

2013



# OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE BIFENILOS POLICLORADOS (BPCs) MEDIANTE VERMICOMPOSTEO.

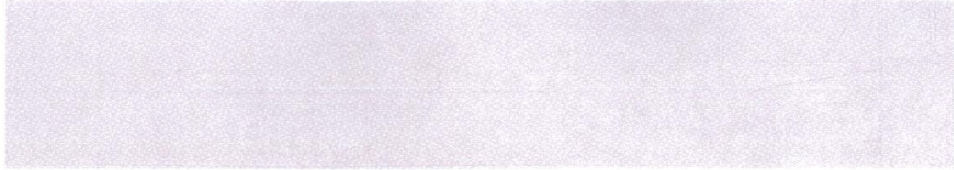
Los Bifenilos Policlorados (BPCs) son una familia de compuestos producidos comercialmente por la cloración progresiva del bifenilo en presencia de cloruro férrico y/o yoduro férrico. Desde finales de 1960, los BPCs han sido reconocidos por la comunidad científica mundial como una amenaza, tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Desde entonces se ha convocado a todos los países y organizaciones internacionales a tomar acciones para manejar los BPCs de manera adecuada, con el fin de minimizar la exposición del hombre y del ambiente a emisiones de BPCs. Es por ello que este trabajo tratamos de optimizar el proceso de la degradación de este contaminante por medio del vermicomposteo utilizando a la lombriz californiana *Eisenia Foetida*, se analizó la degradación de dicho contaminante a una concentración de 100 ppm y la mitad de 150 ppm en 3 unidades experimentales con distintos números de lombrices (3, 5 y 7), teniendo como resultado que a una concentración tanto de 100 ppm como de 150 ppm la unidad experimental con 3 lombrices es en donde hay una mayor diferencia de su peso final, y la unidad experimental con 7 lombrices es en donde hay una mayor degradación del contaminante (BPCs).

**Juárez Perianza Ana Isela**

**Ing. Bioquímica**

ASESOR: Dra. Rocío Meza Gordillo





SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

**SEP**

**CONSTANCIA DE LIBERACIÓN Y EVALUACIÓN DE  
PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por medio de la presente me permito informarle que ha concluido la asesoría y revisión del proyecto de Residencia profesional cuyo título es: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE BIFENILOS POLICLORADOS (BPCs) MEDIANTE VERMICOMPOSTEO. Desarrollado por el **C. Ana Isela Juárez Perianza**, estudiante de la carrera de **INGENIERÍA BIOQUÍMICA**, con número de control 08270018, desarrollado en el presente periodo AGOSTO - DICIEMBRE.

Por lo que, se emite la presente **Constancia de Liberación y Evaluación del Proyecto** a los 14 días del mes de Enero del 2013.

**ATENTAMENTE**  
**“CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO”**

**Dra. Rocío Meza Gordillo**  
Asesor del proyecto

**Dr. Federico Antonio Gutiérrez Miceli**  
Revisor del proyecto

**M.C. Humberto Castañón González**  
Revisor del proyecto

Carretera Panamericana Km.1080, . C.P. 29050, Apartado Postal 599  
Teléfonos: (961) 61 5-03-80 (961) 61 5-04-61 Fax: (961) 61 5-16-87  
<http://www.itgt.edu.mx>



Alcance del Sistema: Proceso Educativo

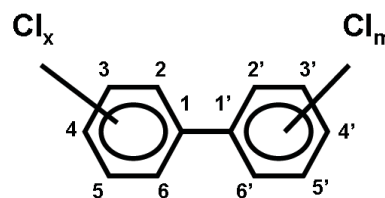
# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	ANTECEDENTES.....	6
	2.1 Los Bifenilos Policlorados y La Salud.....	7
3.	JUSTIFICACIÓN.....	8
4.	OBJETIVO GENERAL.....	8
	4.1 Objetivos Específicos.....	8
5.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPÓ.....	9
	5.1 Políticas y normas.....	9
	5.2 Objetivos de la Institución.....	9
	5.3 Servicios que presta la Institución.....	9
	5.4 Descripción del departamento de Ingeniería Química y Bioquímica.....	10
	5.5 Funciones del departamento de Ingeniería Química y Bioquímica.....	10
6.	PROBLEMAS A RESOLVER.....	12
7.	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	12
8.	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	13
	8.1 Bifenilos Policlorados (BPCs).....	13
	8.2 Características y Propiedades de los BPCs.....	14
	8.2.1 Características Fisicoquímicas.....	15
	8.3 Usos y Aplicaciones.....	15
	8.4 BPCs en el medio Ambiente.....	16
	8.5 BPCs y la Salud.....	19
	8.6 Métodos de detección de BPCs.....	20
	8.7 Legislación Ambiental Nacional e Internacional.....	21
	8.8 Métodos de eliminación de BPCs.....	22
	8.9 Vermicomposteo.....	23
	8.10 <i>Eisenia Foetida</i> .....	24
	8.11 Peat Most.....	26
	8.12 Excreta de conejo.....	26
	8.13 Antecedentes Específicos.....	27
9.	METODOLOGÍA.....	28
	9.1 Preparación de unidades experimentales (frascos).....	28
	9.2 Contaminación de frascos.....	28
	9.3 Adición de lombrices a las unidades experimentales.....	28
	9.4 Preparación de muestra para analizar.....	28
	9.5 Preparación de inóculo a analizar.....	29
10	RESULTADOS.....	30
	10.1 Peso final de lombriz con BPCs a 100 ppm.....	30
	10.2 Número de huevecillos formados en unidades experimentales con BPCs de 100 ppm y 150 ppm.....	33
	10.3 Concentración final de BPCs en el sustrato.....	34
11.	CONCLUSIONES.....	36
12.	RECOMENDACIONES.....	36
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	37

# 1. INTRODUCCIÓN

Los Bifenilos Policlorados (BPCs) son una familia de compuestos producidos comercialmente por la cloración progresiva del bifenilo en presencia de cloruro férrico y/o yoduro férrico. Los BPCs se pueden obtener por diferentes vías: fenilación de sustratos aromáticos (generalmente por radicales libres, formando clorobifenilos no simétricos); por reacciones de condensación arilo (produce clorobifenilos simétricos) y por sustitución directa sobre un sistema de bifenilos desarrollado previamente. La fórmula química de los BPCs se representa como  $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ , donde n es el número de átomos de cloro en la molécula (entre 1 y 10).

La cloración del bifenilo puede reemplazar de 1 a 10 átomos de hidrógeno por cloro, lo que permite teóricamente la formación de 209 posibles compuestos de BPCs, variando en el número y en la posición de los cloros. La estructura que esta a lado derecho representa una molécula de BPCs. debe notarse que cada posición en los anillos pueden sustituirse con un átomo de cloro, es decir, cada molécula de BPCs pueden contener hasta 10 átomos de cloro.



Los BPCs se clasifican como homólogos e isómeros. Los BPCs homólogos son aquéllos que difieren en el número de cloros en la molécula; mientras que los isómeros, son los que varían en la distribución del mismo número de cloros. Los isómeros individuales y homólogos son generalmente referidos como congéneres.

**Tabla 1.** Nombre generales de los BPCs

Nombre	Tipo
Monoclorobifenilo	Homólogo
Diclorobifenilo	Homólogo
Triclorobifenilo	Homólogo
Tetraclorobifenilo	Homólogo
Pentaclorobifenilo	Homólogo
Hexaclorobifenilo	Homólogo
Heptaclorobifenilo	Homólogo
Octaclorobifenilo	Homólogo
Nonaclorobifenilo	Homólogo
Decaclorobifenilo	Congéneres
2-Clorobifenilo	Congéneres
2,2',3,3',4,4',5,6'- Octaclorobifenilo	Congéneres
Aroclor 1254	Mezcla

Los BPCs manufacturados comercialmente tienen diferentes nombres comerciales, por ejemplo Aroclor, Askarel, Clophen, Santotherm, entre otros. En 1980, Ballschmiter y Zell propusieron un sistema numérico para los congéneres de BPCs, el cual fue adoptado por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada.

Desde finales de 1960, los bifenilos policlorados (BPCs) han sido reconocidos por la comunidad científica mundial como una amenaza, tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Desde entonces se ha convocado a todos los países y organizaciones internacionales a tomar acciones para manejar los BPCs de manera adecuada, con el fin de

minimizar la exposición del hombre y del ambiente a emisiones de BPCs. Dados los usos de los BPCs como fluidos dieléctricos gracias a sus propiedades físicas y químicas, el sector eléctrico es uno de los principales contaminantes, pues muchos equipos como condensadores y transformadores fueron diseñados y fabricados utilizando fluidos dieléctricos de alta concentración de BPCs. Aunque la fabricación de este tipo de equipos se suspendió en 1979 en Norteamérica y en 1983 en Europa occidental, todavía hay existencia de cierta cantidad de dichos aparatos adquiridos antes de que se prohibiera su fabricación, bien sea en funcionamiento o almacenados fuera de servicio.

## 2. ANTECEDENTES.

La atención comenzó en los años 60, en particular con estudios de peces y aves.<sup>1</sup> A partir de 1970 comenzó a ser preocupante el impacto de los BPCs en el medio ambiente, debido principalmente a dos eventos de envenenamiento masivo por consumo de aceite de arroz contaminado con BPCs. Estos casos son icónicos por el impacto y la difusión que oportunamente tuvieron y son conocidos como: Caso Yusho y Caso Yu-Cheng. El primero ocurrió en Japón en el año 1968 y el segundo en Taiwán en el año 1979.

En función de estos eventos se comenzaron a evaluar los impactos ambientales producto de la utilización de BPCs principalmente por sus características de biopersistencia y por ser precursor de sustancias de mayor toxicidad, por estas razones la producción y comercialización de estos compuestos fue declinando a partir de 1970. En forma paralela en distintos países se generaron marcos regulatorios específicos para el control y posterior eliminación.<sup>2</sup>

En 1992 y en 1996, se publicaron dos trabajos con datos preocupantes en relación a la aparición de carcinomas (tumor a las mamas y cáncer a la próstata en hombres).

Aproximadamente 1.500.000 toneladas de Askarel fueron producidas mundialmente.

- Principalmente se usaron como líquido aislante y refrigerante en equipos eléctricos tales como; - transformadores y condensadores
- Esto representa aproximadamente 100 Millones de Toneladas de equipos contaminados

Los BPCs se han distribuido en formulaciones comerciales con distintos nombres. Para ayudar a reconocer los productos que contienen BPCs a continuación hay una lista de nombres comerciales:

Aceclor Phenoclor Pyralene	Francia
Santotherm	Francia/Reino Unido
Therminol	Francia/EE.UU.
Clophen	Alemania
Apirorio DK Frenchlor	Italia
Kaneclor	Japón
Askarel	Reino Unido/EE.UU.
Aroclor	Reino Unido/EE.UU.
Ducanol Plastivar Pyroclor	Reino Unido

Los usos de los BPCs se pueden clasificar como cerrados o abiertos.

- Con las aplicaciones cerradas se trataba de evitar toda pérdida de BPCs conteniéndolo dentro de una unidad sellada. En este tipo de aplicaciones la contaminación del medio ambiente es consecuencia

de fugas del equipo, resultantes, por ejemplo, de un incendio.

- En las aplicaciones abiertas los BPCs quedan expuestos al medio ambiente y es inevitable que se produzcan algunas pérdidas.
- Las principales aplicaciones cerradas son como refrigerantes en transformadores y como dieléctricos en capacitores. Además, los BPCs entran en la formulación de muy diversos productos como lubricantes, lubricantes para cuchillas, composiciones obturadoras (para la industria de la construcción), adhesivos, plásticos y cauchos, e insecticidas, así como en pinturas, barnices y otros recubrimientos de superficie, incluido el papel de copia sin carbón.<sup>1</sup>

### *2.1 Los bifenilos policlorados y La Salud.*

Aunque los BPCs ya no se producen en los Estados Unidos, la gente aun puede estar expuesta a estas sustancias. Muchos transformadores y condensadores viejos aun pueden contener BPCs, y estos equipos pueden mantenerse en uso por 30 años o más. Los tubos fluorescentes viejos y los dispositivos y artículos eléctricos viejos, tales como aparatos de televisión y refrigeradores, pueden contener BPCs si fueron fabricados antes de que el uso de los BPCs cesara. Cuando estos artículos eléctricos se calientan durante su uso, pequeñas cantidades de BPCs pueden entrar al aire elevando así los niveles de BPCs en el aire en lugares cerrados. Debido a que los dispositivos que contienen BPCs pueden sufrir escapes a medida que envejecen, también pueden constituir fuentes de exposición para la piel.

Existen tres formas de exposición o de ingreso al organismo.

La primera es la Ingestión y esta se debe al consumo de alimentos y agua. La segunda es por Inhalación esta sucede al respirar vapores de BPCs Y Humos de combustión, la tercera y última es la Absorción a través de la piel debido a la falta de higiene al finalizar las labores y Salpicaduras-Accidentes.

También hay efectos por exposición prologada que se da en la piel (cloracné, salpudillo, pigmentación de la piel y las uñas), en los ojos (inflamación, ardor, irritación y supuración). Pueden irritar la nariz y los pulmones. Algunos síntomas por intoxicación son las náuseas, vómito, pérdida de peso, edemas y dolores en el bajo vientre.<sup>3</sup>

Aproximadamente el 25% de los BPCs asimilados por el ser humano ingresa al organismo por inhalación y el 75% restante a través de productos alimenticios, siendo los de origen animal (generalmente animales marinos) la fuente más importante.<sup>4</sup>

### 3. JUSTIFICACIÓN.

Antes de la prohibición de 1979, los BPCs entro en el medio ambiente durante su fabricación y uso en los Estados Unidos. Los BPCs de hoy todavía puede ser liberado en el medio ambiente frente a un mantenimiento deficiente de sitios de desechos peligrosos que contienen BPCs, ilegales o incorrectos vertimiento de desechos de BPCs, fugas o liberaciones de los transformadores eléctricos que contienen BPCs, y la eliminación de los productos de consumo que contengan BPCs en los rellenos sanitarios municipales o de otro tipo no diseñado para manejar los desechos peligrosos. Los BPCs también pueden ser liberados al medio ambiente por la quema de algunos residuos en incineradores municipales e industriales.

Una vez en el medio ambiente, los bifenilos policlorados no se degradan fácilmente y por lo tanto pueden permanecer durante largos períodos de tiempo de ciclo entre el aire, el agua y el suelo. Los BPCs pueden ser transportados largas distancias y se han encontrado en la nieve y el agua de mar en zonas alejadas de donde fueron liberados al medio ambiente. Como consecuencia, los BPCs se encuentran en todo el mundo.

Los BPCs pueden acumularse en las hojas y por encima del suelo de partes de plantas y cultivos alimentarios. También están integrados en los cuerpos de los pequeños organismos y peces. Como resultado, las personas que ingieren los peces o los frutos de los cultivos contaminados pueden estar expuestas a los BPCs que están presentes en los peces y/o cultivos contaminados que están ingiriendo.

Se ha demostrado que los BPCs causan cáncer, así como una variedad de otros efectos adversos para la salud en el sistema inmunológico, sistema reproductor, sistema nervioso y sistema endocrino.

### 4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del vermicomposteo en la degradación de los BPC´S.

- 4.1**            **Objetivo Especifico:** Evaluar el efecto del inoculo, relación de sustrato y concentración de BPC´S en su degradación.



## **5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA**

Este proyecto de investigación fue realizado en el laboratorio de Biotecnología (Edificio “J”) del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, ubicado en carretera Panamericana Km 1080 de esta ciudad.

### **5.1 Políticas y normas**

Ser una oferta educativa tecnológica suficiente a nivel superior y postgrado, en las modalidades escolarizadas y abiertas, con perfiles profesionales acorde a los retos de todas las regiones del país.

Compartir con la población en general los beneficios de conocimiento, la cultura científica y tecnológica; en particular, proporcionar al público, con la finalidad de coadyuvar al modelo de desarrollo que el país reclama, para alcanzar el bienestar social que demandamos los mexicanos.

### **5.2 Objetivos de la institución**

Promover el desarrollo integral y armónico del educando con los demás, consigo mismo y con su entorno, mediante una formación intelectual que lo capacite en el manejo de los métodos y los lenguajes sustentados, en los principios de identidad nacional, justicia, democracia, cultura, que le permiten una mente y cuerpo sanos.

### **5.3 Servicios que presta la institución**

- Atender la demanda de educación superior y postgrado con alta calidad nacional e internacional en las áreas industriales, agropecuarias y de servicios, en todas las regiones del país, como la forma de auspiciar el desarrollo regional. Se imparten 8 carreras a nivel Licenciatura, las cuales son: Ingeniería Bioquímica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Química, Ingeniería en Gestión Empresarial e Ingeniería en Sistemas Computacionales. Además se oferta el postgrado con la Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica y la Maestría en Ciencias en Ingeniería en Mecatrónica.
  - Hacer de cada uno de los institutos Tecnológicos un instrumento de desarrollo mediante una estrecha y permanente retroalimentación con la comunidad, en especial entre los sectores productivos de bienes y servicios, sociales, públicos y privados.
  - Promover y convocar a los sectores productivos y educativos de cada localidad para generar y otorgar apoyos materiales y financieros adicionales, requeridos en la operación de los planteles.

- Compartir con la comunidad la cultura científica tecnológica y humanista, así como la recreación y el deporte, mediante los diversos foros y medios con que cuenta el sistema.
- Oferta de perfiles profesionales que integran las necesidades específicas regionales, para que el egresado contribuya de manera satisfactoria al desarrollo de cada comunidad, en especial a la planta educativa.
- Actualizar de manera permanente al personal docente y administrativo, para favorecer el desarrollo armónico entre toda la comunidad tecnológica.

#### **5.4 Descripción del Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica**

Este departamento se encarga de planear, coordinar, controlar y evaluar las actividades de docencia, investigación y vinculación en las áreas correspondientes a la Ingeniería Química y Bioquímica que se imparte en el Instituto Tecnológico, de conformidad con las normas y lineamientos establecidos por la Secretaría de Educación Pública, además de elaborar el programa educativo anual y el anteproyecto de presupuesto del departamento y presentarlo a las Subdirección Académica para lo conducente.

También se encarga de aplicar la estructura orgánica autorizada para el departamento de procedimientos establecidos.

#### **5.5 Funciones del departamento de Ingeniería Química y Bioquímica**

Las funciones del departamento son múltiples por lo que tiene que coordinarse con otros departamentos:

- Coordinar con las divisiones de estudios profesionales y postgrado e investigación, la aplicación de programas de estudios y con el departamento de desarrollo académico, los materiales y apoyos didácticos a las asignaturas de las correspondientes a las áreas de Ingeniería Química y Bioquímica que se imparten en Instituto Tecnológico y controlar el desarrollo.
- Coordinar con la división de estudios profesionales y postgrado e investigación, con el departamento de desarrollo académico, la formulación y aplicación de técnicas e instrumento para la evaluación del aprendizaje de las asignaturas correspondientes en las áreas de Ingeniería Química y Bioquímica que se imparte en el Instituto Tecnológico.

- Coordinar los proyectos de investigación educativa, científica y tecnológica en las áreas de Ingeniería Química y Bioquímica que se llevan a cabo en el Instituto Tecnológico con el sector productivo de bienes y servicios de la región, así como controlar su desarrollo.
- Apoyar a la División de Estudios Profesionales en el proceso de titulación de los alumnos del Instituto.
- Superar y evaluar el funcionamiento del departamento con las demás áreas y con base a los resultados, proponer las medidas que mejoren su operación.
- Coordinar las actividades del departamento con las demás áreas de la Subdirección Académica.

El área de Ingeniería Bioquímica cuenta con laboratorios, los cuales son utilizados para realizar las actividades experimentales correspondientes a las distintas materias impartidas en la institución, así como para la realización de proyectos de investigación que se llevan a cabo dentro del área.

El presente proyecto de residencia profesional fue realizado en los laboratorios de Biotecnología, dicho laboratorio está dividido en tres áreas, un área de siembra, un área para preparar soluciones, un área para pesar reactivos y muestras, así mismo cuenta con 4 equipos Kjeldahl, un rota vapor, dos campanas de extracción, una balanza analítica, un espectrofotómetro, una agitadora magnética, dos autoclaves, dos bombas de vacío y tres Centrifugas.

Como en el proyecto experimental se emplearon lombrices se adaptó un área de lombricultura en donde se le da mantenimiento a las lombrices en beneficio de su desarrollo y reproducción, esta área está situada en el edificio N dentro de la misma Institución en donde contamos con unos recipientes fabricados especialmente para la reproducción de lombrices.

## **6. PROBLEMAS A RESOLVER.**

Al término de este proyecto se pretende poder tener un óptimo tanto en concentración de sustrato, método de análisis y de los factores que benefician la degradación de Bifenilos Policlorados.

## **7. ALCANCES Y LIMITACIONES**

De acuerdo al cronograma de actividades establecido, hubo la necesidad de modificar los tiempos acordados para cada experimento, ya que no se contaba con el suficiente contaminante para poder llevar a cabo el experimento en tiempo y forma. Así también es de gran importancia mencionar que otra limitante que hubo es que dicho contaminante tiene un costo elevado y el tiempo de entrega del pedido es tardado.

A pesar de que se tenía un buen número de frascos color ámbar estos no eran suficientes para echar a andar el experimento en su totalidad por tal motivo, el experimento de 150 ppm se realizó solo la mitad, aunque al inicio no se contaba con el suficiente solvente (pentano), luego se pudo conseguir dicho solvente para así echar a andar el experimento.

Dentro de lo que sí se logró realizar en el tiempo acordado fue el experimento de 100 ppm y la mitad de 150 ppm, se mejoró también la metodología para el análisis de la degradación de BPCs.

## 8. FUNDAMENTO TEÓRICO.

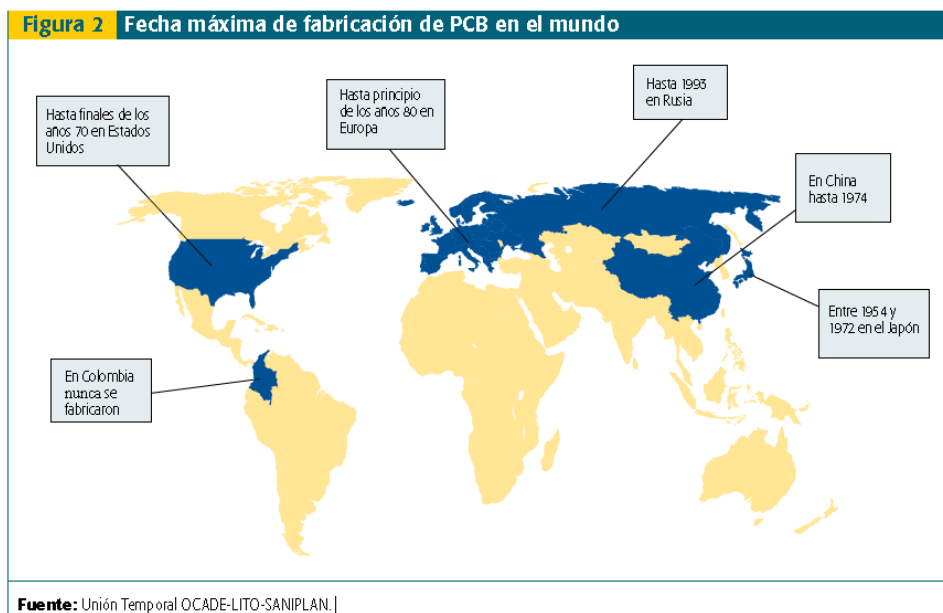
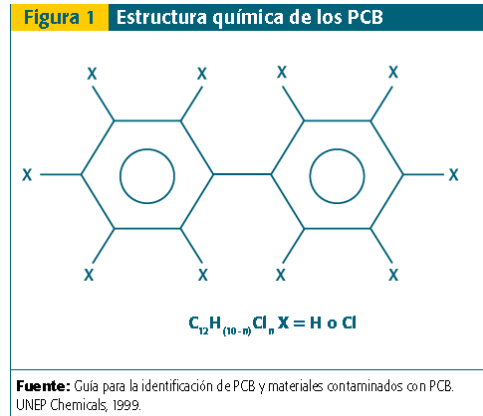
### 8.1 Bifenilos Policlorados (BPCs)

BPCs es una abreviatura para identificar a los compuestos Bifenilos Policlorados. Los BPCs son compuestos orgánicos aromáticos que fueron creados por el hombre y que se componen de dos anillos de fenilos con átomos de cloro (Figura 1).

De acuerdo a la cantidad y posición de los átomos de cloro, se conforman diferentes congéneres. Existen 209 posibles congéneres de los BPCs, de los cuales cerca de 130 se utilizan en productos comerciales.

Los BPCs fueron fabricados a partir del año 1929 en varios países y se identificaron con diferentes nombres comerciales, entre los cuales se encuentran: Abestol, Aroclor, Askarel, Clophen, Fenclor, Inerteen, Kaneclor, Phenoclor, Pyranol, entre otros .

El principal período de fabricación tuvo lugar entre 1930 y finales de los años 70 en los Estados Unidos; en China, hasta 1974 y en Europa, hasta principios de la década de los 80. En Rusia se produjeron hasta 1993. En Japón se fabricaron entre 1954 y 1972. En Colombia nunca fueron fabricados; los BPCs existentes en nuestro país corresponden a equipos y aceites importados (Figura 2).



Respecto a los usos de los BPCs, estos se pueden clasificar en sistemas cerrados, parcialmente cerrados, o abiertos; dependiendo de qué tan fácil se puedan escapar al medio ambiente. Así, en los sistemas cerrados, los BPCs se encuentran totalmente contenidos en unidades selladas, en donde los BPCs usualmente no tienen posibilidad de escapar al ambiente; mientras que en los sistemas abiertos, los BPCs son constituyentes de otros productos como tintas, pinturas, lubricantes, entre otros; en donde fácilmente se pueden liberar al medio circundante en forma de emisiones o derrames. Los usos de los BPCs y ejemplos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción y ejemplos de los usos de los PCB		
Usos	Descripción	Ejemplos
Sistemas cerrados	Son unidades selladas o cerradas, donde los PCB se mantienen dentro del equipo. En condiciones normales de estos sistemas, los usuarios o el medio ambiente no se encuentran expuestos a los PCB. Las emisiones de PCB pueden ocurrir en actividades de mantenimiento y reparación o como resultado de un daño del equipo (incendio).	PCB como fluidos dieléctricos en: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Condensadores</li> <li>- Transformadores</li> <li>- Motores eléctricos</li> <li>- Balastos de equipos de iluminación</li> <li>- Electroimanes</li> </ul>
Sistemas parcialmente cerrados	Son sistemas en los cuales los PCB no están expuestos directamente al medio ambiente; sin embargo, pueden llegar a liberarse periódicamente por el uso del equipo.	PCB como aceites en: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intercambiadores de calor</li> <li>- Sistemas hidráulicos</li> <li>- Bombas de vacío</li> </ul>
Sistemas abiertos	En este caso, los PCB son constituyentes de otros productos que se encuentran fácilmente en contacto con el medio ambiente y el ser humano.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tintas</li> <li>- Lubricantes</li> <li>- Retardantes de llama</li> <li>- Pesticidas</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiales aislantes</li> <li>- Adhesivos</li> <li>- Pinturas</li> <li>- Plastificantes</li> </ul>

**Fuente:** Guía para la identificación de PCB y materiales contaminados con PCB. UNEP Chemicals, 1999.

A través del tiempo, durante las prácticas industriales se ha ocasionado la dispersión de los BPCs. Una práctica común era rellenar con BPCs transformadores que contenían aceite mineral cuando no se disponía de otro líquido, causando la contaminación de nuevos aparatos. Se conocen numerosas anécdotas de empleados de empresas eléctricas que utilizaban líquido con BPCs para lavarse las manos y lo llevaban a casa para utilizarlo en calentadores domésticos, instalaciones hidráulicas y motores. Muchos hogares, negocios y lugares adquirieron BPCs, sin saberlo.

En la actualidad, la fabricación de BPCs se encuentra prohibida a nivel mundial, debido a los graves impactos y riesgos sobre la salud humana y el ambiente. Su uso ha sido restringido a transformadores y condensadores hasta el final de su vida útil.

### 8.2 Características y Propiedades principales de los BPCs.

Los BPCs son compuestos muy estables, resistentes a la degradación térmica, química y biológica y altamente tóxicos. Son líquidos, viscosos, incoloros o de color amarillo pálido, con leve olor a hidrocarburos.

Poseen excelentes propiedades aislantes, longevidad y no son inflamables, por lo cual fueron utilizados ampliamente en equipos eléctricos como transformadores y condensadores, intercambiadores de calor, sistemas hidráulicos y también en la fabricación de pinturas y plásticos.<sup>5</sup>

#### 8.2.1 Características fisicoquímicas.

Los congéneres de los BPCs están formados por cloración del bifenilo electrofílica con gas de cloro. Teóricamente, 209 congéneres de BPCs son posibles, aunque sólo 130 se encuentran en mezclas comerciales. Los BPCs tienen baja solubilidad en el agua: 0.0027-0.42 ng / L, pero tienen una solubilidad alta en la mayoría de los disolventes orgánicos, aceites y grasas. Tienen constantes dieléctricas, conductividad térmica muy alta, puntos de inflamación altos (de 170 a 380 °C) y son químicamente inertes ya que son extremadamente resistentes a la oxidación, reducción, adición, eliminación y sustitución electrofílica. La densidad varía de 1,182 a 1,566 kg / L. En cuanto a la relación estructural con la toxicidad, los BPCs se dividen en dos categorías distintas, conocidas como coplanares o no coplanares. Los miembros del grupo coplanares tienen una estructura bastante rígida, con los dos anillos de fenilo en el mismo plano. Esto le da a la molécula una estructura similar a las dibenzo-p-dioxinas y dibenzofuranos policlorados, y le permite actuar en la misma forma que estas moléculas como un agonista del receptor de aril hidrocarburos (AHR) en los organismos.

Este tipo de BPCs se considera como contribuyentes a la toxicidad de la dioxina en general. Por otra parte los BPCs no coplanares, con átomos de cloro en las posiciones orto, no se han encontrado para activar el AHR, y no se consideran parte del grupo de las dioxinas.

Los BPCs son compuestos muy estables y no se descomponen fácilmente. Su destrucción por los procesos químicos, térmicos, bioquímicos es extremadamente difícil, y presentan el riesgo de generar dibenzodioxinas extremadamente tóxicas y dibenzofuranos por oxidación parcial.<sup>6</sup>

Gracias a las propiedades físicas y químicas deseables de los BPCs tienen un uso extendido. La gran importancia de las propiedades físicas de las mezclas son líquidos, tienen bajo vapor de presión, baja solubilidad de agua, y una excelente propiedad dieléctrica. Las propiedades químicas incluye la estabilidad a la oxidación.<sup>5</sup>

En simples palabras los bifenilos policlorados son compuestos con alto punto de ebullición, por lo que son bastante resistentes al calor; son difícilmente oxidables,

siendo muy estables químicamente; no conducen electricidad y tienen baja volatilidad a temperaturas normales. No son hidrolizables y debido a la presencia de cloro en su composición, tienen elevados puntos de inflamación y al mezclarse con otros compuestos pueden modificar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Estas propiedades de los BPCs los hicieron ideales para la elaboración de una gama muy amplia de productos industriales y de consumo, habiendo encontrado en la industria eléctrica su principal aplicación. Por su elevada permitividad, estabilidad química y resistencia intrínseca al fuego, fueron utilizadas mayormente en transformadores y en capacitores, incluyendo balastos para lámparas fluorescentes. Al uso de BPCs en este tipo de equipos se le conoce como uso o aplicación en sistemas cerrados o no dispersivos.<sup>9</sup>

### *8.3 Usos y Aplicación.*

Los BPCs se han usado ampliamente como lubricantes y refrigerantes en transformadores, condensadores y otros equipos eléctricos ya que no son muy combustibles y son muy buenos aislantes. En los Estados Unidos se empezaron a fabricar a fines de la década del 20 y se dejó de hacerlo en 1977, debido a la abrumadora evidencia de acumulación en el medioambiente y de los efectos nocivos producidos por estos compuestos. Existen productos fabricados antes de 1977 que pueden contener BPCs. Entre otros, se incluyen: tubos fluorescentes, artefactos eléctricos con condensadores (motores monofásicos, heladeras, televisores, radios, equipos de audio, etc.), aceite para microscopios, fluidos hidráulicos, sistemas de transferencia de calor, lubricantes, aceites de cubrimiento, tintas de impresión, retardadores de fuego, asfalto, plastificantes, adhesivos, componentes de resinas y gomas sintéticas como el caucho, baldosas, ceras, agentes anti-polvo, pesticidas, papel carbónico.<sup>7</sup>

El consumo de los bifenilos policlorados en México se inicia prácticamente desde la década de 1940 con la importación de grandes cantidades de equipo eléctrico conteniendo estos compuestos, principalmente transformadores y capacitores entre otros. La mayor parte de los BPCs introducidos al país fueron producidos en dos plantas de los EE.UU., aunque también se importaron menores cantidades de Europa y Japón aún en la década de 1980, cuando su importación todavía era permitida.<sup>8</sup>

### *8.4 BPCs en el medio ambiente*

Se ha descubierto que los BPCs son sustancias tóxicas que producen daños, tanto a la salud humana, como al medio ambiente, debido a su persistencia, bioacumulación en la cadena alimenticia, toxicidad y por provocar efectos reproductivos a largo plazo. Esto ha hecho que después de los años setenta, la

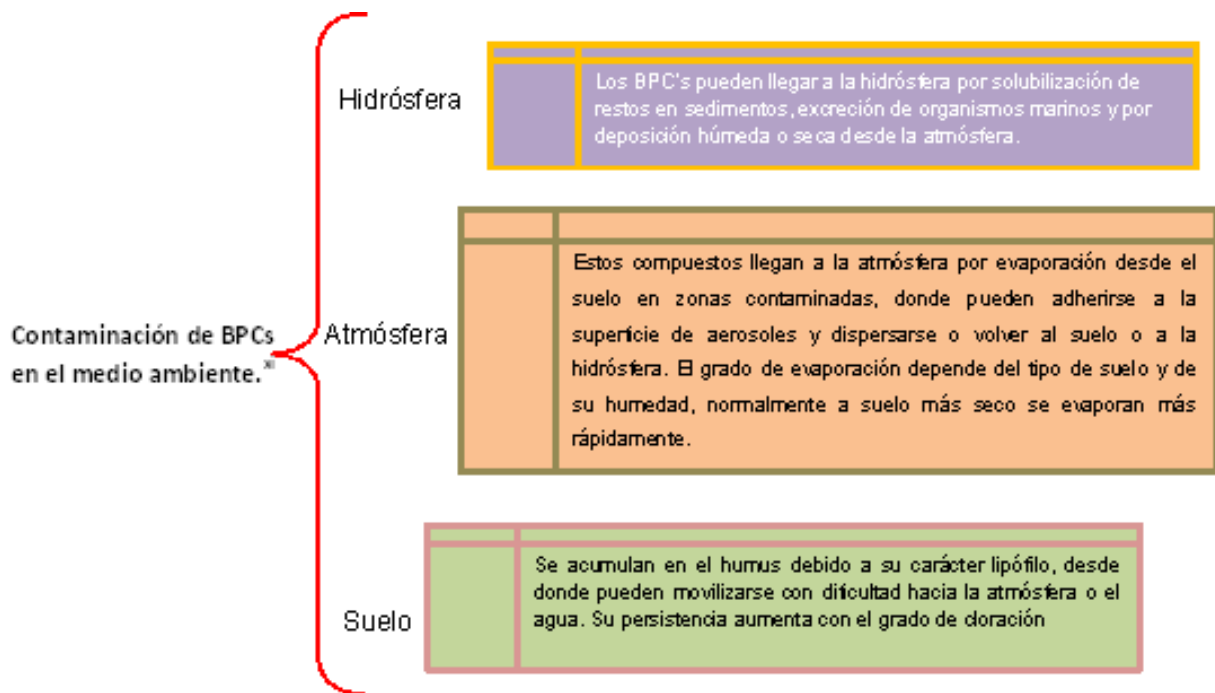


producción de BPCs estuviese sujeta a serias restricciones y disminuyese bruscamente debido a la voluntaria limitación de las ventas.

La exposición crónica a los BPCs en mamíferos marinos provoca deformidades físicas y problemas en el desarrollo reproductivo. Estos compuestos también están implicados en la aparición de enfermedades en poblaciones de focas; la exposición a niveles elevados de BPCs se relaciona con un incremento de la susceptibilidad de focas y otros mamíferos marinos a padecer ciertas enfermedades, debido a que estos compuestos podrían provocar desarreglos en la capacidad inmunológica.

Los BPCs se encuentran entre los compuestos orgánicos más estables, permanecen en el medio ambiente y se bioacumulan en el tejido graso de los organismos vivos. Los estudios demuestran que los BPCs afectan a la productividad del fitoplancton, así como a su composición; el fitoplancton constituye la base de la alimentación en el océano y es la principal fuente de oxígeno en la atmósfera.

La transferencia de BPCs en la cadena alimenticia desde el fitoplancton a los invertebrados, peces, pájaros y mamíferos puede conducir a una exposición humana a través del consumo de fuentes alimenticias que contienen BPCs. El consumo de pescado contaminado con BPC se considera como la principal fuente de exposición del hombre.<sup>10</sup>



Los BPCs entraron al aire, al agua y al suelo durante su manufactura, uso y disposición; a través de derrames accidentales, y escapes durante su transporte; y por escapes y/o incendio de equipos que contenían BPCs.

Estos aún pueden liberarse al medio ambiente desde sitios de residuos peligrosos que los contienen, por disposición ilegal o inapropiada de residuos industriales y productos de consumo, en escapes de transformadores antiguos que contienen BPCs y al quemar ciertos residuos en incineradores.

Los BPCs no se degradan fácilmente en el ambiente por lo que permanecen ahí por largo tiempo. Los BPCs han sido tipificados por las Naciones Unidas como un Contaminante Orgánico Persistente (COP).

Ya que pueden viajar largas distancias en el aire y ser depositados en áreas distantes del lugar de liberación. En una pequeña porción de agua los BPCs puede permanecer disuelta, pero la mayor parte se adhiere a partículas orgánicas y a sedimentos del fondo.

Los BPCs también se adhieren fuertemente al suelo, además se acumulan en pequeños organismos y peces en el agua. También se acumulan en otros animales que se alimentan de organismos acuáticos. Los BPCs se acumulan en peces y mamíferos acuáticos alcanzando niveles que pueden ser miles de veces mayores que los niveles de BPCs en el agua.

Si éstos compuestos son sometidos a temperaturas elevadas pueden generar residuos químicos de mayor toxicidad que la sustancia original. También aumenta su toxicidad cuando el compuesto posee mayor cantidad de cloro.<sup>12</sup>

Los BPCs pueden ser degradados por microorganismos mediante el producto del ciclo del ácido tricarbóxico.

El paso inicial en la biodegradación aeróbica de BPCs es la dioxigenación de los congéneres del BPCs por medio de la enzima bifenil dioxigenasa. En este paso, las enzimas catalizan la incorporación de dos grupos hidroxilo en el anillo aromático del congénere del BPCs, el cual incrementa la reactividad y lo hace más susceptible a la ruptura del anillo enzimático.

## 8.5 BPCs y la salud

La exposición a altas concentraciones de BPCs puede producir efectos agudos, tales como enfermedades en la piel, daños en el hígado, incluyendo hepatitis, daños en el sistema nervioso, con síntomas tales como entumecimiento y hormigueo en brazos y piernas, y otros efectos que se indican en el apartado derecho.

Efecto de los bifenilos Policlorados en la salud

- Toxicidad aguda: DL 50= 4g/kg de peso corporal
  - Según el grado y el tiempo de exposición: cloracné, incremento de secreciones oculares, ictericia, edemas y dolores abdominales
  - Afectan gravemente al hígado al acumularse en la cadena alimenticia
- Pueden producir cáncer y efectos mutagénicos en algunos animales

Los BPCs pueden penetrar en el cuerpo a través de los pulmones, el aparato digestivo y la piel. Estos compuestos circulan a través del cuerpo y quedan almacenados en el tejido adiposo. Además, las exposiciones a BPC pueden causar cáncer, daños en el sistema nervioso y en el sistema reproductivo, supresión del sistema inmunológico, daños en el hígado y disfunciones en el sistema endocrino.

Los estudios también demuestran que la exposición antes del nacimiento a BPC puede producir anomalías en el desarrollo. Los efectos tras el nacimiento, tales como dificultades de aprendizaje, han sido comprobados siguiendo la exposición a BPC a través de la leche materna. Las pruebas llevadas a cabo sobre animales demuestran que altas concentraciones de BPC pueden provocar una disminución de la fertilidad. El efecto que producirían exposiciones equivalentes sobre los seres humanos está sujeto aún a conjeturas.

La exposición a unos determinados niveles de BPC puede provocar el aborto espontáneo en mujeres embarazadas. También existen evidencias de una correlación entre la exposición crónica a BPC y un empeoramiento en el desarrollo reproductivo en algunas especies salvajes, como las focas.

La Agencia Internacional de la Organización de la Salud Mundial para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) considera a los BPC como posibles sustancias cancerígenas.

Hay evidencias que asocian a los BPC con el cáncer de hígado, de vesícula biliar y de vejiga; algunos estudios también han encontrado relación con el melanoma maligno y con el linfoma de no-Hodkin.<sup>10</sup>

Las evidencias de los estudios realizados con los BPCs son concluyentes en que la exposición a estos tóxicos ambientales tiene efectos que alteran el funcionamiento de diferentes órganos y sistemas, como el endocrino y el nervioso,

tanto en humanos como en otros animales y en que es un factor de riesgo para un amplio número de alteraciones neurodegenerativas.

La principal preocupación de las organizaciones de la salud sobre los efectos de estos contaminantes es la etapa perinatal, ya que durante este período los procesos de desarrollo son más susceptibles a estos tóxicos ambientales. A pesar de que no se producen en gran escala, estos contaminantes permanecen en el ambiente por sus propiedades fisicoquímicas, por derrames accidentales, por liberación durante un transporte inapropiado y por incineración de productos que los contenían.

Por lo anterior, actualmente la mayoría de la población de las grandes ciudades vive expuesta a concentraciones límite que exceden los niveles tolerables recomendados por la Organización Mundial de la Salud. En México se tienen reportes de accidentes de contaminación por BPCs en poblaciones marginadas y hay estudios de especies marinas contaminadas de las costas del país. Sin embargo, no existen reportes que documenten, como en otros países, el efecto de estos contaminantes en la población mexicana y su concentración en los alimentos. El problema se agrava porque existen pocos grupos interesados en estudiar los efectos de estos tóxicos.

#### 8.6 Métodos de detección de BPCs

Existen varios métodos analíticos que ayudan a detectar y monitorear los BPCs. Aunque ninguno de ellos es sencillo, estos métodos se utilizan para muestras de agua, aire, suelo, suero y tejidos. Fueron aprobados por diferentes asociaciones, como: Environmental Protection Agency,<sup>8</sup> the National Institute for Occupational Safety and Health Association of Official Analytical Chemist (AOAC) y la American Public Health Association (APHA).<sup>8-10</sup> Las técnicas más empleadas para la detección de los BPCs y sus mezclas, como el Aroclor, son: *la cromatografía de gases, cromatografía de gases de alta resolución, la cromatografía de permeación por gel, la detección por captura de electrones, la espectroscopia de masas y de ionización química de iones negativos, espectroscopia de masas de alta resolución y por dilución de isótopo.*

Actualmente, el procedimiento más empleado es el de cromatografía de gases de alta resolución llamado método 1668, el cual fue desarrollado a principios de 1990 por las agencias gubernamentales EPA y la Oficina de Ciencia y Tecnología de Estados Unidos. También existen los métodos bioanalíticos como el ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA, por sus siglas en inglés), con el cual se cuantifican los PCB en tejidos.<sup>13</sup>

### 8.7 Legislación Ambiental Nacional e Internacional.

Como bien se ha dicho los BPCs son contaminantes muy tóxicos y es por ello que se ha prohibido el uso de dicho contaminante, los BPCs están incluidos en el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), que establece compromisos para los países que como México lo han suscrito, relativos a la prohibición y/o adopción de medidas jurídicas y administrativas para eliminar su producción y uso o liberación al ambiente como subproductos no intencionales de la incineración industrial. Sin embargo, como aún son necesarios los equipos que los contienen, sobre todo ciertos transformadores y condensadores eléctricos, se ha establecido una excepción que permite seguir utilizando estos equipos hasta el año 2025, pero se espera que se realicen esfuerzos decididos para identificar y etiquetar el equipo y eliminar su uso.

La identificación de los equipos con BPCs se dificulta porque existen de muy variados tipos y tamaños, muchos han perdido las placas y/o etiquetas que indicaban la presencia de estos compuestos o, aun cuando originalmente no los contenían, pueden haber sido rellenos con ellos, además de que no sólo se les encuentra en zonas urbanas, sino también en las rurales. Por lo anterior, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), a través de su Oficina de Productos Químicos, ha formulado guías para orientar su identificación y manejo, así como cuestionarios para realizar encuestas con ese fin.

En la actualidad, se cuenta en el país con dos marcos de referencia para evaluar los avances en la gestión ambientalmente adecuada de los bifenilos policlorados y su eliminación:

1. La legislación nacional establecida a través:

- a) del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos.
- b) de la Norma Oficial Mexicana NOM-133-ECOL-2000.
- c) Protección ambiental-Bifenilos policlorados (BPC's) Especificaciones de manejo.
- d) de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

2. Los Convenios Internacionales de los que México es Parte e Involucran el control de BPCs, como los siguientes:

**El Convenio de Basilea** dedicado al control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, el cual entró en vigor en 1992 y cuyo objetivo es establecer un control estricto de los movimientos transfronterizos de los residuos peligrosos y de otros residuos, para proteger la salud de las personas y el

medio ambiente de los efectos nocivos que pudieran derivarse de la generación y el manejo de tales residuos. Por esta razón, a los requisitos para la autorización de exportaciones de residuos peligrosos, incluidos los BPC, establecidos en la LGEEPA y en su reglamento en materia de residuos peligrosos, deben añadirse los requisitos contenidos en el Convenio de Basilea. En diciembre de 1999 durante la Quinta Reunión de la Conferencia de las Partes, se adoptó la Decisión V/33 en la que se identifican como actividades prioritarias aquellas tendientes a fortalecer las capacidades institucionales y tecnológicas de las Partes, entre las que se considera realizar capacitaciones para el manejo y control de equipo que contenga BPCs.

**La adhesión a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico** en 1994, implicó poner en práctica las disposiciones contenidas en las Actas del Consejo de Ministros del Ambiente de esa organización, relativas a cuestiones ambientales, incluyendo la Decisión del Consejo C(87)2 Final, relativa al manejo y restricciones en el uso, comercio, tratamiento y disposición de los BPC.

**El Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte**, para apoyar la implementación del cual se creó la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) y se creó en 1995 el Grupo de Manejo Adecuado de Sustancias Químicas, orientado a promover la eliminación o reducción de sustancias que son tóxicas, persistentes y bioacumulables, como los bifenilos policlorados, a través del desarrollo de planes de acción regional.<sup>14</sup>

#### *8.8 Métodos de eliminación de BPCs.*

**Incineración:** Implica la oxidación a altas temperaturas de los desechos para transformarlos en óxidos (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) y residuos inorgánicos que pueden ser liberados al ambiente con bajo impacto.

**Químicos:** Clorólisis, deshidrohalogenación catalítica, reacciones con sales fundidas, reacciones con ozono y reducciones con metales alcalinos que alcanzan solo una deshalogenación parcial. Algunos subproductos como el aceite mineral contaminan más que el propio BPC.

**Físicos:** No son tratamientos que impliquen destrucción, es decir, los BPCs sólo son vaciados de los contenedores y/o transformadores y reemplazados con otro fluido, esto no ayuda a liberarse del problema de los BPCs sino que sólo cambia su ubicación.

**Energía radiante:** Se promueven las reacciones químicas y por tanto la destrucción de los BPCs, debido a que la energía interactúa directamente con la molécula de BPC.<sup>15</sup>

Degradación Microbiana: la biodegradación de los BPCs por microorganismos resulta una buena alternativa para eliminar su presencia del medio ambiente. El empleo tanto de bacterias como de hongos resulta atractivo para ser utilizado en los procesos de restauración de suelos y efluentes.<sup>1</sup>

La biorremediación: es la remoción o destrucción de contaminantes por organismos vivos o sus enzimas producidas. El compostaje: es un proceso aerobio, biológico, termofílico de degradación y de estabilización de materia orgánica bajo condiciones controladas.

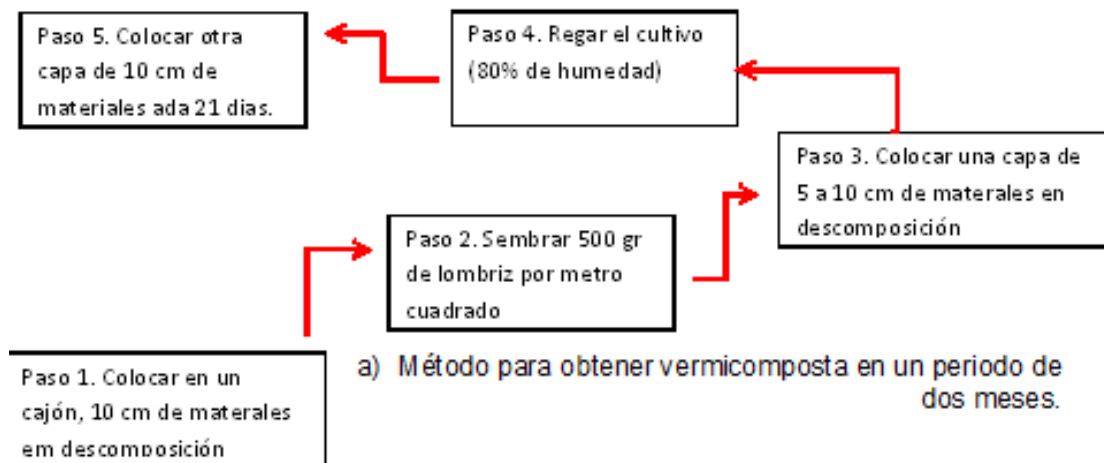
El vermicomposteo: es la elaboración de abono orgánico a través del uso de varias especies de lombrices de las cuales la más conocida y usada es *Eisenia foetida*, conocida también como “lombriz roja” o “californiana”.<sup>16</sup>

### 8.9 Vermicomposteo.

El vermicomposteo es el proceso por el cual las lombrices son usadas para convertir materiales orgánicos (generalmente desechos) en un material parecido a humus conocido como vermicomposta. Las especies de lombrices que más se usan en los procesos son *Eisenia fétida* (roja californiana), *Lumbricus terrestris*, y *Lumbricus rubellus*.

La vermicomposta, en términos generales posee, entre otras, las características que se describen en el siguiente párrafo:

La vermicomposta o lombricompuesto, es un abono orgánico de color oscuro limpio, suave al tacto, con agradable olor a mantillo del bosque y debido a su bioestabilidad no sufre procesos de fermentación y putrefacción, contiene además, una elevada carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrientes haciendo que puedan ser fácilmente absorbidos por las raíces y asimilables por las plantas evitando la lixiviación.



b) Rango de humedad para el vermicomposteo.



### Medición de la Humedad

La vermicomposta excretada por la *Eisenia fétida*, tiene la capacidad de modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Las propiedades físicas del suelo modificado por la vermicomposta comprenden la agregación, la estabilidad y la porosidad. Las propiedades biológicas y químicas incluyen el ciclado de nutrientes (nitrógeno y fosforo), los índices de descomposición, las formas químicas de los nutrientes en el suelo y su disponibilidad para los vegetales, la cantidad y la calidad de la materia orgánica, la actividad microbiana y de la fauna (incluida la producción de enzimas y reguladoras del crecimiento de los vegetales), la abundancia, la composición de las especies y la diversidad de la microflora y la microfauna.

La vermicomposta neutraliza eventuales presencias contaminadoras, evita, facilita y aumenta la eficacia del trabajo mecánico del terreno, favorece e incrementa la actividad biótica del suelo y aumenta la retención hídrica de los suelos disminuyendo el consumo de agua por los cultivos.

#### 8.10 *Eisenia Fetida*

En la actualidad se conocen aproximadamente 8000 especies de lombrices, de las cuales solo 3500 han sido clasificadas y estudiadas. De estas 3500 especies unas pocas han sido domesticadas y adaptadas para cultivarlas en criaderos, una de ellas es la lombriz roja californiana (*Eisenia fétida*), la cual se inició su domesticación en 1930.

Martínez (1995) describe a la lombriz como un animal omnívoro del reino animal, tipo anélida de la clase oligoqueta, orden lumbricida, suborden lumbricidae de la familia lumbricidae, dentro del género *Eisenia* siendo de la especie fétida.



La *Eisenia fétida* (lombriz roja californiana, red worm, lombriz de composta, lombriz de excretas), es de color rojo marrón presenta un cuerpo cilíndrico y dividido en segmentos en forma de anillos (Figura 3.a), su tamaño varía dependiendo de su edad, aunque generalmente oscila entre 5 y 10 centímetros de largo y de 3 a 5 milímetros de diámetro, y llega a pesar hasta aproximadamente 1.4 gramos, no soporta la luz solar, una lombriz expuesta a los rayos del sol muere en unos pocos minutos. Para su movimiento, tanto en la tierra como en los materiales que degrada, cuenta con algunas grietas que sobresalen de su cuerpo.

Las lombrices respiran por medio de la piel, de ahí que necesiten tenerla húmeda en forma continua para poder captar el oxígeno, por lo que si esta muy seca o demasiado mojado pueden llegar a morir por desecación o por asfixia.

El sistema digestivo de la lombriz (figura 3.b), tiene forma recta y atraviesa una gran porción de su cuerpo. Presenta faringe, esófago, boca, estomago y ano. Su boca succiona los alimentos, pues no posee dientes. Sus glándulas calcíferas ayudan a neutralizar los alimentos ácidos o de pH bajo.

En su intestino, las enzimas desdoblan los alimentos en sustancias más simples, y excreta sustancias enriquecidas por microorganismos propios de su flora bacteriana y humus aprovechable.

Las lombrices son hermafroditas, es decir, presentan los dos sexos en el mismo organismo, tanto los órganos sexuales femeninos, como los masculinos. A pesar de esto, no se autofecundan, por lo que es necesaria una reproducción cruzada entre dos individuos.

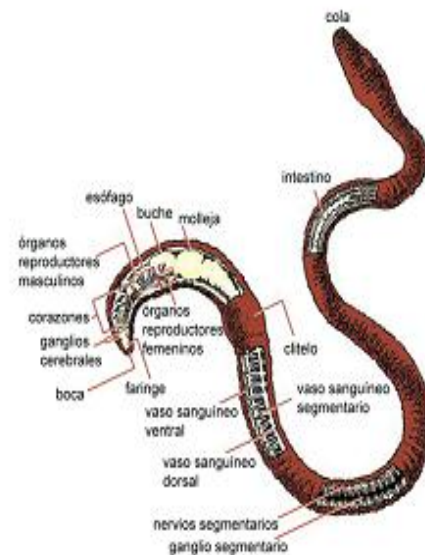
Una lombriz puede empezar a reproducirse al es de nacida o cuando presenta el clitelo, que es una estructura gruesa ubicada en el primer tercio de su cuerpo (cerca de la cabeza).

Una lombriz adulta puede vivir como máximo 16 años y generar, en promedio 1 500 lombrices por año.<sup>17</sup>

Figura 3. Características de la lombriz roja californiana (*Eisenia fétida*).



a) Morfología de la lombriz *E. fetida*



b) sistema digestivo de *E. fetida*

### 8.11 *Peat moss*

El peat moss es un producto que se obtiene del secado del *Sphagnum*.

El esfagno, es un género de entre 150-350 de especies de musgos comúnmente llamados *musgos de turbera* (en países anglosajones: *peat moss*) Los miembros de este género pueden retener grandes cantidades de agua dentro de sus células. Algunas especies pueden retener más de 20 veces su peso seco en agua.

Consta de un tallo principal con fascículos de ramas, por lo general de dos a tres ramas extendidas, y de dos a cuatro ramas colgantes. La parte de arriba de la planta, o *capítulo* contiene fascículos de ramas jóvenes densamente agrupadas.

El musgo *Sphagnum* descompuesto y comprimido tiene el nombre de *turba de musgo*. La turba de musgo puede ser usada como un aditivo de suelo que aumenta la capacidad del suelo para ser más completo en materia orgánica y menos compacta. Esto es a menudo necesario cuando se está tratando con el suelo muy arenoso, o si la planta necesita mucha humedad como por ejemplo las plantas carnívoras, a menudo encontradas en pantanos, en el siguiente proyecto se usara como sustituto de tierra debido a que en el mercado se encuentra caracterizado, estandarizado y por su capacidad de retención de humedad.<sup>18</sup>

### 8.12 *Excreta de conejo*

La composición del estiércol de conejo, varía según el tipo de alimentación que se suministre a los animales, lo más significativo de este tipo de excretas es que contiene un alto porcentaje de nitrógeno y fósforo asimilable.

Análisis general de estiércol fresco de conejo:

% Humedad (57.4/72.4), pH (7.2/9.0), CE ds/m (4.89/5.57), CE Mmhos/cm (8.9), %Materia Orgánica sms (64/85), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ppm (829/1950), % Agua (31), % Nitrógeno Orgánico (1.6/2.3), % Nitrógeno Total (0.7/2.0), % Fósforo Asimilable (1.8), % Acido Fosfórico P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( 1.80/2.9), % K<sub>2</sub>O ( 0.2/1.9), % Materia Seca (28/50), C/N (11/19), % Ca (1.05/2.8), % Na (0.3/0.4), % Fe (0.16/0.38), Zn ppm (1214/2950), Mn ppm (235/276), Cu ppm (43/47), % Magnesio MgO (0.45)

Su equilibrada estabilización (relación C/N) le permite una rápida transformación de este estiércol en humus. Es preciso señalar que una parte del nitrógeno contenido en estos residuos se encuentra en forma directamente disponible para las plantas (la disponibilidad del nitrógeno de la orina animal es por corto tiempo).

Por último, se debe tener en cuenta que una porción de los nutrientes (particularmente en el caso del nitrógeno, del fósforo y de los microelementos) que se encuentran en este tipo de estiércol pasará a formar parte del humus, quedando así almacenados en el suelo, a resguardo de las pérdidas por lavado.<sup>19</sup>

### 8.13 Antecedentes específicos

#### EISENIA FOETIDA E HIDROCARBUROS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (PAH'S)

Autor, año	Estudio	Resultados
Contreras et al., 2009	Supervivencia, crecimiento y formación de huevecillos de <i>Eisenia Foetida</i> en suelo con lodos de depuración y PAH's	94% de supervivencia. Remoción del 96% por efecto de <i>Eisenia Foetida</i>
Contreras et al., 2006 y 2008	Remoción de PAH's usando <i>Eisenia foetida</i> y suelo arenoso de cultivo de maíz y un suelo con excretas de vaca.	Usando como sustrato suelo arenoso de cultivo de maíz y suelo con excretas de vaca, las remociones fueron: Antraceno 51%, 91% Benzopireno 47%, 16% Fenantreno 100%, 99% respectivamente

#### COMPOSTAJE EN LA REMOCIÓN DE BPC'S

Autor, año	Estudio	Resultados
Michel <i>et al.</i> , 2001	Composta hecha con restos de poda y suelo contaminado con BPC's (16 ppm de Aroclor 1248) de una fábrica de papel	Con 82% de restos de poda como sustrato se removió el 42% de BPC's en el suelo contaminado

#### VERMICOMPOSTAJE EN LA REMOCIÓN DE BPC'S

Autor, año	Estudio	Resultados
Singer <i>et al.</i> , 2001	<i>Pheretima hawayana</i> y <i>Rhodococcus sp.</i>	Concentración inicial de BPC's: 100 ppm de Aroclor 1242 (tetraclorobifenilo). Remoción del 55% de BPC's
Tharakan <i>et al.</i> , 2005	<i>Rhodococcus erythropolis</i> y <i>Eisenia foetida</i>	Concentración inicial de BPC's: 200 ppm de Aroclor 1248. Remoción del 70% de BPC's. Usando como sustrato lodos de un lago en USA.

Monitorean la concentración final de BPC's en la lombriz y algunos en el sustrato, pero no mencionan en ningún momento la degradación.

## 9. METODOLOGIA

Se utilizaron frascos de vidrio ámbar con capacidad de 1 litro, esto debido a las características primordiales para la supervivencia de las lombrices las cuales deben de permanecer en lugares oscuros ya que las lombrices son sensibles a la luz.

### 9.1 Preparación de unidades experimentales (frascos).

Cada frasco contuvo como soporte 85% de peat moss y 15% de excreta de conejo haciendo un total de 50 gramos y se llevo a una humedad de 75% calculado de manera gravimétrica (150ml).

Se realizaron seis tomas de muestra en diferentes tiempos (0 h, 7 h, 14h, 28 h, 56 h, 72h) a tres concentraciones diferentes de contaminante (decaclorobifenilos) (100 ppm, 150 ppm y 200 ppm) más un frasco control, esto hace un total de 21 frascos utilizados en el experimento.

Posteriormente se esterilizaron los frascos con soporte.

### 9.2 Contaminación de frascos

A continuación se contamina los frascos con 3 concentraciones ya mencionadas anteriormente, esto con el fin de encontrar la concentración no toxica de BPCs en lombrices.

Para este proceso de contaminación de los frascos (unidades experimentales) se le hizo una previa dilución del contaminante en hexano a las concentraciones antes mencionadas, se adiciono a los frascos y se homogenizo, posteriormente se dejó evaporar el hexano durante 72 h dentro de una campana de extracción.

### 9.3 Adición de lombrices a las unidades experimentales.

Se hizo pruebas experimentales con 3, 5 y 7 lombrices las cuales fueron agregadas a los frascos y se pesó las lombrices.

### 9.4 Preparación de muestra para analizar.

Se separó las lombrices, luego de hacer esto se pesó 30 gramos de suelo húmedo en un platito hondo de aluminio. Se metió al horno a secar durante 24 horas a una temperatura de 75 °C.

Se homogenizo la muestra seca y se pesó 4 muestras de 1.5 gramos en tubos falcon de 15 ml. Se guardó el resto de la tierra en bolsas herméticas. Se agregó 10 ml de hexano y se agito utilizando un equipo vortex durante 2 minutos. Se pasó

los tubos al sonicador (los tubos deben estar destapados y no deben tocar ninguna pared del equipo) se sonicó 20 minutos en tantos de 5 minutos para que el equipo no se calentara. Se pasó a la centrifuga y se centrifugo a 4000 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante se vació en un tubo falcon de 50 ml, se repitió el proceso, 2 veces más vaciando en el mismo tubo. Se dejó evaporar hasta tener un concentrado de 1 ml, se guardó las muestras para posteriormente analizarlas por cromatografía FID.

#### *9.5 Preparación de inóculo a analizar.*

Para poder evaluar el efecto del inóculo, la relación del sustrato y la concentración de BPC'S el primer paso del procedimiento fue sacar a cada lombriz del frasco y lavarlas bien para quitarle cualquier porción de soporte que se le haya adherido, posteriormente se pesó a cada una para obtener el peso final.

Se observó las características de la lombriz como, el color, tamaño, peso.

Posteriormente se dejó a la lombriz en un papel filtro mojado o bien por un vaso tapado con pañalina para secar lo máximo posible a la lombriz, se deja durante 24 horas.

Pasadas las 24 horas se congeló con Nitrógeno líquido y se trituró hasta que la muestra se hiciera polvo. Se le agregó sulfato de sodio al doble de su peso (reactivo deshidratante).

Se agregó 10 mL de hexano y se agitó con ayuda de un equipo vortex durante 2 minutos

Se pasaron los tubos al sonicador (los tubos deben estar destapados y no deben tocar ninguna pared del equipo) se sonicó 20 minutos en tantos de 5 minutos para que el equipo no se caliente

Se pasó a la centrifuga y se centrifugó a 4000 rpm durante 15 minutos

Se vació el sobrenadante en un tubo falcon de 50 ml, se repitió a partir de que se agregan los 10 mL de hexano en adelante.

## 10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto a nuestro objetivo específico de evaluar el efecto del inoculo, relación de sustrato y concentración de BPCs en su degradación, se presentan las siguientes tablas y graficas en donde se utilizo una concentración de 100 ppm y 150 ppm (en curso).

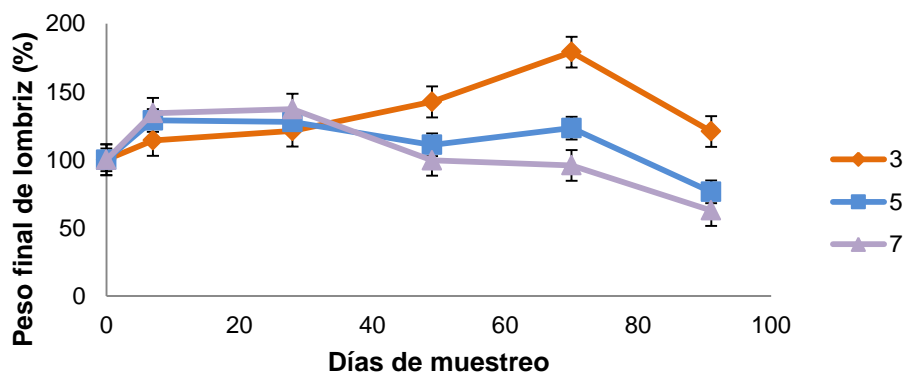
### 10.1 Peso final de lombriz con BPCs a 100ppm y 150 ppm (en curso).

.A continuación se da a conocer el peso final de la lombriz con respecto a los días de muestreo.

**Cuadro 2. Peso final de lombriz (%) durante los días de muestreo**

DIAS DE MUESTREO	PESO FINAL de la lombriz (%)	No LOMBRICES	DS Y GRUPOS HOMOGÉNEOS
0	100		
7	114.195		114.195 +/- 14.04 a A
28	121.19	3	121.19 +/- 4.23 A a
49	142.55		142.55 +/- 17.24 b A
70	178.99		178.99 +/- 18.7 c A
91	120.77		120.77 +/- 14.99 a A
0	100		
7	128.94		128.94 +/- 12.15 A a
28	127.8	5	127.8 +/- 7.43 A a
49	110.98		110.98 +/- 14.54 a B
70	123.26		123.26 +/- 10.31 a B
91	76.45		76.45 +/- 29.81 b B
0	100		
7	134.23		134.23 +/- 21.33 Aa
28	137.11	7	137.11 +/- 16.46 Aa
49	99.55		99.55 +/- 23.07 a B
70	95.88		95.88 +/- 15.77 b C
91	62.78		62.78 +/- 7.32 c B

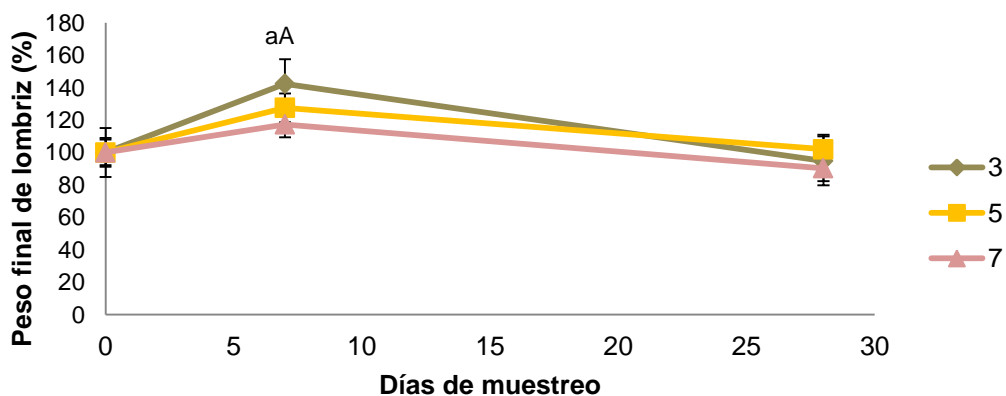
**Gráfica 1. Peso final de lombriz (%) a 100ppm de decaclorobifenilo**



**Cuadro 3. Peso promedio en el transcurso de los días de muestreo**

DIAS DE MUESTREO	PESO FINAL DE LOMBRIZ (%)	No LOMBRICES
0	100	3
7	142.37	
28	94.8	
0	100	5
7	127.57	
28	101.98	
0	100	7
7	117.26	
28	90.21	

**Gráfica 2. Peso final de lombriz (%) a 150 ppm de decaclorobifenilo**



Contreras et al. 2006, realizaron un experimento con *Eisenia foetida* (10 lombrices) y el contaminante Antraceno a 100 ppm en donde observaron que a las 11 semana, la supervivencia y el peso de esta no se vieron afectadas por la adición de HAP en comparación con el suelo sin modificación. Por tal motivo el Antraceno no era toxico hasta los 1000 ppm.

Table 2  
Survival of the earthworm *Eisenia fetida* (%) and weight loss after being exposed to PAHs for 11 weeks

Hydrocarbon	Amount added (mg kg <sup>-1</sup> soil)	Earthworm characteristics <sup>a</sup>	
		Survival (%)	Weight loss (%)
Unamended	0	87	68
Anthracene	200	84	70
	500	87	71
	1000	86	75
	MSD <sup>b</sup>	20	13
Benzo(a)pyrene	50	86	76
	100	79	70
	150	84	64
MSD		27	15
Phenanthrene	50	91	59
	100	83	58
	150	0	0
MSD		17	11

<sup>a</sup> Mean of three samples and three replicates ( $N = 9$ ).

<sup>b</sup> MSD: minimum significant difference ( $P < 0.05$ ) (SAS, 1989).

Al comparar los resultados de Contreras et al. 2006 con los resultados obtenidos podemos decir que *Eisenia Foetida* utiliza al contaminante como sustrato siendo así que ella puede soportar más de 100 ppm aunado a esto se observa también que en la concentración de 100 ppm a las 11 semanas el experimento con 3 lombrices es el periodo en donde hay una gran diferencia de peso a su favor a diferencia de los experimentos con 5 y 7 lombrices, sin embargo el experimento en curso de 150 ppm demuestra que los frascos con 3 lombrices son las que tiene mayor peso que las de 5 y 7.

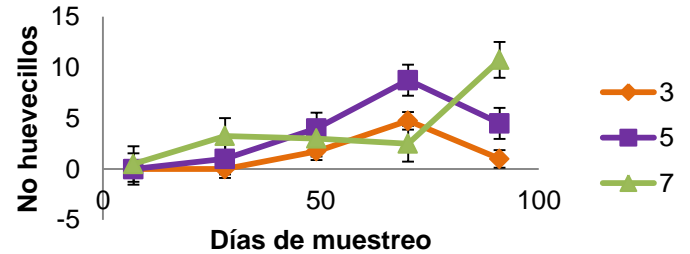


10.2 Número de huevecillos formados en unidades experimentales con BPCs de 100 ppm y 150 ppm.

Cuadro 4. No de huevecillos formados en 100 ppm

DIAS DE MUESTREO	No HUEVECILLOS	No LOMBRICES
7	0	3
28	0	
49	1.75	
70	4.75	
91	1	
7	0	5
28	1	
49	4	
70	8.75	
91	4.5	
7	0.5	7
28	3.25	
49	3	
70	2.5	
91	10.75	

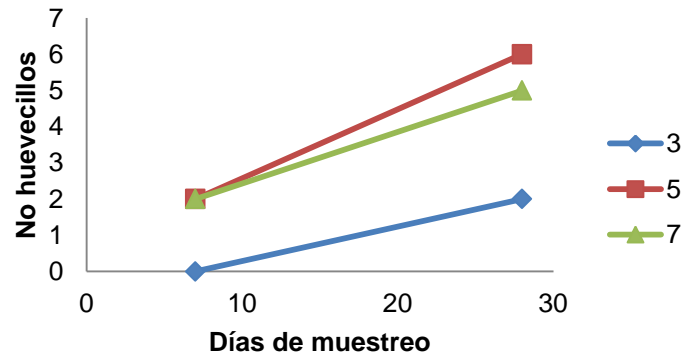
Gráfica 3. No de huevecillos formados en 100 ppm



Cuadro 5. No de huevecillos formados en 150 ppm

DIAS DE MUESTREO	No HUEVECILLOS	No LOMBRICES
7	0	3
28	2	3
7	2	5
28	6	5
7	2	7
28	5	7

No de huevecillos formados en 150 ppm



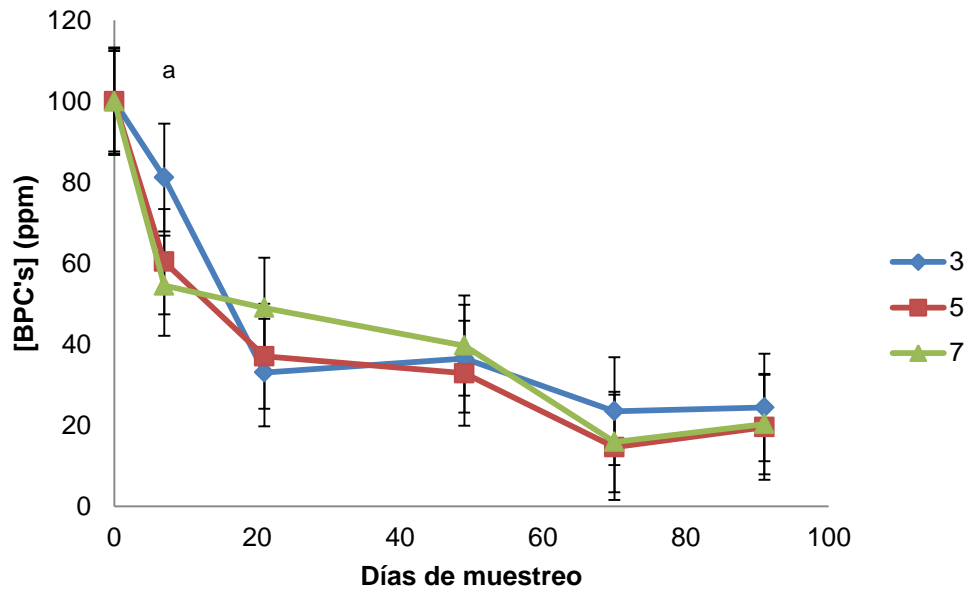
Debido a que no hay estudios ni información acerca de los huevecillos que crecen durante el proceso de degradación de BPCs no puedo hacer comparación con los resultados obtenidos en este experimento.

En la Gráfica 3 se observa claramente como la unidad experimental con 7 lombrices es la que va en aumento en la reproducción de huevecillos conforme va pasando el tiempo a diferencia de las otras dos unidades experimentales de 5 y 3 lombrices que en el periodo de 40 a 70 días aproximadamente, tuvieron una creciente de huevecillos sin embargo fue disminuyendo su reproducción después de esos días.

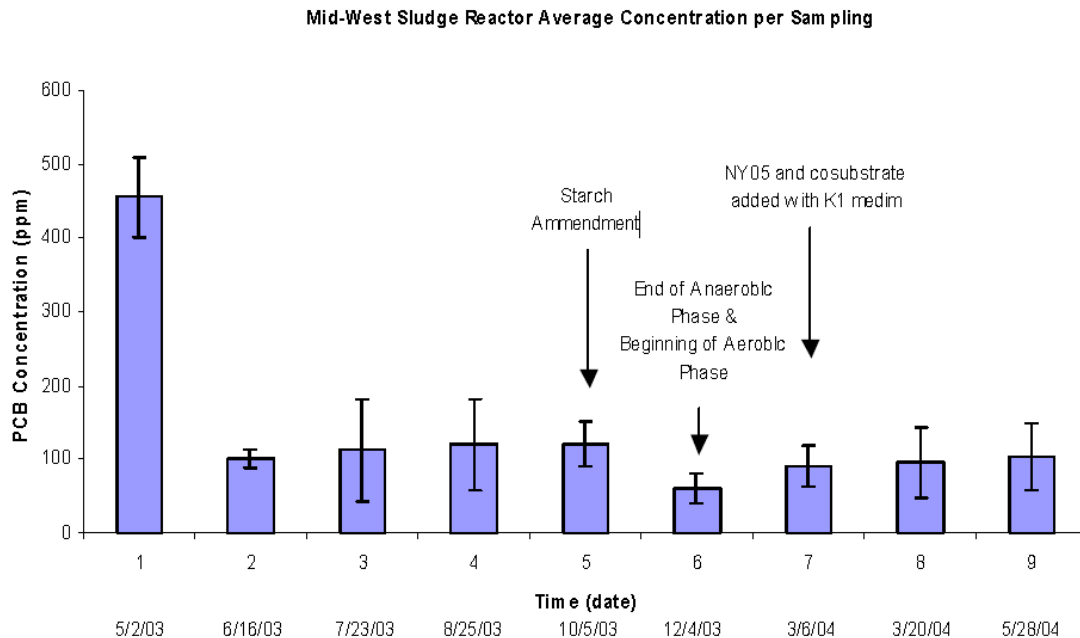
10.3 Concentración final de BPCs en el sustrato.

Cuadro 6. Concentración de decaclorobifenilo a 100 ppm		
DIAS	[BPC'S] (ppm)	No LOMBRICES
0	100	3
7	81.15	
21	33	
49	36.44	
70	23.46	
91	24.37	
0	100	5
7	60.37	
21	37	
49	32.81	
70	14.55	
91	19.51	
0	100	7
7	54.46	
21	48.97	
49	39.66	
70	15.87	
91	20.28	

Concentración final de decaclorobifenilo a 100 ppm en sustrato



Según J. Tharakan *et al.* 2005, realizaron un experimento con *Eisenia foetida* en donde observaron que en las primeras seis semanas se redujo en un 70% el BPCs utilizando un sistema BTSR y añadiéndole una bacteria *Rhodococcus erythropolis*.



Con lo ya mencionado y con los resultados obtenidos es importante señalar que la unidad experimental de 7 lombrices presenta una degradación de BPCs de manera consecutiva a pesar de que las otras dos unidades experimentales también se observa la degradación en el caso de 7 lombrices esa degradación es cada vez mayor, en especial a inicios de la semana 10.

Si hablamos del método experimental se hicieron dos ajustes con la finalidad de obtener un mejor resultado, debido a que el solvente que se utilizaba era el hexano el cual no permitía una mejor mezcla entre el sustrato y el solvente, por lo que se optó por modificarlo por pentano, otro cambio que se hizo fue la del tiempo homogenizábamos durante dos minutos en el vortex sin embargo, este tiempo era muy corto por tal motivo se alargó a 5 minutos teniendo como resultado una mejor homogenización

## **11. CONCLUSIÓN**

Los resultados obtenidos nos han demostrado que la *Eisenia Foetida* ha utilizado al contaminante como sustrato siendo así que las lombrices han aumentado de peso significativamente en especial en la unidad experimental con tres lombrices, gracias a este incremento tenemos un gran número de huevecillos reproduciéndose a pesar de estar expuestos al BPCs.

No se ha podido sacar el óptimo en concentración de BPCs ni sustrato esto es porque el experimento no se ha podido concluir, sin embargo se le sigue dando continuidad al experimento para que se pueda obtener el óptimo de dicho proceso de degradación.

## **12. RECOMENDACIONES.**

Se debería facilitar los materiales necesarios de cada proyecto que se lleve a cabo dentro de la institución con la finalidad de que dichos proyectos puedan terminar en tiempo y forma establecida y así poder cumplir con sus objetivos planteados.

### 13. BIBLIOGRAFIA

1. BIODEGRADACIÓN DE BIFENILOS POLICLORADOS (BPCS) POR MICROORGANISMOS, Acta Universitaria mayo-agosto, año/vol. 15. Número 002, Universidad de Guanajuato (Aguilar, 2005)
2. Una Experiencia de Vinculación en Red. Gobierno-Universidad-Sector Cooperativo. Manzo P., Roqué P., Mendizábal G., Manetti M. CEQUIMAP (Centro de Química Aplicada), Facultad de Ciencias Químicas, UNC.
3. ATSDR (Agencias para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades). Resumen de salud pública, noviembre 2000
4. <http://es.scribd.com/doc/16535958/Bifenilos-Policlorados-Pbc-y-Efectos-en-La-Salud-Ing-Alvaro-Mosquera-Dra-Carolina-Zamorano>
5. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial República de Colombia. Inventario preliminar de compuestos bifenilos policlorados (BPCs) en Colombia.
6. <http://www.ecologiahoy.com/bifenilos-policlorados>
7. Foro Ecologista de Paraná. Coalición Ríos Vivos. Red Socioambiental de Entre Ríos y Organizaciones Ecologistas de la República Oriental del Uruguay. Red de Defensa del Río Uruguay y sus Pueblos
8. [siscop.ine.gob.mx/.../diag\\_bifenilos\\_policlorados\\_en\\_mexico.pdf](http://siscop.ine.gob.mx/.../diag_bifenilos_policlorados_en_mexico.pdf)
9. Diagnóstico Nacional de Bifenilos Policlorados en México – Reporte Final –
10. Contaminación por bifenilos policlorados. Problemática medioambiental y tratamiento. E. López Martínez, F. V. Díez Sanz y S. Ordóñez García. Dpto. de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de Oviedo
11. Los efectos de la contaminación: el caso de las sustancias tóxicas persistentes, Mario Yarto; 2007. Instituto Nacional de Ecología, Dirección de Investigación sobre Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos, Periférico 5000, 4to piso, Col. Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530, México, D.F. Correo
12. Foro ecológico de parana. Conociendo a los bifenilos policlorados
13. The polychlorinated biphenyls (PCBS) environmental pollutants and their effects on the Nervous System and health; Carolina Miller-Pérez, Eduardo Sánchez-Islas, Samuel Mucio-Ramírez, José Mendoza-Sotelo, Martha León-Olea, Departamento de Histología y Microscopía Electrónica. Dirección de Investigaciones en Neurociencias. Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz.
14. [siscop.ine.gob.mx/.../diag\\_bifenilos\\_policlorados\\_en\\_mexico.pdf](http://siscop.ine.gob.mx/.../diag_bifenilos_policlorados_en_mexico.pdf)

15. PURIFICACIÓN DE ACEITES AISLANTES CONTAMINADOS CON BIFENILOS OLICLORADOS (PCB'S), Eliana Lopera Posada, Jaime Aguirre Cardona, Dyna, noviembre, 2006/vol.73, número 150. Universidad Nacional de Colombia. Pp. 75-88
16. Hickman ZA. and Reid BJ. The co.application of earthworms (*Dendrobaena veneta*) and compost to increase hydrocarbon losses from diesel contaminated soils. *Environment International* 34(7), 1016-1022. 2008
17. vermicomposta de excreta de borrego como suplemento del suelo para mejorar el crecimiento, rendimiento y calidad del tomate. IBQ Náfate Mendoza Camerino Carlos. Tesis
18. [es.wikipedia.org/wiki/Sphagnum](http://es.wikipedia.org/wiki/Sphagnum)
19. [www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/22803.html](http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/22803.html)