Nombres

Otros nombre comunes usados en español

Bramilla, grama, gramilla, zacate agrarista, zacate Bermuda, zacate pata de gallo, bermuda de la costa, grama de la costa, zacate borrego, zacate conejo (Chihuahua), gallitos, grama de bermuda, pata de perdiz.

Categorías taxonómicas superiores según Cronquist

Reino: Plantae; Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares); Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase: Liliopsida (monocotiledóneas); Subclase: Commelinidae; Orden: Cyperales.

Origen y distribución geográfica

Área de origen.-Aparentemente es originaria de África.

Distribución secundaria

Regiones templadas del Viejo Mundo, introducida a América (presente en Norte, Centro y Sudamérica) e Islas del Caribe.

Distribución en México

Se conoce de Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Estatus migratorio en México.-Exótica.

Identificación y descripción

Hábito y forma de vida: Hierba perenne.

Tamaño: 10 a 30 cm de alto, pero puede tener más de largo, ya que crece con estolones.

Tallo: Delgados, glabros, erectos o decumbentes.

Hojas: Vainas de 1.5 a 7 cm de largo, generalmente mas cortas que los entrenudos, vilosas en el ápice, las inferiores usualmente quilladas, los bordes membranosos, lígulas membranosas, cilioladas, de 0.2 a 0.3 mm de largo, a veces vilosas en el dorso, láminas de 0.5 a 6.5 cm de largo por 1 a 3.5 mm de ancho, aplanadas, en ocasiones dobladas, escabriúsculas (poco ásperas), generalmente vilosas detrás de la lígula y en los márgenes inferiores, ocasionalmente en ambas superficies.

Inflorescencia: Espigas (3) 4 a 6, de 1.5 a 6 cm de largo, distribuidas en un verticilo, usualmente radiadas.

Espiguilla/Flores: **Espiguillas** de 2 a 2.8 mm de largo, adpresas en el raquis e imbricadas, verde violáceas, **glumas** de 1 a 2.3 mm de largo, glabras, la primera falcada (en forma de hoz), la segunda lanceolada; **lema** de 2 a 2.6 mm de largo, fuertemente doblada y aquillada, sin arista u ocasionalmente con un corto mucrón, **pálea** glabra tan larga o un poco más corta que la lema; raquilla prolongada, desnuda o llevando una segunda flor masculina o rudimentaria.

Frutos y semillas: Cariópsis de perfil fusiforme a elíptico, de 0.9 a 1.5 mm de largo y 0.5 a 0.7 mm de ancho, cuerpo translúcido de color ambarino o cremoso, de textura estriada extremadamente fina.

Plántulas: Lo que aparece como plántula es en realidad el primer brote de un estolón. La primer hoja del brote con vaina de 2 a 5 mm de largo, sin pelos;

lígula sin pelos; lámina linear de 3 a 8 mm de largo y 1 a 1.3 mm de ancho, sin pelos; la segunda hoja siempre de ápice agudo, de 14 a 15 mm de largo y 0.7 a 1.2 mm de ancho

Raíz: Estolones y rizomas.

Hábitat

Se comporta como ruderal y arvense en varios cultivos. Se distribuye ampliamente en áreas con disturbio.

Distribución altitudinal

Crece desde el nivel del mar hasta los 2100 m con temperaturas mayores a 17.5 °C y precipitaciones de 600 a 2800 mm/año.

Biología y ecología

Propagación, dispersión y germinación

Por semilla y vegetativamente.

Ciclo de vida

Cuando alterna con cultivos de temporal anuales se puede comportar como anual, pero cuando alterna con cultivos como la alfalfa o huertos, céspedes de jardín, nopaleras, etc. se comporta como perenne.

Fenología

Cuando se comporta como anual se encuentra de marzo a diciembre y cuando se comporta como perenne se le encuentra durante todo el año en diferentes etapas fenológicas.

Plagas, enfermedades y enemigos naturales

Es hospedante de varios carbores, *Pyricularia oryzae* (añublo del arroz), *Meloidogyne incognita* (nematodo agallador).

Impacto e importancia

Cultivos afectados y efectos sobre los cultivos

Villaseñor y Espinosa (1998) citan su presencia en aguacate, ajonjolí, alfalfa, algodón, arroz, avena, cacahuete, caña, cártamo, cebolla, chile, cítricos, espárrago, frijol, frutales, girasol, haba, linaza, maíz, mango, manzana, melón, nogal, plantas ornamentales, papa, pepino, plátano, potreros, pradera, sorgo, soya, tomate, uva, viveros. También se encuentra en cebada, trigo, linaza, café, nopal, col, estropajo, hortalizas.

En cultivos de plantación forma manchones que llegan a cubrir superficies considerables, sofoca y elimina a las plantas de cultivo, por ejemplo: alfalfa, caña de azúcar, forrajes, huertos, etc.

Usos

Se cultiva y usa como pasto de césped, como forraje, para estabilizar orillas de carreteras y canales. Se usa como diurético y para aliviar la hepatitis no infecciosa y la ictericia.

Control

Control cultural

Resiste al fuego como en caña de azúcar y al corte constante como alfalfa y forrajes

Fabaceae = Leguminosae en parte
Dalea foliolosa (Ait.) Barneby
Limoncillo



Fabaceae = Leguminosae en parte
Dalea foliolosa (Ait.) Barneby
Limoncillo

Nombres

Otros nombre comunes usados en español

Almaraduz, hierba de la hormiga, mezquitillo, motita, sonajilla.

Categorías taxonómicas superiores según Cronquist

Reino: Plantae; Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares); Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas); Subclase: Rosidae; Orden: Fabales.

Origen y distribución geográfica

Área de origen.-México a Honduras.

Distribución secundaria.-Probablemente naturalizada en Colombia y Venezuela (GRIN).

Distribución en México

Villaseñor y Espinosa (1998) la reportan en Aguascalientes, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luís Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz.

Estatus migratorio en México.-Nativa.

Identificación y descripción

Hábito y forma de vida: Planta herbácea de vida corta.

Tamaño: De 3 a 60 cm de altura.

Tallo: Simple y erecto o bien ramificado y rastrero con las puntas ascendentes.

Hojas: Alternas, de hasta 8 cm de largo, compuestas de 10 a 34 hojitas (foliolas) elípticas, generalmente de menos de 5 mm de largo. Sobre el tallo, en el punto donde nace cada hoja, se presenta un par de estructuras como hojitas secas llamadas estípulas.

Inflorescencia: De numerosas flores dispuestas en espigas densas, cilíndricas a casi esféricas, de hasta 3 cm de largo, ubicadas en las puntas de las ramas. Cada flor acompañada de una bráctea.

Flores: El tubo del cáliz campanulado, cubierto de pelos largos y suaves, sus 5 lóbulos triangulares; corola de color rosa a morado, de 5 pétalos desiguales, el más externo es el más ancho y vistoso, llamado estandarte, en seguida se ubica un par de pétalos laterales similares entre sí, llamados alas y por último los dos más internos, también similares entre sí y generalmente fusionados forman la quilla, que envuelve a los estambres y al ovario; estambres 10, los filamentos de 9 de ellos están unidos y 1 libre; ovario angosto, con 1 estilo largo y delgado terminado en un estigma pequeño.

Frutos y semillas: Los frutos son legumbres, más o menos triangulares, de hasta 2.5 mm de largo, con una sola semilla de arroximedamente 2 mm de largo.

Plántulas: Sin datos.

Raíz: Sin datos.

Características especiales: Muy olorosa al estrujarse.

Hábitat

Frecuente en parcelas de cultivos de temporal, a orillas de caminos o en terrenos baldíos, en terrenos con tepetate o caliche.

Distribución por tipo de zonas bioclimáticas

Bosque de pino-encino, selva baja caducifolia, matorral xerófilo.

Biología y ecología

Ciclo de vida.-Planta anual.

Fenología.-Se encuentra en floración de septiembre a enero.

Impacto e importancia

Cultivos afectados y efectos sobre los cultivos

Se reporta en cultivos de maíz.

Usos

Los chivos comen esta planta.



Convolvulaceae

Ipomoea purpurea (L.) Roth

(= *Pharbitis purpurea* (L.) Voigt)

Nombres

Otros nombres comunes usados en español

Manto de la virgen, campanilla, batatilla, bejuco, bejuquillo, quiebraplato, gloria de la mañana. menciona además los siguientes nombres: aurora, corregüela, correhuela.

Categorías taxonómicas superiores según Cronquist

Reino: Plantae; Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares); Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas); Subclase: Asteridae; Orden: Solanales.

Origen y distribución geográfica

Área de origen.-América.

Distribución secundaria

Partes de Norteamérica, Oceanía, partes más calurosas de Europa, Asia y África.

Distribución en México

Se conoce de Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz.

Estatus migratorio en México

Nativa.

Identificación y descripción

Hábito y forma de vida: Planta herbácea, rastrera o trepadora.

Tamaño: De 20 cm a 2 m de longitud.

Tallo: Generalmente ramificado en su base, con pelos amarillos hasta de 4 mm de largo.

Hojas: Con pecíolos de 4 a 20 cm de largo, con pelos; láminas foliares en forma de corazón, ovadas, enteras o trilobadas, o bien, raramente 5 lobadas, de 3 a 17 cm de largo y 2 a 15 cm de ancho, ápice agudo a acuminado, base cordada de seno profundo, con pelos esparcidos a densos en ambas caras, mismos que disminuyen con la edad.

Inflorescencia: Es una cima con 1-5 flores.

Flores: Solitarias o dispuestas en cimas 2 a 5-floras en las axilas de las hojas, pedúnculos de 0.2 a 18 cm de longitud, pedicelos de 5 a 20 mm de largo, ambos con pelos, brácteas lanceoladas, de 1 a 9 mm de largo, con pelos; sépalos desiguales: los exteriores lanceolados a angostamente elípticos, de 8 a 17 mm de longitud y 2 a 5 mm de ancho, acuminados, con pelos largos amarillos de base engrosada, los interiores angostamente lanceolados, de 8 a 17 mm de longitud y 2 a 3 mm de ancho, acuminados, con bordes membranosos y secos, ligeramente pubescentes en la parte media; corola en forma de embudo, de color púrpura, rosa o blanca, el tubo frecuentemente de un color más claro, de 2.5 a 5 cm de longitud, sin pelos; filamentos de 1.3 a 3 cm de longitud, anteras de 1 a 3 mm de largo; ovario cónico, sin pelos, 3-locular, con 6 óvulos; estilo de 1.4 a 2.7 cm de longitud, estigma 3-globoso.

Frutos y semillas: El fruto es una cápsula, sin pelos, de 9 a 11 mm de diámetro, 6-valvar, 3-locular, con semillas; estas en forma de gajo, de 2.2 a 3.7 mm de largo y 3.1 a 5 mm de ancho, café, café rojizo o café oscuro, la cara dorsal muestra un surco longitudinal conspicuo, presenta costillas que coinciden con los bordes del gajo y con pelos largos y entrecruzados.

Plántulas: Hipocótilo cilíndrico, de hasta 100 mm, sin pelos. Cotiledones de lámina cuadrada a ampliamente aovada de 18 a 20 mm de largo y 8.5 a 20 mm de ancho, sin pelos. Epicótilo cilíndrico, de 1 a 17 mm de largo, con o sin pelos. Hojas alternas, primera hoja con pecíolo de 6.5 a 28 mm de largo, lámina cordiforme a triangular-cordiforme de 10 a 30 mm de largo y 7.5 a 30 mm de ancho; segunda hoja con pecíolo de 3 a 23 mm de largo, lámina similar a la primera, de 10 a 30 mm largo y 6 a 21 mm de ancho.

Hábitat

Arvense y ruderal.

Distribución por tipo de zonas bioclimáticas

Matorral xerófilo, pastizal, bosque de encino y eucalipto.

Distribución altitudinal

En el Valle de México se ha registrado hasta los 2650 m.

Biología y ecología

Propagación, dispersión y germinación.-Se propaga por semillas.

Ciclo de vida.-Planta anual.

Fenología

Se encuentra en forma vegetativa de abril a agosto, florece de junio a noviembre y fructifica de agosto a diciembre.

Impacto e importancia

Cultivos afectados y efectos sobre los cultivos

Villaseñor y Espinosa (1998) mencionan que se ha registrado en ajonjolí, algodón, avena, café, calabaza, caña, cempasúchil, chile, frijol, frutales, haba, jitomate, maíz, mango, melón, nardo, nogal, plantas ornamentales, papa, pepino, sandía, sorgo, soya, tomate, uva. En cultivos de maíz forma densas poblaciones que se enredan en los tallos de maíz y luego dificultan la cosecha.

Usos

En algunos lugares se utiliza como ornamental y como planta melífera. También se menciona su uso como medicinal.



Asteraceae = Compositae
Tithonia tubiformis (Jacq.) Cass.
Palocote

Nombres

Otros nombres comunes usados en español

Gigantón, acahual.

Notas sobre la taxonomía

La especie a veces se escribe *Tithonia tubaeformis*; pero es la misma.

Categorías taxonómicas superiores según Cronquist

Reino: Plantae; Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares); Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas); Subclase: Asteridae; Orden: Asterales.

Origen y distribución geográfica

Área de origen

México a Honduras y El Salvador.

Distribución en México

Se encuentra en Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas.

Estatus migratorio en México

Nativa.

Identificación y descripción

Hábito y forma de vida: Planta anual, erecta, por lo general muy robusta.

Tamaño: De hasta 4 m de alto.

Tallo: Cilíndrico, finamente estriado, veloso-hirsuto en toda su extensión aunque el indumento es más denso en los tallos jóvenes y en los pedúnculos de las cabezuelas, de tal modo que se ven blanquecinos, cuando no es así, son rojizos o verdosos, más o menos ramificado.

Hojas: Alternas con pecíolos de 1.5 a 11 cm de largo, láminas ovadas a triangular-ovadas (las superiores a menudo lanceoladas), hasta de 15 cm de largo y 17 cm de ancho, ápice acuminado, margen crenado-aserrado, base a menudo truncada o subcordada, pero decurrente sobre el pecíolo, hispido-pilosas y verdes oscuras en el haz, mucho más densamente pubescentes y más pálidas en el envés, sobre todo en la juventud. Suaves al tacto, no ásperas, como en *Simsia* o *Helianthus*.

Inflorescencia: **Cabezuelas** solitarias o agrupadas por varias en el extremo de las ramas, sobre pedúnculos fistulosos, ensanchados y cubiertos por pubescencia larga y densa hacia su extremo, hasta de 45 cm de largo; **involucro** anchamente campanulado, sus brácteas 15 a 25, de largo subigual o algo desigual, oblongas a lanceoladas, de 1.5 a 3.5 cm de largo, hispido-pilosas; receptáculo convexo a hemisférico, **paleas** ovadas, de 10 a 18 mm de largo, cuspidadas o aristadas y a menudo oscuras en el ápice.

Cabezuelas/Flores: **Flores liguladas** de 11 a 20, sus corolas amarillas a anaranjadas, las láminas elípticas, hasta de 5 cm de largo; **flores del disco** (30) 60 a 200, sus corolas amarillas o anaranjadas, 5 a 7 mm de largo, el tubo de 0.5 mm de largo.

Frutos y semillas: **Aquenio** oblongo-cuneado, grueso, de 4 a 6 mm de largo, pálido, velutino, **vilano** de 2 aristas anchas, desiguales, hasta de 3.5 mm de largo, 12 a 14 escamas desiguales, lacerado-fimbriadas, de 0.3 a 1.2 mm de largo, a veces las aristas faltan.

Plántulas: Hipocótilo alargado de hasta 100 mm, sin pelos; cotiledones de lámina oblonga, de 8 a 15 mm de longitud, sin pelos; epicótilo de hasta 30 mm; hojas opuestas, lámina ovada de 12 a 25 mm de largo y 5 a 10 mm de ancho, ápice agudo, borde crenado, pecíolo de 2 a 8 mm de largo.

Hábitat

Arvense y ruderal.

Distribución por tipo de zonas bioclimáticas

Bosque de pino-encino, selva baja caducifolia.

Distribución altitudinal

En el Valle de México se conoce hasta los 2450 m.

Biología y ecología

Propagación, dispersión y germinación

Por semilla. Las semillas son dispersadas por el agua de riego, maquinaria agrícola y como contaminante de semilla certificada.

Ciclo de vida

Planta anual.

Fenología

Se le puede encontrar en floración de junio a noviembre. En terrenos agrícolas con riego puede estar en diferentes etapas fenológicas durante todo el año.

Impacto e importancia

Cultivos afectados y efectos sobre los cultivos

Se ha documentado en ajo, alfalfa, algodón, avena, cacahuete, calabaza, cebolla, frijol, frutales, garbanzo, lenteja, maíz, plantas ornamentales, sorgo, tomate.

Usos

Se utiliza como forraje para animales domésticos y como medicinal (ver sitio de Semarnat).

Euphorbiaceae

Ricinus communis L.

Higuerilla

Nombres

Otros nombre comunes usados en español

Palmacristi, ricino, higuerilla, higuera del diablo.

Categorías taxonómicas superiores según Cronquist

Reino: Plantae; Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares); Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas); Subclase: Rosidae; Orden: Euphorbiales.

Origen y distribución geográfica

Área de origen

Posiblemente África.

Distribución secundaria

Ampliamente distribuido en los trópicos de ambos hemisferios.

Distribución en México

En México se registra de Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán.

Estatus migratorio en México

Exótica.

Identificación y descripción

Hábito y forma de vida: Planta herbácea alta, a veces algo arbustiva, de color verde claro a azul-grisáceo, en ocasiones rojiza.

Tamaño: Hasta de 6 m de alto.

Tallo: Engrosado, ramificado.

Hojas: Lámina casi orbicular, de 10 a 60 cm de diámetro, profundamente palmatilobada, las divisiones ovado-oblongas a lanceoladas, agudas o acuminadas, borde irregularmente dentado-glanduloso; pecíolo tan largo o más largo que la lámina; glándulas entre la lámina y el pecíolo.

Inflorescencia: Sin datos.

Flores: Flores masculinas con un perianto de 6 a 12 mm de largo, el de las flores femeninas de 4 a 8 mm de largo, ovario densamente cubierto por largos tubérculos blandos, que parecen pelos gruesos.

Frutos y semillas: El fruto es una cápsula subglobosa, de 1.5 a 2.5 cm de largo, con espinas cortas y gruesas (equinado); semillas elipsoides, algo aplanadas, de 10 a 17 mm de largo, lisas, brillantes, frecuentemente jaspeadas de café y gris, conspicuamente carunculadas.

Hábitat

Ruderal; además cultivada.

Distribución por tipo de zonas bioclimáticas

En zonas cálidas de México.

Biología y ecología

Ciclo de vida

Anual o perenne.

Impacto e importancia

Usos

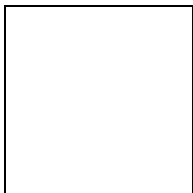
La planta tiene diversos usos, p.ej., los tallos se utilizan para la fabricación de papel. Pero, las semillas son lo más importante económicamente; se extrae el aceite de ricino o de castor, que se utiliza como medicinal, pero también como lubricante técnico importante, para la manufactura de jabones y tinturas. Aparentemente dicho aceite ha sido conocido y usado desde hace más de 4000 años. Además existen formas ornamentales, frecuentemente teñidas de rojo oscuro, ampliamente cultivadas.

Impacto sobre la salud humana

Las semillas son altamente venenosas; ¡tener cuidado sobre todo con niños!

Estatus de naturalización de exóticas

Naturalizado.



Asteraceae = Compositae

Sanvitalia procumbens Lam.

Ojo de gallo

Nombres

Otros nombre comunes usados en español

Ojo de gallo, ojo de pollo, ojo de loro, ojo de perico, vaquita, sanguinaria, hierba de pollo, hierba del sapo.

Categorías taxonómicas superiores

Reino: Plantae; Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares); Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas); División: Magnoliophyta (plantas con flor); Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas); Subclase: Asteridae; Orden: Asterales.

Origen y distribución geográfica

Área de origen

De México y Guatemala a Costa Rica.

Distribución en México

Se ha registrado en Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luís Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán y Zacatecas.

Estatus migratorio en México

Nativo.

Identificación y descripción

Sanvitalia procumbens se distingue por sus "pétalos" (lámina de las flores liguladas) elípticas a ovadas, de 5 a 9 mm, más cortos que las aristas del fruto, que son moradas. En la mayoría de las poblaciones las flores centrales (tubulares) son cafés, pero hay algunas con otros colores.

Hábito y forma de vida: Planta anual, rastrera o ascendente, llega a formas matas.

Tamaño: Las matas de hasta 80 cm de diámetro.

Tallo: Generalmente ramificado, liso o estriado, mas o menos pubescentes, rojizo al menos en una de sus caras.

Hojas: Opuestas, simples, sobre peciolo de 2 a 16 mm de largo, limbo lanceolado a anchamente ovado, de 0.8 a 5 cm de largo, de 0.3 a 2.5 cm de ancho, ápice agudo u obtuso, margen entero, base cuneada, ambas caras algo ásperas, trinervado.

Inflorescencia: Cabezuelas solitarias y terminales, sésiles o sobre pedúnculos de hasta 3 mm de largo.

Cabezuela/Flores: **Cabezuelas** de 1.2 a 2 cm de ancho y 5 a 10 mm de alto, con involucre anchamente campanulado, de 4 a 5 mm de alto, sus brácteas 15 a 20, graduadas en 2 a 3 series, ovadas a suborbiculares, obtusas o redondeadas en el ápice, pubescentes y largamente ciliadas; receptáculo cónico, páleas de ± 7 mm de largo, puntiagudas, generalmente moradas oscuras en la parte superior, pubescentes a lo largo de la quilla; **flores liguladas** ± 12 , sus láminas amarillas, anchamente elípticas a ovadas, de 5 a 9 mm de largo; **flores del disco** 20 a 40, sus corolas de ± 3 mm de largo, generalmente moradas oscuras en el limbo, a menudo con pelos provistos de glándula terminal roja en la base.

Frutos y semillas: Aquenios dimórficos: los de las flores liguladas obcónicos, de ± 4 mm de largo, de color crema a café claro, estriados, tuberculados y con un vilano de 3 aristas divergentes de 2 a 3 mm de largo; aquenios de las flores del disco comprimidos, de unos 3 mm de largo, de color gris a café grisáceo, con 1 a 2 alas partidas y ciliadas, vilano de 0 a 2 aristas cortas, blanquecinas y quebradizas.

Plántulas: Hipocótilo cilíndrico, de hasta 40 cm de largo, en ocasiones rojizo; cotiledones ampliamente elípticos a oblongos, de 2 a 5 mm de largo y 1 a 3 mm de ancho, sin pelos; epicótilo cilíndrico, de hasta 9 mm de largo, con pelos estrigosos; hojas opuestas, peciolo de 1 a 2 mm de largo, lanceoladas a ovadas, de 2 a 8 mm de largo y hasta 3 mm de ancho, sin pelos y con borde ciliado.

Hábitat

Arvense, ruderal, en matorrales y pastizales.

Comunidades y plantas o animales asociadas

Con *Acacia*, *Mimosa* y *Opuntia*.

Distribución por tipo de zonas bioclimáticas

Bosque de pino-encino, matorral xerófilo, selva baja caducifolia.

Distribución altitudinal

En el Valle de México hasta los 2600 m. En el oeste de México de los 1900 a los 2250 m.

Biología y ecología

Ciclo de vida

Planta anual.

Fenología

Florece de junio a noviembre.

Frecuencia y tamaño de las poblaciones

En el Valle de México escasa en parcelas de cultivo sobre todo en las regiones de selva baja en suelos someros o compactados.

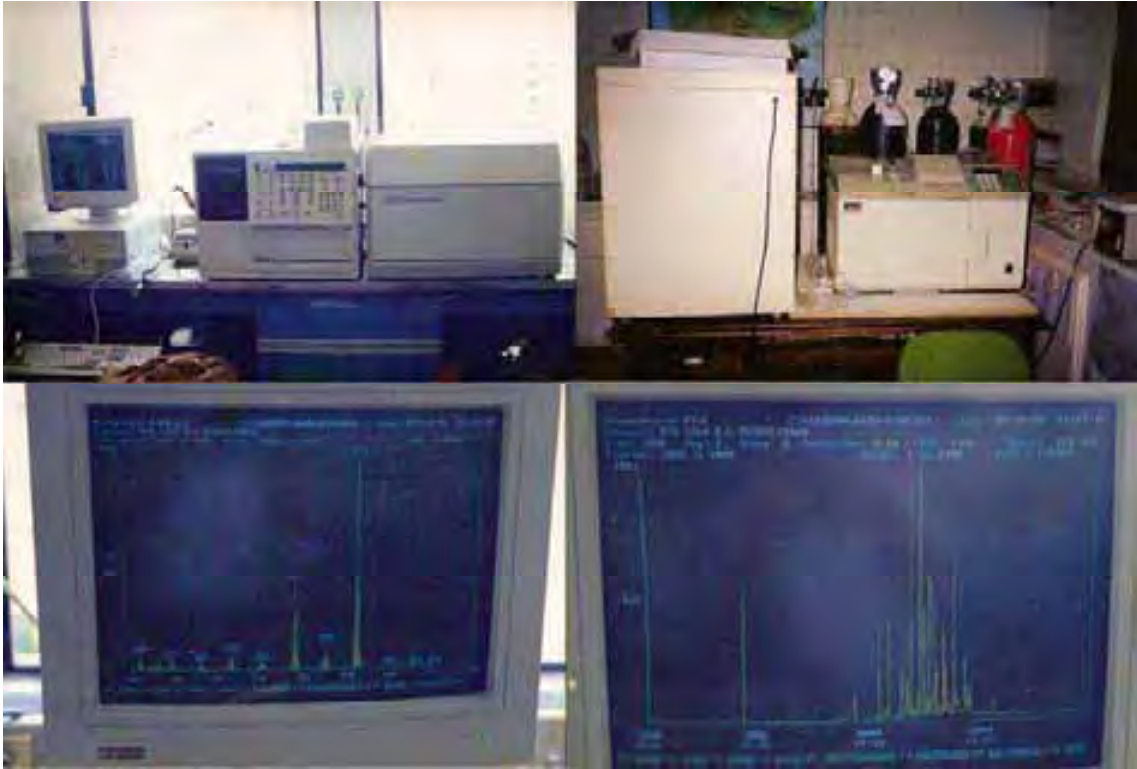
Impacto e importancia

Cultivos afectados y efectos sobre los cultivos

se reportan como maleza en calabaza, cebada, estropajo, frijol, frutales, jitomate, leguminosas forrajeras, maíz, mango, melón, sorgo y tomate.

Usos

Se utiliza como medicinal y se cultiva ampliamente en regiones templadas como ornamental. Existen variedades mejoradas, también de color blanco y más anaranjado.



XIII. BIBLIOGRAFÍA

Ahlingen B. and Jensen S., (1970). Reverse liquid-liquid partition in determination of polychlorinated biphenyls (PCB) and chlorinated pesticides in water., *Anal. Chem.*, 42(13):1483-1486.

Andersson P., (2000). Physico-Chemical Characteristics and Quantitative Structure-Activity Relationships of PCBs; Ed. Solfjädern Offset AB Umeå, ed. Patrik Andersson (*Tesis*).

Angel A. and Sheldon H., (1965). Adipose cell organelles. Transport. *Ann. N. Acad. Sci.*, 131:157-176.

Angel A. (1970). Studies in the compartmentation on lipid in adipose cells I: subcellular distribution, composition and transport on newly synthesized lipid: liposomes, *J. Lipid. Res.*, 11:420-432.

Borlakoglu J.T.; Walker C.H., (1989). Comparative aspects of congeners specific PCB metabolism., *Eur. J. Drug. Metab. Pharmacokinet.*, 14:127-131.

Booth, P., and Jacobson, M., (1992). "Development of Cleanup Standards at Superfund Sites: An Evaluation of Consistency", *J. Air Waste Management Association*, Vol. 42, No. 6, June.

Castillo H. M. (2001). Manual de Edafología Practicas de laboratorio.

Chen P.H., Graw J.M., Wong C.K., Chen C.J., (1980). Level and gas chromatography patterns of PCB in blood of patients after PCB poisoning in Taiwan., *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 25:325-329.

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*.

Dunnivant D.M., Elzerman A.W.,(1988). Aqueous solubility and Henry's Law Constant data for PCBs congeners for evaluation of quantitative structure-property relationships (QSPRs) *Chemosphere*, 17(3):525-541.

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 (PCB's), *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 46:283-296.

Giesy J.P., Kannan K., (1998). Dioxin-Like and Non-Dioxin-Like Toxic Effects of Polychlorinated Biphenyls (PCB's): Implications for Risk Assessment, *Crit. Rev. Toxicol.*, 28(6):511-569.

Goerke H.; Weber K., (1990). Population-dependent elimination of various polychlorinated biphenyls in *Nereis diversicolor* (Plycaeta), *Mar. Environ. Res.*, 29:205-526.

Gosselin H. Gleason S., (1979). Clinical toxicology of commercial products acute poisoning., *Williams and Williams.*, 4ta. Edit.

Gramatica P., Consolaro F., Pozzi S., (2001). QSAR Approach to POPs Screening for Atmospheric Persistence, *Chemosphere*, 43(4-7):655-664.

Green S., Carr J.V. Palmer K.A, Oswald E.J., (1975). Lack of cytogenic effects in bone marrow and spermatogonial cells in rats treated with polychlorinated biphenyls (Aroclors 1242 and 1254)., *Bull. Envir. Cont. Toxic.*, 13:14-22.

Harada M., (1976). Intrauterine poisoning clinical and epidemiological studies and significance of problem. kumamoto Univ. *Bull. Inst. Const. Med.*, 25:1-69.

Hernández C.D. (1999). Estudio de la transformación química de bifenilos policlorados de aceites dieléctricos industriales y su degradación aerobia y anaerobia., Universidad Nacional Autónoma de México., *Tesis doctoral*

Hobson, D.M., (1993). Capítulo 3 de "Land Contamination Problems and Solutions" editado por Tom Cairney. Blackie Academics & Professional.

Hoopingarner R.A. Samuel A. Krause D., (1972). Polychlorinated biphenyls interactions with tissue culture cells., *Envir. Health Persp.*, 1:155-158.

INE-SEMARNAP. (1997). Programa de Gestión Ambiental de Sustancias Tóxicas de Atención Prioritaria; *Ed. Instituto Nacional de Ecología*, p.p. 36.

Ito N., nagasaki H., Makiura S. and Arai M., (1974). Histopathological studies on liver tumorigenesis in rats treated with polychlorinated biphenyls., *Gann.*, 65:545-547.

Izcapa T. C. (2001). Lineamientos generales para la evaluación de sitios contaminados y propuesta de acciones para su restauración. Informe Técnico, Centro Nacional de Prevención de Desastres, diciembre, ISBN:970-628-605-5

Jacobson S.W. Jacobson J.L. Schwartz P.M. and Fein G.C., (1983). Intrauterine exposure of human newborns to PCBs: measures of exposure, In: PCBs: human and environmental hazards., *F.M. Dítri and M.A. Kamrin (eds)*, Butterworth Press., 311-344.

Jensen S. Jansson B., (1976). Methylsulfone metabolites of PCB and DDE in seals from the Baltic., *Ambio.*, 5:257-260.

Kato S. McKinney J.D. Matthews H.B., (1980). Metabolism of symmetrical hexachloro biphenyl isomers in the rat., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 53(3):389-398.

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.

Kolak, P.N. Barton, G.T. Lee, C.CH. Peduto, F.E., (1988). Hazardous waste destruction using plasma arc technology., *Incineration Hazardous Waste.*, Harry Freedman Edit. *Technomic Publishing Co.* p. 279-283.

Lang Vit., (1992). Polychlorinated Biphenyls in the environment. Review., *Journal of Chromatography.*, 595:1-43.

Lassiter R.R. Baughman G.L. Burns L.A., (1979). Fate of toxic substances in the environment, In: State of the art in ecological modeling., *Inter. Soc. Ecol. Model.* (7):219-246.

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente., (2000).

Li-Muller A., and Marsh M., (1994). "Guidance for the Use of Risk Assessments in Site Clean-ups in Ontario", -Proposed Draft-, Ontario Ministry of the Environment and Energy (OMEE).

Mackay D. Paterson S. (1982). Fugacity models for predicting environmental behaviour of chemicals, *Report to Environment Canada.*, Contract O.SU-81-00163.

Matthews H.B. Anderson MW. (1975). Effects of chlorination on the distribution and excretion of polychlorinated biphenyls., *Drug Metab. Dispos.* 3/5:371-380.

Meijer S.N. Ockenden W.A. Sweetman A. Breivik K. Grimalt J.O. Jones K.C., (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.

Mendoza V.P. (1994). Estudio de las tecnologías de eliminación de los bifenilos policlorados (PCB's)., Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias extractivas., Instituto Politécnico Nacional., México., Tesis.,

Ministry of Environment and Energy (MOEE). (1995). "Guideline for Use at Contaminated Sites in Ontario, ISBN 0-7778-4052-9, Ontario.

Nakano T. Tsuji M. Okuno T. (1990). Distribution of PCDDs, PCDFs and PCBs in the atmosphere., *Atmos Environ.* 24A:1361.

Nilsson B. Ramel C. (1974). Genetic test on *Drosophila melanogaster* with polychlorinated biphenyls (PCBs)., *Hereditas.*, 77:319-322.

Norma Oficial Mexicana NOM-133-ECOL-2000.

Noren K. Westoo G. (1986). Determination of some chlorinated pesticides in vegetable oils, margarine, butter, milk, eggs, meat and fish by gas chromatography and thin-layer chromatography., *Acta Chem. Scand.*, 22:2289-2293.

Ontario Ministry of Environment and Energy (OMEE). (1994). "Rationale for the Development and Application of Generic Soil, Groundwater and Sediment Criteria for Clean-up of Contaminated Sites -Draft-.

Pellantová J. Hudec K. Kredl F. Svobodnik J. Svobodová R. (1989). Organochlorine pesticides PCB and heavy metals residues in eggs of the black-headed gull *larus-ridibundus* in Czechoslovakia., *Folia Zool.*, 38:79-86.

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. <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>

Petrick G. Schulz D.E. Diunker J.C. (1988). Clean-up environment samples by gas chromatography with electron-capture detection., *J. Chromatogr.*, 435:241-248.

Porter M.L. Young S.L.V. Burke J.A. (1970). A method for the analysis of fish, poultry and tissue for chlorinated pesticide residues., *J. Assoc. of. Anal. Chem.*, 53:1300-1303.

Preston B.D. Van Miller J.P. Moore R.W. Allen J.R. (1981). Promoting effects of polychlorinated biphenyls (Aroclor 1254) and polychlorinated dibenzofuran-free Aroclor 1254 on diethylnitrosamine-induced tumorigenesis in the rat., *J. National Cancer Inst.*, 66:509-515.

Puri S. Chickos J.S. Welsh W.J. (1997). Determination of Vaporization Enthalpies of Polychlorinated Biphenyls by Correlation Gas Chromatography; *Anal. Chem.*, 73 (7):1480-1484

Reineke W., 1988., Microbial degradation of haloaromatics., *Ann. Rev. Microbiol.*, (42):263-287.

Reznicek J. (1987). Rapid determination of chlorinated pesticides and polychlorinated biphenyls in the blood., *Prac. Lek.*, 39:185-189.

Rieger P-G. Meier H-M. Gerle M. Vogt U. Groth T. Knackmuss H-J. (2002). Xenobiotics in the Environment: Present and Future Strategies to Obviate the Problem of Biological Persistence; *J. Biotechnol.*, 94(1):101-123.

Roberts J.R. Rodgers D.W. Bailey J.R. and Roke M.A. (1978). Polychlorinated biphenyls Biological Criteria for an Assessment of their effects on Environmental Quality., *National Research Council of Canada Publication NRCC 16077*.

Rzedowski, J., (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504pp.

Safe S. (1990). Polychlorinated biphenyls (PCBs), dibenzo-*p*-dioxins (PCDD), dibenzofurans (PCDFs) and related compounds: Environmental and mechanistic considerations which support the development of toxic equivalency factors (TEFs), *CRC. Crit. Rev. Toxicol.*, 21:51-88.

Safe S. Hutzinger O. Dedrick R.L. Hansen L.G. Hayes M.A. (1987). Polychlorinated biphenyls (PCBs): mammalian and environmental toxicology., *Environmental Toxin Series.*, *Spring-Verlag*.

Schoeny R.S. Smith C.C. Loper J.C. (1979). Non-mutagenicity for *Salmonella* of chlorinated hydrocarbons Aroclor 1254, 1,2,4-trichlorobenzene, Mirex and Kepone., *Mutagen. Res.*, 68:125-132.

Seymour M.P. Jefferies T.M. Floyd A.J. Notarianni L.J. (1987). Routine determination of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in human milk using capillary gas chromatography-mass spectrometry., *Analyst.*, 112:427-331.

Shakim M. Andrillon P. Goetz N. Bore P. Bugaut A. Kalopissis G. (1979). Studies on the mutagenicity of *p*-phenylenediamine in *Salmonella typhirium*. Presence of PCBs in rats liver microsomal fraction induced by Aroclor. *Mutation Res.* 68:327-336.

Shaw G. (1993). Polychlorinated biphenyls (PCBs) effects on the humans and the environment., *Academic Press Inc. Pp.611-625*.

Sipes I.G. McKelvie D.H. Collins R., (1979). Excretion of hexachlorobiphenyl and 2,4,5,2',4',5'-hexachlorobiphenyl in the dog., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 48:A155

Sipes I.G. Slocumb M.L. Chen H.S.G. Carter D.E. (1982). 2,3,6,2',3',6'-hexachlorobiphenyl: distribution, metabolism and excretion in the dog and the monkey., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 62(2):317-324.

Smith R.V. Rosazza J.P. (1992). Microbial models of mammalian metabolism., Aromatic hydroxylation., *Arch. Biochem. Biophys.*, 161:551-558.

Södergren A. (1990). Monitoring of persistent lipophilic pollutants in waters and sediments by solvent filled dialysis membranes., *Ecotoxicol. Environ.*, 19:143.

Stephanatos, Basilis N. (1991). Capítulo 36 de "Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater Analysis, Fate, Environmental and Public Health Effects Remediation" Vol. 1, Editores Paul T. Kosteki y Edward J. Calabrese, Lewis Publishers.

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*

Strek H.J. Weber J.B. Shea P.S. Mrozek. And Overcash M.R. (1981). Reduction of polychlorinated biphenyls toxicity and uptake of carbon-14 activity by plants through the use of activated carbon., *J. Agric. Food Chem.*, 29:288-293.

Tanabe S. Kannan K. Wakimoto T. Tatsukawa R. (1983). Methods for the determination of three toxic non-ortho-chlorine substitute coplanar PCB in environmental samples at part-per-trillion levels., *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 29:199.

Thome J.P. Vandaele Y. (1987). PCB trace enrichment from contaminated natural water at the sub level on C-18 micro cartridges., *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 29:95-103.

Trujillo J. P. Díaz P. E. (2002). Biodiversidad acuática del río Amacuzac, Morelos, México., Universidad Autónoma del Estado de Morelos., Centro de Investigaciones Biológicas., www.conabio.gob.mx

Tumasonis C.F. Bush B. Baker F.D. (1973). PCB levels in egg yolks associated with embryonic mortality and deformity of hatched chicks., *Arch. Envir. Cont. Toxic.*, 1:312-314.

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).

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. Volumen 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,

US-EPA. (1980). Ambient water quality criteria for polychlorinated biphenyls, Washintong D.C. *Environmental Protection Agency*, pp.211.(EPA 440/5-80-068).

Vazqu ez A., A y N Bautista (1993). Gu a para interpretar el análisis químico y físico del suelo y agua. Departamento de suelo. Universidad Autonoma de Chapingo.

Vodicnik M.J. Lech J.J. (1980). The transfer of 2,4,5,2',4',5 hexachlorobiphenyl to fetuses and nursing off spring. Deposition in pregnant and lactating mice and accumulation in young., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 54:293-300.

Vojinovic M.M. Marajanovic P. Buzarov D. Pavkov S. Dimitrijevic L. Miloradov M., (1992). Bioaccumulation of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in selected fish species as a indicator of the pollution of aquatic resources in Vojvodina Yugoelavlia., *Watter Science. Technology.*, 26(9-11):2361-2364.

Wang Y.H., Wong P.K. (2002). Mathematical Relationships Between Vapor Pressure, Water Solubility, Henry's Law Constant, n-Octanol/Water Partition Coefficient and Gas Chromatographic Retention Index of Polychlorinated-Dibenzo-Dioxins; *Water. Res.*, 36(1):350-355

Wassermann M. Wassermann D. Cucos S. and Miller H.J. (1979). World PCBs map: Storage and effects in man and his biologic environment in the 1970's., *Ann N.Y. Acad. Sci.*, 320:69-124.

Weber J.B. Mrozek E. (1979). Polychlorinated biphenyls: Phytotoxicity, Absorption and translocation by plants, and inactivation by activated carbon., *Bull. Envir.Cont. Toxic.*, 23:187-195.

Welsch F. (1983). Effects of polychlorinated biphenyls on the expression of embryo toxicity caused by model teratogens, In: PCBs human and Environmental Hazards., *F.M.D'Itri and Kamrin M.A. (Eds).*, *Butterworth Pr.*, 253-276.

Winger P.V. Sireckman C. May T.W. Johnson W.W. (1984). Residues of organochlorine insecticides, polychlorinated biphenyls, and heavy metals in biota from Apalachicola River, Florida., *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 67:325.

Wyndham C.J. Devenish J. Safe S. (1976). The *in vitro* metabolism, macromolecular binding and bacterial mutagenicity of 4-chlorobiphenyl, a model PCB substrate., *Res. Comm. Chem. Path. Pharm.*, 15:563-570.

Wyss P.A. Muhlebach S. (1982). Pharmacokinetics of 2,2',4,4',5,5'hexachlorobiphenyl (6-CB) in rats with decreasing adipose tissue mass., *Drug. Metab. Disp.*, 10:657-661.

Zell M. K. Ballschmiter. (1980). Baseline studies of the global pollution II. global occurrence of hexachlorobenzene (HCB) and polychlorocophenes (Toxaphenes RTM) (PCC) in biological samples., *Fresenius 'z Anal. Chem.*, 300:387.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

<http://www.epa.gov/soperfund/programs/risk/ecorisk/ecorisk.htm>,230p.

<http://www.epa.gov/ncea/raf/pdfs/ecotxtbx.pdf>,188p.

<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/combust/ecorisk.htm>.

<http://www.epa.gov/soperfund/programs/risk/ecorisk/guidance.pdf>,1-6

www.cepis.ops-oms/eswww/fulltext/gtz/metoiden/metoiden.html

<http://www.unex.es/edafo/ECAP/ECAL5PFPermeabilidad.htm>

<http://www.imacmexico.org>

<http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx>

<http://www.ceniap.gov.ve>