



Universidad Técnica de Manabí
Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas
Carrera de Ingeniería Química

Trabajo de titulación
Previo al título de Ingeniero Químico

“EVALUACIÓN QUÍMICO AMBIENTAL DE LOS ACEITES DIELECTRICOS
EN LOS PREDIOS DE LA CNEL MANABÍ 2015”

Autores:

Arteaga Cevallos José Alex
Cevallos Mendoza Arnaldo Narcizo

Tutor:

Ing. Virginia Sánchez Mendoza

Portoviejo-Ecuador

2015

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

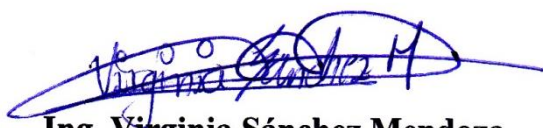
CERTIFICA

Quien suscribe la presente Ing. Virginia Sánchez, Docente de la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Química; en mi calidad de Tutor del trabajo de titulación: ***“EVALUACIÓN QUÍMICO AMBIENTAL DE LOS ACEITES DIELECTRICOS EN LOS PREDIOS DE LA CNEL MANABÍ 2015”***, desarrollada por las profesionistas: Sr. Arteaga Cevallos José Alex con C.I. 1312745266 y la Sr. Cevallos Mendoza Arnaldo Narcizo C.I. 1313583484; en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado por los profesionistas cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente a los estudiantes en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentaron el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo de titulación los profesionistas pusieron mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado.

Particular que certifico para los fines pertinentes



Ing. Virginia Sánchez Mendoza

TUTOR

Informe del Trabajo de Titulación

Luego de haber revisado el Trabajo de Titulación, en la modalidad de Investigación y que lleva por tema: **“EVALUACIÓN QUÍMICO AMBIENTAL DE LOS ACEITES DIELECTRICOS EN LOS PREDIOS DE LA CNEL MANABÍ 2015”** desarrollada por el Sr. Arteaga Cevallos José Alex CC. 1312745266 y el Sr. Cevallos Mendoza Arnaldo Narcizo CC. 1313583484, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Químico**, bajo la tutoría y control de la Ing. Virginia Sánchez Mendoza y cumpliendo con todos los requisitos del nuevo **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**, aprobada por el Honorable Consejo Universitario, el 14 de Julio del 2015, cumpla con informar que en la ejecución del mencionado Trabajo de Titulación, sus autoras:

- 1) han respetado los derechos de autor correspondiente al tener menos del 10% de similitud con otros documentos existentes en el repositorio,
- 2) han aplicado correctamente el manual de estilos de la Universidad Andina Simón Bolívar del Ecuador,
- 3) las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados,
- 4) el trabajo posee suficiente argumentación técnico – científica, evidenciada en el contenido bibliográfico consultado, y
- 5) mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.

Sin más que informar suscribo este documento no vinculante para los fines legales pertinentes.



Ing. Ulbio Alcívar Cedeño

REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

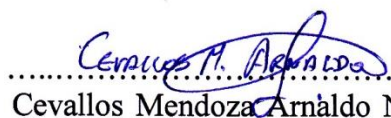
CLAUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Nosotros, Arteaga Cevallos José Alex Cevallos y Mendoza Arnaldo Narcizo autores de la tesis intitulada ***“EVALUACIÓN QUÍMICO AMBIENTAL DE LOS ACEITES DIELÉCTRICOS EN LOS PREDIOS DE LA CNEL MANABÍ 2015”***, mediante el presente documento de constancia de que la obra es de nuestra exclusiva autoría y producción, que la hemos elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Ingeniero Químico en la Universidad Técnica de Manabí.

1. Cedo a la Universidad Técnica de Manabí, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

Fecha, 08 de Diciembre del 2015.....


.....
Arteaga Cevallos José Alex


.....
Cevallos Mendoza Arnaldo Narcizo

DEDICATORIA

Dedico mi presente trabajo primeramente a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi familia fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en mis duros años de carrera profesional y en especial quiero expresar mi más grande agradecimiento a mi madre q sin su ayuda hubiera sido imposible culminar mi profesión.

A mis compañeros ya que a lo largo de mi camino universitario me demostraron su apoyo incondicional sin buscar nada a cambio, lo cual estoy muy agradecido, porque sin su apoyo y su comprensión nada de esto hubiera sido posible.

Y a mis docentes en especial al Revisor el Ing. Ulbio Alcívar y a mi Tutora la Ing. Virginia Sánchez por sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y por su motivación que han sido fundamentales para mi formación.

José Alex Arteaga Cevallos

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación que devengó con mucho esfuerzo y compromiso.

A Dios, por la Fe y Fortaleza que me ha dado cada día; a mis padres, en especial a mis madres Carmen Mendoza Loor y Aminta Del Carmen Celorio que con mucho esfuerzo supieron guiarme, aconsejarme y sobre todo apoyarme; a mis hermanos como Jonathan Suarez, Melanie Suarez, Maricela Suarez, Steeven Suarez, Julián Suarez y en especial a Johana Cevallos Delgado a la que considero como una hermana que me ha dado Dios.

También sin ser menos especial a nuestros docentes que fueron parte de este trabajo investigativo como fueron Ing. Virginia Sánchez e Ing. Ulbio Alcívar; en las cuales ellos nos supieron guiar y orientar en toda la etapa de investigación.

A todos ellos que menciono les dedico mi esfuerzo, en los que sirvieron de apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Arnaldo Narcizo Cevallos Mendoza

AGRADECIMIENTO

Este trabajo, en primer lugar se lo agradecemos a Dios, dador de fuerza para culminarlo y poder alcanzar hoy una de nuestras metas; también a nuestros padres, que nos apoyaron directa y de forma incondicional hasta llegar a cumplir este logro.

Nuestra gratitud está dirigida a los docentes que nos supieron guiar desde los inicios hasta el final de nuestra carrera, en la cual nos sembraron la semilla del saber y despertaron en nosotros la necesidad de investigar para conocer la realidad; a la Escuela de Ingeniería Química, la misma que nos abrió sus puertas y creyó en nosotros cuando ingresamos con la esperanza de superación.

Agradecemos igualmente a nuestros maestros, verdaderos catedráticos que nos ayudaron en nuestro trabajo de investigación.

En general agradecemos a nuestros familiares y amigos que de una u otra forma sirvieron como apoyo y motivación para lograr lo que ahora es una realidad.

Los Autores

RESUMEN

Los aceites dieléctricos utilizados en los transformadores de la CNEL Manabí presentan un rendimiento alto, características y propiedades físicas y químicas muy útiles en lo que dichos equipos demandan, una alta estabilidad química, resistencia a la oxidación, capacidad aislante, sirve como refrigerante, larga vida útil, en pocas palabras, es ideal para su función dentro de estos equipos. El problema está en que uno de sus componentes presenta una alta tasa contaminante y toxicidad afectando al ecosistema, dichos compuestos son los Bifenilos Policlorados o más conocidos como PCB's.

El presente trabajo de investigación se realizó con la intención de hacer un estudio al aceite dieléctrico y al PCB que lo componen para obtener un conocimiento mayor sobre las incidencias que este presenta a manera de impacto químico y ecotoxicológico, para ello se realizó un ensayo en modelos biológicos.

Los modelos biológicos empleados fueron las lombrices de tipo Eisenia Foetida siguiendo realizando un ensayo de ecotoxicidad aguda vía oral en organismos vivos y con las pruebas de sensibilidad y suelo artificial se determinó el % de mortalidad que estos organismos presentan ante distintas concentraciones de aceite dieléctrico. También se hizo uso del método Probit y de la prueba CL50 con la finalidad de obtener la concentración letal media y saber en cuantas partes por millón (ppm) de PCB afecta a la vida de los organismos vivos, en este caso utilizando como ecosistema al suelo.

Además se realizó la determinación de parámetros físicos en el suelo antes y después de contaminación intencional con aceite dieléctrico para identificar como afecta y las variaciones que sufre. También se tomó una muestra de aceite dieléctrico usado y se le hizo una determinación de hidrocarburos totales y concentración de PCB. En los próximos capítulos de este trabajo se detallan los procedimientos mencionados y sus resultados.

Palabras claves: Transformadores, Aceite dieléctrico, CNEL, PCB, ecotoxicidad, modelos biológicos, parámetros químicos y físicos

SUMMARY

Dielectric oils used in transformers Manabi CNEL have a high useful performance characteristics and physical and chemical properties such equipment as demand, high chemical stability, corrosion resistance, insulating capacity, serves as a refrigerant, long life useful, in short, is ideal for their role in these teams. The problem is that one of its components has a high pollution rate and toxicity affecting the ecosystem, such compounds are polychlorinated biphenyls or better known as PCBs.

This research was done with the intention to study the dielectric oil and PCB that make for a better understanding of the issues that this presents a way of chemical and ecotoxicological impact, for it a trial was conducted on models biological.

Biological models used were earthworms *Eisenia Foetida* type conducting a test following acute ecotoxicity orally in living organisms and susceptibility testing and artificial ground the% mortality to these organisms have different dielectric oil concentrations were determined. It also made use of the Probit method and the LC50 test in order to obtain the median lethal concentration and knowing how many parts per million (ppm) of PCBs affect the life of living organisms, in this case using the ground as an ecosystem .

Besides determining physical parameters was performed on the ground before and after intentional contamination with oil dielectric identified as affected and suffered variations. A sample of dielectric oil used is also taken and he was made a determination of total hydrocarbons and PCB concentration. In the chapters of this work the above procedures and results are described.

Keywords: transformers, dielectric oil, CNEL, PCB, ecotoxicity, biological models, chemical and physical parameters

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	14
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
2.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	18
2.1.1. Delimitación Espacial	18
2.1.2. Delimitación Temporal	18
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
3. OBJETIVOS	19
3.1. OBJETIVO GENERAL	19
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4. MARCO TEÓRICO.....	20
4.1. TRANSFORMADORES.....	20
4.1.1. Funcionamiento de los transformadores	20
4.1.2. Componentes de un transformador	21
4.1.2.1. Núcleo	21
4.1.2.2. Devanados	21
4.1.2.3. Herrajes.....	21
4.1.2.4. Pintura	21
4.1.2.5. Empaques.....	21
4.1.2.6. Radiadores	22
4.2. ACEITES DIELECTRICOS	22
4.2.1. Generalidades	22
4.2.2. Composición química de los aceites dieléctricos	23
4.2.2.1. Hidrocarburos Aromáticos	24
4.2.2.2. Hidrocarburos Parafínicos	24
4.2.2.3. Hidrocarburos Nafténicos.....	25
4.2.3. Propiedades químicas de los aceites dieléctricos.....	26
4.2.3.1. Estabilidad a la oxidación.....	26
4.2.3.2. Contenido de Inhibidor de Oxidación	27

4.2.4.3. Contenido de agua	28
4.2.4.4. Contenido de azufre total y corrosivo	29
4.2.4. Propiedades físicas de los aceites dieléctricos.....	30
4.2.4.1. Viscosidad	30
4.2.4.2. Punto de inflamación.....	30
4.2.4.3. Temperatura.....	30
4.2.4.4. PH.....	31
4.2.4.5. Punto de congelación	31
4.2.4.6. Densidad	31
4.2.4.7. Punto de fluidez	31
4.2.4.8. Punto de anilina.....	32
4.2.4.9. Tensión interfacial.....	32
4.2.4.10. Color	32
4.2.5. Propiedades eléctricas de los aceites dieléctricos	33
4.2.5.1. Conductividad eléctrica	33
4.2.5.2. Rigidez dieléctrica.....	33
4.3. PCB EN ACEITE DIELECTRICOS	34
4.3.1. Bifenilos Policlorados (PCB)	34
4.3.1.1. Propiedades y características	34
4.3.1.2. Clasificación de los PCB's por su concentración	35
4.3.2. Comportamiento ambiental de los PCB's	36
4.3.2.1. Riesgos ambientales	37
4.3.2.2. Parámetros ambientales con posibilidades de contaminación por aceites dieléctricos	37
4.3.2.3. Efectos sobre la salud humana.....	41
4.3.3. Planes de eliminación del PCB.....	42
4.3.4. Estudios sobre Bifenilos Policlorados en el Ecuador	43
4.3.5. Fundamentación legal en el Ecuador	44
4.4. ECOTOXICIDAD EN MODELOS BIOLÓGICOS	45
4.4.1. Ensayos de ecotoxicología In vivo	45
4.4.2. Ensayos de ecotoxicología In vitro	46
4.4.3. Toxicidad en organismos terrestres	46
4.4.4. Toxicidad en organismos acuáticos	46
4.5. ENSAYO DE ECOTOXICIDAD AGUDA OECD 423	47

4.6.	BIOACUMULACIÓN Y BIOMAGNIFICACIÓN.....	48
4.6.1.	Bioacumulación.....	48
4.6.2.	Biomagnificación.....	48
5.	HIPÓTESIS	49
6.	VARIABLES Y SU OPERACIONALIZACIÓN	49
6.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE	49
6.2.	VARIABLE DEPENDIENTE	49
6.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	50
7.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	52
7.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	52
7.2.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	52
7.3.	TÉCNICAS.....	53
7.3.1.	Determinación de parámetros físicos.....	53
7.3.1.1.	PH.....	53
7.3.1.2.	Conductividad eléctrica.....	54
7.3.1.3.	Temperatura.....	55
7.3.2.	Determinación de parámetros químicos.....	56
7.3.2.1.	Procedimientos para Hidrocarburos totales.....	56
7.3.2.2.	Procedimiento para Concentración de PCB	56
7.3.3.	Ensayo de ecotoxicidad aguda OECD 423 con la lombriz de tierra <i>Eisenia Foetida</i>	57
7.3.3.1.	Prueba de sensibilidad (Papel filtro)	57
7.3.3.2.	Prueba de suelo artificial o suelo fértil.....	60
7.3.3.3.	Método Probit	62
7.3.3.4.	Prueba de concentración letal media o CL50	62
7.4.	INSTRUMENTOS	64
7.5.	RECURSOS.....	64
7.5.1.	Humanos.....	64
7.5.2.	Materiales	64
7.5.3.	Tecnológicos.....	65
7.5.4.	Equipos.....	65
7.5.5.	Económicos	65

8.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	66
8.1.	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS.....	66
8.2.	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS DEL ACEITE DIELECTRICO	67
8.3.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE ECOTOXICIDAD EN MODELOS BIOLÓGICOS	69
8.3.1.	Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra <i>Eisenia Foetida</i>	69
8.3.2.	Resultados de la prueba de suelo artificial	72
8.3.3.	Resultados del método Probit	74
8.3.4.	Resultados de la prueba CL50	77
9.	CONCLUSIONES	79
10.	RECOMENDACIONES	81
	PRESUPUESTO.....	82
	CRONOGRAMA	83
	BIBLIOGRAFÍA	84
	ANEXOS.....	90
	GLOSARIO	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de una muestra de un mL de Aceite Dieléctrico.....	24
Tabla 2. Viscosidades de los aceites dieléctricos según su temperatura.....	30
Tabla 3. Color en un aceite dieléctrico según el hidrocarburo predominante	33
Tabla 4. Grado de acidez de la muestra	38
Tabla 5. División de grupos de lombrices para prueba de sensibilidad en Manta	59
Tabla 6. División de grupos de lombrices para prueba de sensibilidad en Portoviejo	60
Tabla 7. División de grupos de lombrices para prueba de suelo artificial en Portoviejo	61
Tabla 8. Resultados de la determinación de los parámetros físicos del suelo	66
Tabla 9. Resultados de la determinación de los parámetros químicos del aceite dieléctrico usado	67
Tabla 10. Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra Eisenia Foetida Manta	69
Tabla 11. Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra Eisenia Foetida Portoviejo	69
Tabla 12. Resultados de la prueba de suelo artificial con la lombriz de tierra Eisenia Foetida.....	72
Tabla 13. Resultados del método Probit para Aceite Usado	74
Tabla 14. Resultados del número Probit para Aceite Usado	74
Tabla 15. Datos para el trazado de regresión lineal	75
Tabla 16. Resultado de Concentración Letal Media	76

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Estructuras básicas de hidrocarburos en aceites dieléctricos.....	26
Gráfico 2. Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra <i>Eisenia Foetida</i> en muestras de aceites dieléctricos de transformadores de la CNEL de la ciudad de Manta.....	70
Gráfico 3. Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra <i>Eisenia Foetida</i> en muestras de aceites dieléctricos de transformadores de la CNEL de la ciudad de Portoviejo	71
Gráfico 4. Resultados de la prueba de suelo artificial con la lombriz de tierra <i>Eisenia Foetida</i>	73
Gráfico 5. Regresión del modelo biológico durante el ensayo.....	75
Gráfico 6. Curva de regresión ajustada.....	76

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Colorimetría para la determinación de PCB por la prueba CL50	64
Ilustración 2. Resultado de la determinación de pH y temperatura	66
Ilustración 3. Resultado de la determinación de Conductividad	67
Ilustración 4. Resultado de la prueba CL50	77
Ilustración 5. Comparación del catálogo colorimétrico para la determinación de PCB por la prueba CL50	77

INTRODUCCIÓN

Los transformadores de la CNEL de la provincia de Manabí y a nivel nacional son utilizados para distribuir energía eléctrica a los locales y hogares de los ciudadanos, gracias a estos equipos es posible la transportación de electricidad a largas distancias abasteciendo así y la mayoría de sectores de la provincia.

Los transformadores funcionan con aceites dieléctricos, que ayudan al equipo a un mejor funcionamiento gracias a su capacidad aislante, refrigerante y gran conductor de la electricidad.

Los aceites dieléctricos son bases nafténicas de bajo punto de fluidez, libres de ceras y sometidas a procesos de refinación de extracción por solventes y de tratamiento con hidrógeno.

En razón de su trabajo, están expuestos a la presencia de aire, altas temperaturas y a la influencia de metales catalizadores como hierro y cobre los cuales tienden a producir en el aceite cambios químicos que resultan en la formación de ácido y lodos. Una vez que el aceite cumple su ciclo dentro del transformador es desechado contaminando el ecosistema.

Los desechos de aceites contienen sustancias toxicas denominados PCB que son los Bifenilos Policlorados, este es un tipo de compuesto hidrocarburo con dos o más átomos de cloro considerado como uno de los doce más tóxicos del planeta.

Diversos estudios sostienen la teoría de que el PCB es uno de los compuestos de los aceites dieléctricos, puede causar cáncer en los animales y seres humanos. Afecta al sistema nervioso, inmunológico, reproductivo y endocrinológico. Esto tras su vertido en el medio ambiente, de esta manera se acumula y se amplifican en los organismos vivos.

Los PCB son resistentes a la degradación, por ello, pueden estar presentes en el aire, agua, suelo y sedimentos. Son compuestos de reconocida toxicidad y persistencia, contienen impurezas como furanos y dioxinas,

Por el efecto negativo que tienen los PCB en los seres vivos se plantea identificar los compuestos químicos que tienen los aceites dieléctricos y su impacto al ecosistema mediante información secundaria.

En el presente trabajo de investigación se realizó una caracterización y evaluación del impacto químico ecotoxicológico de los aceites dieléctricos mediante pruebas de bioensayos en el suelo, en los cuales se va a tener resultados probables que comprueben la toxicidad de los desechos que generan estos aceites provenientes de los transformadores de la CNEL Manabí en el año 2015.

1. Antecedentes y Justificación

La CNEL siglas que significan Corporación Nacional de Electricidad es una empresa pública ecuatoriana dedicada a distribuir el servicio de electricidad a los ciudadanos a nivel nacional. Fue constituida en diciembre del 2008 con la fusión de las 10 empresas encargadas de brindar el servicio a diferentes provincias del país en ese entonces.

La CNEL Manabí es una sociedad anónima formada con recursos públicos cuyo mayor accionista es el estado y en un porcentaje menor organismos regionales como el Consejo Provincial de Manabí y la mayoría de las municipalidades.

La empresa tiene la función de abastecer de energía eléctrica a los habitantes de la provincia, gracias a los 45 transformadores de gran capacidad ubicados en las principales ciudades y sectores, haciendo un total de 400 mV (mega-voltios) instalados para abastecer a toda la provincia.

Cada transformador de 1 mV necesita un volumen de 565 litros de aceite dieléctrico, dependiendo de su capacidad eléctrica puede requerir mayores cantidades de aceite. En Manabí la capacidad del transformador varía según la localidad, teniendo así que los equipos con capacidades mínimas de 0.5 mV están ubicados en los sectores con poca cantidad de habitantes, mientras que, las grandes estaciones como la de Andrés de Vera de la ciudad de Portoviejo y Miraflores de la ciudad de Manta poseen una capacidad de 20 mV.

El uso de aceites dieléctricos en transformadores de potencia, en mediana y alta tensión, es común y un factor clave para la vida útil del mismo. El aceite cumple la función de conductor térmico, pero a la vez debe de mantener sus propiedades eléctricas en mediana y altas tensiones de leves variaciones en la conductividad del fluido resultaría una ruptura por arco eléctrico (por lo que se diferencia de otras aplicaciones).

En el Ecuador, estos aceites dieléctricos se utilizan en todos los transformadores que generan energía eléctrica, el mantenimiento se realiza cada vez que termina la vida útil de este componente que en promedio va de 14 a 15 años.

En la CNEL una vez que el aceite cumple su ciclo de vida no se realiza evaluaciones de toxicidad donde deben determinan los niveles de PCB antes que sean desechados.

La presencia del PCB en los aceites dieléctricos es de aproximadamente el 27% de su contenido total. En el Ecuador se desechan al año alrededor de 20 millones de litros de aceite lo que significa que 5 millones de ese aceite están contaminados con Bifenilos Policlorados

Es escasa la información con respecto al estudio de la evaluación del impacto químico - ecotoxicológico de los desechos de los aceites dieléctricos que contienen PCB en la provincia de Manabí pero si hay estudios realizados en diferentes ciudades a nivel nacional es por ello que se desea realizar esta presente investigación.

La presente investigación se basa en realizar un estudio de evaluación químico-ecotoxicológico de los aceites dieléctricos y su componente tóxico, el PCB, mediante análisis y pruebas realizadas por los autores del trabajo en el Laboratorio de Química y Ecotoxicología de la Universidad Técnica de Manabí con el propósito de que las autoridades pueden tomar acciones de prevención que aporten al uso adecuado de dichos aceites.

2. Planteamiento del problema

En la Constitución Política de Ecuador se incorpora disposiciones del Estado que se constituye de índole ambiental e inicia el desarrollo del Derecho Constitucional Ambiental Ecuatoriano. En el 2004 se une al Convenio de Estocolmo que tiene como objetivo principal proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los Bifenilos Policlorados o PCB's. que esta contenidos en los aceites dieléctricos, además se establecieron las medidas para reducir o eliminar estos contaminantes.

Los desechos generados por el uso de aceite dieléctrico que contienen PCB producen contaminación, al no contar con medidas de valoración y cuantificación del índice de toxicidad de los mismos por parte de los integrantes del ecosistema. Además la contaminación de estos aceites se da por diversas razones dentro de la carcasa del transformador, como por ejemplo: oxidación, filtraciones de agua y desprendimiento de partículas de metal y pintura, que provocan un aumento de la conductividad eléctrica y pérdida en las propiedades de conducción térmica.

2.1. Delimitación del problema

2.1.1. Delimitación Espacial

El contenido de esta problemática es químico ecotoxicológico y los análisis y ensayos se realizarán en los laboratorios de química y ecotoxicología de la Universidad Técnica de Manabí utilizando aceites dieléctricos procedentes de transformadores de la CNEL Manabí en la estación Andrés de Vera de la ciudad de Portoviejo y en la estación Miraflores de la ciudad de Manta.

2.1.2. Delimitación Temporal

El tiempo de desarrollo de esta investigación es de Julio a Octubre del 2015.

2.2. Formulación del problema

¿Se puede evaluar el impacto químico y ecotoxicológico de los aceites dieléctricos provenientes de los transformadores de la CNEL Manabí mediante análisis químicos y ensayos ecotoxicológicos en modelos biológicos?

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar el impacto químico - ecotoxicológico generado por los aceites dieléctricos provenientes de los transformadores de la CNEL Manabí empleando análisis químicos y ensayos de ecotoxicidad en modelos biológicos.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar y caracterizar los compuestos químicos de los aceites dieléctricos mediante información secundaria.
- Caracterizar parámetros químicos en muestras de aceite dieléctrico procedente de transformadores de la CNEL Manabí.
- Comparar parámetros físicos de muestras de suelo artificial sin contaminar y contaminadas por aceites dieléctricos
- Evaluar la toxicidad de los desechos de los aceites dieléctricos mediante ensayos en modelos biológicos.

4. Marco teórico

4.1. Transformadores

Los transformadores eléctricos son equipos responsables de variar la intensidad y el voltaje que proviene del abastecimiento eléctrico que reparte la energía a diversos sectores y comunidades. Gracias a la existencia de estos equipos se pudo lograr distribuir la energía eléctrica a lugares ubicados a largas distancias.

4.1.1. Funcionamiento de los transformadores

El funcionamiento de un transformador es más sencillo de lo que se podría imaginar, su estructura funcional está compuesta por dos arrollamientos debidamente aislados para evitar cortocircuitos eléctricos. Dentro del transformador circula una corriente alterna por uno de los dos arrollamientos generando un campo magnético alterno en el núcleo.

Esta corriente recorre el otro arrollamiento induciendo una fuerza electromotriz interna. La potencia se transmite de un arrollamiento hacia el otro mediante el flujo magnético generado en el núcleo del transformador. El arrollamiento en el que se induce la potencia es llamado primario, mientras que el que la cede se denomina secundario.

Los flujos de corrientes están denominados como:

- Flujo común o útil, es la parte del flujo que atraviesa los dos arrollamientos.
- Flujo de dispersión, es la parte del flujo que se cierra a través del aire.

La potencia que se obtiene de un transformador es menos a la potencia que suministra.

Las pérdidas dentro del transformador se denominan pérdidas en el cobre y en el hierro, la primera consiste en la pérdida en forma de calor que se produce por el efecto joule en la resistencia de los arrollamientos primario y secundario. Y la segunda se da por histéresis y corriente de Foucault en el núcleo del transformador.

4.1.2. Componentes de un transformador

4.1.2.1. Núcleo

El núcleo de los transformadores se compone por láminas finas de hierro magnético al silicio, también son comúnmente llamadas chapas. Para disminuir las vibraciones dentro del transformador el núcleo es asegurado con una estructura prensada, evitando así el sobrecalentamiento dentro del transformador.

4.1.2.2. Devanados

Esta parte del transformador está fabricada en la mayoría de los casos de cobre electrolítico, aunque también puede estar hecho de aluminio, incluso oro y plata pero la mayoría de fabricantes prefieren el primer material nombrado por la eficiencia y las ventajas económicas que representa.

En lo que respecta a su forma, la mayoría son redondas, también pueden ser rectangulares, las soldaduras son de plata, en los transformadores de menor tamaño, de baja tensión, se usa hilo redondo, en los de mayor tamaño, de alta tensión, hilos rectangulares.

4.1.2.3. Herrajes

Esta parte del transformador permite su conexión con los cables, por lo general están hechos de cobre.

4.1.2.4. Pintura

Esta característica depende del sitio en donde se ubica el transformador, es decir, si se encuentran en lugares salinos se utilizan pinturas epóxica, la pintura más común en estos equipos son los esmaltes sintéticos para el acabado y las anticorrosivas para evitar la corrosión prematura. Antes de ser pintados, los equipos son limpiados mediante chorro de arena.

4.1.2.5. Empaques

Los empaques son utilizados para asegurar el sellado entre el tanque y los herrajes. El material con el que están fabricados es el caucho sintético, deben poseer

alta resistividad ante bases y ácidos para evitar la corrosión que desencadene en fuga de aceite, deben tener resistencia a la temperatura y tener un tiempo de vida útil prolongado.

4.1.2.6. Radiadores

Los radiadores se utilizan cuando la superficie del tanque no es suficiente para disipar el calor o cuando se generan pérdidas de energía en el transformador. Son planos y vienen soldados al tanque.

Todas estas partes conforman un transformador pero para su funcionamiento es indispensable que contenga aceite dieléctrico.

4.2. Aceites Dieléctricos

4.2.1. Generalidades

Los aceites dieléctricos son sustancias altamente refinadas utilizadas como aislantes en transformadores debido a su baja conductividad eléctrica. Están conformadas por compuestos orgánicos, en la mayoría de su estructura hay presencia de naftenos y en menores porcentajes hidrocarburos aromáticos y parafínicos. Presenta características físicas muy singulares, como una baja viscosidad, punto de fluidez bajo, y ausencia de cera.

Los aceites dieléctricos al actuar como aislante deben estar necesariamente libre de impurezas y de presencia de contenido de agua debido a que esta puede ocasionar baja rigidez eléctrica.

Poseen una alta resistividad a la oxidación y alta estabilidad química permitiéndoles funcionar por periodos largos de tiempo en transformadores de potencia y demás equipos utilizados para fines similares. También tienen propiedades refrigerantes significando una gran ventaja para facilitar la transferencia de calor que se genera en el transformador.

Estos aceites están aptos para ser utilizados en:

- Transformadores de potencia y de distribución.
- Condensadores.

- Interruptores de potencia en baños de aceite.
- Como un medio aislante en las bobinas de arranque para automóviles.
- Como aceite dieléctrico en general.

Los aceites convencionales utilizados en transformadores de potencia y distribución de energía eléctrica, tienen una composición en un porcentaje mayor al 99% de una base mineral y 0.2 y 0.5% de un aditivo.

Un aceite dieléctrico posee por lo general una base nafténica, gracias a este tipo de hidrocarburos los aceites presentan propiedades adecuadas para su uso en transformadores.

Varias de estas propiedades son:

- Aislante térmico, evita que haya pérdidas de calor en el sistema
- Alta resistencia a la oxidación, ayuda a que el equipo no sufra de oxidación en sus partes metálicas y duren más tiempo de lo habitual.
- Alta estabilidad química, Importante para que no haya problemas de estabilidad termodinámica dentro del sistema.

Además de lo mencionado, los aceites dieléctricos tienen buenas propiedades refrigerantes que ayudan a la transferencia de calor que se genera dentro del sistema o equipo.

Un transformador de potencia requiere de un fluido de alta calidad, por lo que el aceite nafténico es el más utilizado debido a que posee mejores propiedades que el de tipo parafínico, ya que se comporta muy bien a bajas temperaturas (-40°C), índice de viscosidad baja, buena estabilidad a la oxidación y baja tendencia a la formación de gases. (Arteno 2011)

4.2.2. Composición química de los aceites dieléctricos

Los aceites dieléctricos presentan una composición química conformada por los siguientes hidrocarburos y sus respectivas proporciones:

- Hidrocarburos Aromáticos: 4 a 7%
- Hidrocarburos Parafínicos: 45 a 55%

- Hidrocarburos Nafténicos: 50 a 60%.

Tabla 1. Composición de una muestra de un mL de Aceite Dieléctrico

Composición de una muestra de un mL de Aceite Dieléctrico			
Hidrocarburo	Porcentaje (%)	Volumen (mL)	PPM o mg/L
Aromático	4 – 7	± 0.04	± 0.044
Isoparafínicos	45 – 55	± 0.46	± 0.365
Nafteno	50 – 60	± 0.50	± 0.430

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

4.2.2.1. Hidrocarburos Aromáticos

Este tipo de hidrocarburos tienen estructura de cadenas cíclicas, son denominados así por el aroma característico que poseen la mayoría de ellos. Estos hidrocarburos son derivados del benceno, porque su estructura se encuentra presente en todos los compuestos aromáticos.

Los hidrocarburos aromáticos presentan las siguientes características:

Bajo coeficiente de expansión.- Esta característica dificulta la disipación de calor ayudando al enfriamiento del sistema cuando la temperatura aumenta para evitar problemas de sobrecalentamiento.

Baja estabilidad a la oxidación.- Brindan una baja estabilidad a la oxidación de partes metálicas dentro del equipo o transformador, además forman compuestos químicos estables sin presentar posteriores reacciones oxidantes porque tienen la función de capturar el oxígeno.

Alto poder de solvencia frente resinas y lacas.- Son solventes eficientes de lacas y resinas que pueden intervenir en la función de aislamiento de los devanados dentro del transformador.

4.2.2.2. Hidrocarburos Parafínicos

Es un tipo de hidrocarburo muy abundante en la naturaleza, son compuestos orgánicos saturados de cadena lineal unidos por enlaces sencillos normales, también son llamados alcanos. Los gases del petróleo se componen únicamente de este tipo

de compuestos y se incluyen el metano, etano, hexano y hexadecano siendo los más ligeros que existen.

Los hidrocarburos parafínicos con cuatro o menos átomos de carbono son gaseosos a la temperatura ordinaria. Entre cinco y quince son líquidos, y por encima de dieciséis átomos de carbono son sólidos con la apariencia de un sólido de aspecto cereo y constituyen el componente principal de las llamadas parafinas sólidas de petróleo. (Roldán 2010)

Los hidrocarburos parafínicos presentan las siguientes características:

Punto de fluidez menor que los parafínicos.- Esta característica es importante debido a que permiten que el aceite fluya y recorra todo el sistema mejorando la protección del equipo.

Menor tendencia a la formación de gases.- Al utilizarlos en transformadores presenta una gran ventaja ya que no existirá formación de gases hidrocarburos que afecten al funcionamiento del mismo.

Buena estabilidad a la oxidación.- Es estable ante la oxidación lo que representa una gran ventaja para evitar problemas de desgaste metálico y formación de compuestos oxigenados.

4.2.2.3. Hidrocarburos Nafténicos

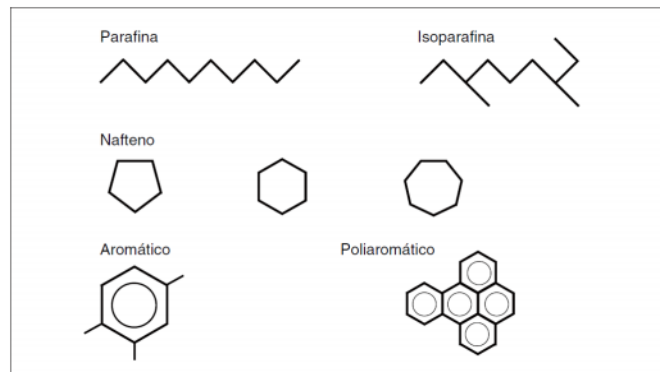
Los hidrocarburos nafténicos son compuestos orgánicos cuya estructura posee cadenas cerradas y se las denomina con el prefijo “ciclo”. Presentan las siguientes características:

- Alta capacidad de fluidez a temperaturas bajas
- Estables ante la oxidación.
- Coeficiente de expansión alto
- Tensión interfacial alta.

El tiempo de vida útil de los aceites dieléctricos es muy elevado, en ocasiones puede tener una duración igual al del transformador por lo cual el equipo no necesitara cambio del aceite.

Sin embargo, en transformadores que operan bajo condiciones severas, el problema de la oxidación del aceite puede ocurrir en un tiempo más corto. (Gil 2012)

Gráfico 1. Estructuras básicas de hidrocarburos en aceites dieléctricos



Fuente: Siemens AG, 2010

4.2.3. Propiedades químicas de los aceites dieléctricos

4.2.3.1. Estabilidad a la oxidación

Una de las propiedades químicas que poseen los aceites dieléctricos y representan una gran ventaja y he ahí su empleo en transformadores es la capacidad de resistencia y estabilidad a la oxidación.

Los aceites dieléctricos están en exposición constante de la presencia de aire, metales (hierro, cobre) y elevadas temperaturas, que inciden para que se formen nuevos componentes químicos, lodos, ácidos, además facilitan la corrosión.

El problema con los ácidos que se pueden formar es que corroen la estructura del transformador reduciendo su capacidad de aislamiento térmico y eléctrico. Los lodos por su parte interfieren en la transferencia del calor, reduciendo la capacidad de enfriamiento y provocando posibles sobrecalentamientos, esta también produce pérdidas de potencial eléctrico.

Para evitar estos inconvenientes se requiere de la presencia de aceites debidamente refinados que tengan resistencia a la oxidación y alta estabilidad ante las eventuales reacciones químicas que puedan suscitarse dentro del transformador.

Gracias a estos aceites se puede estimar que la vida útil de los equipos aumenta y mejore el funcionamiento de los mismos.

La determinación de la estabilidad a la oxidación en un aceite dieléctrico se puede hacer por dos métodos; el primero indicada por la norma ASTM D 2440 por la presencia de lodos medidos en % de masa, esta no debe exceder los límites entre 0.05 a 0.10 % t con un número de neutralización no menor a 0.15 y no mayor a 0.30 mg de KOH/g y la segunda por bomba rotativa que va de 195 a 280 minutos indicada por la norma ASTM D 2112

4.2.3.2. Contenido de Inhibidor de Oxidación

El aceite dieléctrico o aceite para transformadores es usado como inhibidor contra la oxidación, es recomendable la utilización de un inhibidor de oxidación en el aceite cuando se emplea en equipos o sistemas que no poseen esa característica.

Para determinar si el aceite necesita mantenimiento se ha de evidenciar en el agotamiento del inhibidor, en la mayoría de los casos el aceite no empezará a envejecer por agentes oxidantes si existe la presencia de una cantidad significativa de inhibidor de oxidación, de allí radica la importancia del uso de esta característica.

Existen dos métodos de prueba de inhibidor de oxidación estos son:

Método D - 2668.- Este método se utiliza para determinar contenido de inhibidor de oxidación utilizando un espectrofotómetro infrarrojo.

Método D - 4768.- Este método es empleado también para determinar el contenido de inhibidor de oxidación con la diferencia que se realiza por cromatografía de gases.

Los dos métodos determinan resultados similares, es decir, no afecta prácticamente en nada cuando se busca obtener los resultados. La selección del método a emplear va a depender del equipo con el que cuente el laboratorio y la disponibilidad del tiempo.

4.2.4.3. Contenido de agua

El contenido de agua en cualquier compuesto derivado del petróleo es un punto crítico que se debe controlar, Al realizar las respectivas pruebas no se debe exceder del 0.5 %, esta cantidad va a depender de la norma a la que se rija la empresa que distribuya el producto, pueden ser más estrictas y exigir menores cantidad de agua en las muestras analizadas.

El origen del contenido de agua en una muestra de aceite dieléctrico puede variar, existen varios factores como el aire atmosférico o la degradación de los materiales aislantes.

Los niveles de presencia de agua considerados bajos no afecta al aceite en su aspecto. El agua disuelta afecta a las propiedades dieléctricas, para eliminarla se acude al empleo de métodos y técnicas de tratamiento químico, ya que esta afecta a las propiedades dieléctricas del aceite.

Es denominado valor de saturación cuando el contenido del agua supera un nivel establecido, si el agua no está en forma diluida o mejor conocida como forma de solución aparece en forma de turbiedad o también denominada agua libre.

EL agua libre provoca una disminución de las propiedades dieléctricas y disminuye la resistividad a la oxidación y la estabilidad química porque puede reaccionar con otros componentes provocando inconvenientes dentro del sistema en el cual el aceite es utilizado.

Otro de los factores provocados por la presencia del agua en el aceite es la disipación dieléctrica que afecta significativamente a la función principal del aceite dieléctrico.

El contenido de agua en una muestra de aceite dieléctrico de estar en rangos de 12 a 35 ppm según indica la norma ASTM D-1533 que presenta además el método para la cuantificación de presencia contenido de agua en la muestra.

4.2.4.4. Contenido de azufre total y corrosivo

El azufre es un elemento corrosivo tiene su origen natural del petróleo crudo por lo que casi todos los hidrocarburos contienen un porcentaje de azufre, dicho contenido varia dependientemente del tipo de crudo y del lugar de extracción. Mientras más pesado sea un combustible más alto será el contenido de azufre ya que influye directamente en este parámetro.

Los aceites dieléctricos deben tener un bajo contenido de azufre ya que como se lo mencionó anteriormente tiene cualidades corrosivas que acortan la vida del equipo.

Los derivados del petróleo varían el porcentaje de azufre según la calidad del crudo, que por lo general los combustibles pesados contienen mayor cantidad y los livianos contienen menor cantidad, ya que en éste último se puede eliminar en el proceso de refinación. (Salazar 2013)

Según Sea Marconi en su web manifiesta que las investigaciones sobre la presencia de azufre corrosivo en aceites dieléctricos demostraron que estos últimos contenían la molécula de los disulfuros de dibencilo o mejor conocidos por sus siglas DBDS.

El DBDS es un aditivo que se agrega al aceite con la finalidad de mejorar la estabilidad en la oxidación, debilitados bajo este punto de vista en fase de refinación. El añadido de este componente no es declarado.

Actualmente se sabe que el DBDS tiende a combinarse con el cobre presente en el transformador formando sulfuro de cobre; este compuesto se deposita sobre las superficies de cobre, material de los bobinados, de forma similar a la herrumbre. (Sea Marconi 2012)

Para determinar los niveles de azufre corrosivo en una muestra de aceite dieléctrico se utiliza la norma ASTM D-1275. La norma indica que el resultado idóneo es el de la no presencia de azufre corrosivo en la muestra analizada.

4.2.4. Propiedades físicas de los aceites dieléctricos

4.2.4.1. Viscosidad

En lo que se refiere a este parámetro los aceites dieléctricos presentan una viscosidad baja, gracias a este aspecto se facilita la disipación de calor que genera el transformador.

El método ASTM D – 445 o D – 88 establece los niveles de viscosidad máxima para aceites dieléctricos a diferentes temperaturas, estas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Viscosidades de los aceites dieléctricos según su temperatura

Temperatura °C	Viscosidad cSt
100	3
40	12
0	76

Fuente: Brettis.com (extraída el 13 de marzo del 2015)

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

4.2.4.2. Punto de inflamación

El punto de inflamación **es** definido como la temperatura mínima a la cual el aceite dieléctrico empieza a emitir vapores suficientes para formar una mezcla explosiva al unirse con el oxígeno del aire en presencia de una llama.

El de inflamación los aceites dieléctricos se ha fijado con un valor mínimo de 145 o C aunque se estima que mientras más alta sea la temperatura del punto de inflamación será mejor y más segura su uso en interruptores de potencia y transformadores. (Gil 2012)

4.2.4.3. Temperatura

La determinación de la temperatura en un aceite dieléctrico se puede realizar con un termómetro de mercurio o un equipo multiparámetro ya que actualmente todos traen la medición temperatura automáticamente, se recomienda realizarlo de modo In-situ para obtener una lectura precisa.

Este parámetro afecta fundamentalmente los sistemas de tratamiento biológico de las aguas debido a su efecto sobre el metabolismo bacterial, también afecta la solubilidad de los gases, lo cual es muy importante que un aumento de la misma, disminuya la solubilidad de oxígeno en el agua, desfavorecidos la aireación del sistema por otro lado la temperatura afecta la velocidad de sedimentación de los sólidos.

4.2.4.4. PH

El pH es definido como la medida del potencial eléctrico creado en la membrana de un electrodo de vidrio que está en función de la actividad de iones de hidrógeno a ambos lados de la membrana.

La determinación del pH en una muestra de aceite dieléctrico se realiza con el equipo pH metro previamente se debe realizar la preparación de la solución patrón de ftalato ácido de potasio. Por su composición clorada posee un pH alcalino entre 7.5 y 9.

4.2.4.5. Punto de congelación

El punto de congelación de un aceite dieléctrico y de todo líquido en general es la temperatura en la cual se solidifica debido a una reducción de energía. El proceso inverso es llamado punto de fusión. En estos aceites va de desde -25 a -50°C.

4.2.4.6. Densidad

La densidad relativa en los aceites dieléctrica es la relación entre la masa y el volumen de este. Los valores de densidad relativa van desde 0.84 a 0.91 se supera el límite máximo es síntoma de que se debe hacer una revisión y determinación de agentes contaminantes.

4.2.4.7. Punto de fluidez

Punto de fluidez es la temperatura en la cual el aceite dieléctrico deja de fluir mientras es sometido a un proceso de enfriamiento progresivo, el punto de fluidez de estos aceites suele ser bajo.

Un punto de fluidez igual o mayor que 0 °C es indicador de presencia de hidrocarburos parafínicos, si es menor que -10 °C indica la presencia de hidrocarburos isoparafínicos.

“Las fracciones de hidrocarburos nafténicos tienen puntos de fluidez entre -20 a -35oC y las fracciones de hidrocarburos aromáticos llegan a tener puntos de fluidez del orden de los -40 a -60oC.” (Gil 2012)

4.2.4.8. Punto de anilina

El punto de anilina es la temperatura a la cual el aceite dieléctrico se empieza a disolver en un volumen similar de anilina. Este parámetro de calidad es determinado con el propósito de identificar si posee o no un alto contenido de hidrocarburos aromáticos mediante la disolución de la anilina.

Temperaturas de disolución entre 78 y 86oC corresponden a un buen dieléctrico. El punto de anilina aceptado para aceites dieléctricos, evaluado mediante el método ASTM D-611, es de 63 a 84oC. (Gil 2012)

4.2.4.9. Tensión interfacial

La tensión interfacial es la interface o superficie de contacto entre dos líquidos insolubles, es la característica del aceite que permite identificar la capacidad de solubilidad de este en otra sustancia e incluso ayuda a conocer la viscosidad.

La tensión interfacial de un aceite dieléctrico puede ser modificada cuando existen varios compuestos que se forman de la descomposición de estos, estos componentes son solubles tanto en agua como en aceite por esa razón causan un incremento en la humedad de saturación contribuyendo a su capacidad de conducción eléctrica. La tensión interfacial mínima aceptada para aceites dieléctricos, evaluada por el método ASTM D-971, es de 40 dinas/cm. (Gil 2012)

4.2.4.10. Color

En lo que respecta al color de un aceite dieléctrico este va a depender de los tipos de hidrocarburos que predominan en su composición. El color se determina mediante el método ASTM D- 1500. En la siguiente tabla se detallan los

hidrocarburos presentes en una mezcla de un aceite dieléctrico y el color predominante que pueden poseer.

Tabla 3. Color en un aceite dieléctrico según el hidrocarburo predominante

Tipo de hidrocarburo	Color predominante
Parafínicos	Transparente a blanco
Nafténicos	Amarillo claro a amarillo verdoso
Aromáticos	Amarillo rojizo a marrón oscuro

Fuente: Doria Serrano, María del Carmen, Jorge Ibañez Cornejo, y Rosa María Mainero Mancera. “Determinación de la acidez del suelo” 2009

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

4.2.5. Propiedades eléctricas de los aceites dieléctricos

4.2.5.1. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la propiedad que poseen los aceites dieléctricos que permite servir como conductor de la electricidad dentro del transformador, mientras mayor sea la temperatura mejor será su capacidad conductora.

Cuando la temperatura dentro del sistema es mayor se incrementa la conductividad esto se debe al aumento de la actividad de los iones producida por la disminución de la viscosidad.

4.2.5.2. Rigidez dieléctrica

La rigidez dieléctrica o rigidez electrostática es valor límite de la intensidad del campo eléctrico en el cual un material pierde su propiedad aisladora y pasa a ser conductor. (Jimenez 2010)

La rigidez dieléctrica se ve afectada cuando aumenta la presión, es decir, aumenta de forma proporcional, además se encarga de eliminar los gases de la vaporización de líquidos.

La conductividad eléctrica en corriente continua influye en el factor de potencia a 50 Hz que está comprendido entre 0.0001 y 0.01. Cada intervalo de 10 °C el valor del factor se va duplicando

4.3. PCB en Aceite dieléctricos

Las concentraciones de PCB en el aceite dieléctrico pueden variar considerablemente. Según Zambrano García (2007) en el Ecuador en base a estudios anteriores se obtuvo un promedio de alrededor de 27 % de PCB en los aceites de transformadores.

4.3.1. Bifenilos Policlorados (PCB)

Estos compuestos son de tipo orgánico conformados por una cantidad de 2 a 10 átomos de cloro enlazados a Bifenilos, también son llamados compuestos organoclorados. Por su parte, los Bifenilos están conformados por dos anillos benceno, al ser unidos con átomos de cloro se convierte en un componente altamente tóxico.

Los PCB pertenecen a una familia de más de 200 compuestos químicos. A nivel industrial se utiliza en equipos de transmisión eléctrica o aquellos que trabajan con elevadas temperaturas, esto se debe gracias a sus propiedades aislantes.

Los Bifenilos Policlorados están dentro de la lista de los compuestos más tóxicos del planeta, en la década de los 70 se pudo determinar que este compuesto orgánico causaba problemas en la salud de las personas y animales, y eventualmente se evidenciaban daños al ecosistema expuestos a este.

Los PCB son compuestos de reconocida toxicidad y persistencia, contienen impurezas como furanos y dioxinas, es de toxicidad alta aunque su contenido puede ser de trazas. Se forman por cloración del Bifenilo electrofílico con gas de cloro.

Para efectuar un análisis de Bifenilos Policlorados se han desarrollado varios métodos, pero el más utilizado en la actualidad es el detector de captura de electrones, este es capaz de capturar electrones, principalmente de compuestos halogenados.

4.3.1.1. Propiedades y características

Los bifenilos policlorados (PCBs) son una familia de compuestos químicos de los llamados organoclorados. Su fórmula química es $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$, donde n es

el número de átomos de Cl que varía de 1 a 10. La familia incluye todos los compuestos con estructura de bifenilo y que están clorados en un grado variable. (Tejedor 2010)

El PCB no posee sabor ni olor, presentan una coloración clara de tono amarillo, tienen una viscosidad elevada. Los Bifenilos Policlorados presentan las siguientes características físicas y químicas:

- Masa molecular relativa de entre 189 a 499 g/mol
- Densidad de 1.2 a 1.6 g/cm³
- Punto de ebullición de 320 a 420 °C
- Presión de vapor 0.2 a 1.33 Pa
- Solubilidad.- Son ligeramente solubles en agua, más bien liposolubles, se disuelven en la mayoría de los solventes orgánicos como el hexano.
- Hidrofóbicos.- En agua son poco misibles lo que los hace hidrofóbicos
- Lipofílicos.- Alto coeficiente de partición octanol agua.
- Alta resistencia al calor.- Son estables hasta los 200°C se empiezan a descomponer entre 200°C y 450°C, con evaporación de Dioxinas y Dibenzofuranos
- Baja volatilidad.- Poseen un punto de inflamación entre 450 °C y 1000 °C lo que las hacen tener una volatilidad muy baja y una capacidad de combustión reducida.
- Alta resistencia a la oxidación ácidos y bases.
- No corrosivos
- Elevada constante dieléctrica
- Baja polaridad
- Alta viscosidad
- Alta estabilidad química y térmica

4.3.1.2. Clasificación de los PCB's por su concentración

Es fundamental e importante clasificar los PCB's según su concentración porque así se tomaran las medidas adecuadas para su eliminación. La clasificación por concentración en partes por millón (ppm) establecida en el Ecuador es la siguiente:

- < 5 ppm = Es considerada sustancia “Libre de PCB’s”.
- 500 ppm = Es considerada sustancia “Pura de PCB’s”.
- 50 a 500 ppm = Es considerada sustancia contaminada.
- 5 a 50 ppm = Es considerada sustancia posiblemente contaminada.

Según la clasificación de la concentración presentada los transformadores o equipos con aceites dieléctricos que tengan una cantidad menor a 50 ppm son considerados como materiales libres de PCB’s.

En otros países como Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Suiza, entre otros han establecido que los equipos cuyos residuos de aceite que posean más de 50 ppm de PCB deberán ser manipulados diferente a los otros, deben recibir un manejo especial con el afán de evitar contaminación. Deben cumplir con disposiciones y normativas de tratamiento, almacenamiento y desecho.

4.3.2. Comportamiento ambiental de los PCB’s

En lo que respecta al comportamiento de los PCB’s en el medio ambiente, estos tienen la capacidad de transportarse a largas distancias debido a sus propiedades físicas y químicas. Se distribuyen en el medio ambiente con facilidad.

Uno de los factores que determinan el comportamiento y las propiedades biológicas del PCB es la posición y número de átomos de cloro, que van de 1 a 10. Otro de los compuestos presentes en los PCB’s son los dibenzofuranos Policlorados también conocidos como DFPC’s y cuarterfenilos clorados, este último está presente en forma de impureza en concentraciones aproximadas a 40 mg/kg. “En casos de incendios accidentales y durante la incineración se pueden encontrar dibenzo-p-dioxinas policloradas DDPCs”. (Orellana 2006)

Las propiedades físicas de mayor importancia son la solubilidad en agua, la presión de vapor (P_v), la constante de la ley de Henry (H), el coeficiente de partición octanol-agua (K_{ow}), y el coeficiente de partición carbono orgánico-agua (K_{oc}). La distribución medioambiental puede ser estimada con las variables P_v , H, K_{oc} and K_{ow} (Antolín 2011)

4.3.2.1. Riesgos ambientales

Las características de los PCB's los convierten en una amenaza para el medio ambiente. Por la alta estabilidad y resistencia a la descomposición biológica o química permanece en el ecosistema de tal manera que se acumula en los seres vivos ocasionando serios efectos de toxicidad en estos.

Por ello es considerado como "contaminante orgánico persistente" y se incluye en la "docena sucia" de los doce contaminantes más peligrosos del planeta. (Ambientum 2003)

En lagos, lagunas y ríos, los PCB's pueden adherirse a sedimentos en los que pueden prevalecer por un amplio periodo de tiempo antes de llegar a contaminar el aire y el agua. La nieve y la lluvia sirven como medio de transporte para este compuesto llegando del aire al suelo por acción de la gravedad.

En el mar se pueden hallar contenidos más altos de PCB dependiendo de la cercanía de zonas industriales costeras. Mientras tanto que en el aire se descomponen por efecto indirecto de la luz del sol.

Para que la cantidad inicial se descomponga es necesario un tiempo considerable aunque puede variar de días a meses dependiendo de la cantidad de PCB y el tipo.

La descomposición en el agua tarda más tiempo y se puede dar por efectos de la luz solar o microorganismo que consumen estas sustancias, estos organismos pueden llegar a ser muy útiles para futuros estudios sobre biorremediación de agua contaminada por PCB, así como también del suelo.

4.3.2.2. Parámetros ambientales con posibilidades de contaminación por aceites dieléctricos

1) Potencial de Acidificación (AP)

Es la disminución en la capacidad de neutralización de un ácido o el incremento en la capacidad de neutralización de bases. Los suelos pueden ir desde un pH de 3 denominados suelos de sulfato ácidos a un pH de 12 denominados suelos

alcalinos. Los aceites dieléctricos al entrar en contacto con el suelo en grandes cantidades pueden variar el pH haciéndolo más ácido.

De acuerdo con el valor de pH los suelos se clasifican en las siguientes categorías:

Tabla 4. Grado de acidez de la muestra

Grado de acidez de la muestra	pH
Extremadamente ácido	< 4.5
Muy ácido	4.6 – 5.1
Ácido	5.2 – 5.6
Moderadamente ácido	5.7 – 6.1
Ligeramente ácido	6.2 – 6.6
Neutro	6.7 – 7.4
Ligeramente alcalino	7.5 – 7.9
Moderadamente alcalino	8 – 8.4
Muy alcalino	8.5 – 8.9
Extremadamente alcalino	> 9

Fuente: Doria Serrano, María del Carmen, Jorge Ibañez Cornejo, y Rosa María Mainero Mancera. “Determinación de la acidez del suelo” 2009

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

2) Agotamiento Capa de Ozono (ODP)

Otro efecto que puede causar la presencia de los PCB en la atmósfera es el agotamiento de la capa de ozono causando una mayor entrada de rayos Ultravioletas a la superficie de la tierra, Este paso de rayos UV traen consigo efectos nocivos sobre los seres vivos. La determinación de este parámetro está definido en diferentes gases, cada Kg de clorofluorocarbono equivale a un Kg de emisión.

Los contaminantes clorofluorocarbonos son de origen antropogénico y su determinación se los realiza por medio de un equipo de cromatografía de gases con detector de espectrometría de masa en un rango de 0,3% a 10% peso vs. peso.

3) Agotamiento Recursos Abióticos (ADF)

Los recursos abióticos o recursos inertes son aquellos que conforman el medio ambiente como el agua o la tierra, para los seres vivos desarrollarse en un entorno libre de contaminación es importante. Los contaminantes tóxicos agotan los recursos abióticos y por lo tanto afectan la existencia de seres bióticos en la naturaleza.

El calentamiento global y la acidificación son categorías de impacto que resaltan del agotamiento de recursos abióticos por los elementos subjetivos que interfieren en ellas. (Niembro García y González Benítez 2008)

Las categorías de impacto de recursos abióticos se pueden clasificar según su fundamento en cuatro tipos, estas son:

- Basado de energía o en masa,
- Basado el uso de los depósitos,
- Basado en las consecuencias futuras de las extracciones del recurso,
- Basado en la energía consumida o la entropía producida. (Niembro García y González Benítez 2008)

4) Calentamiento Global (GWP)

El calentamiento global es uno de los problemas modernos más discutidos actualmente, consiste en la absorción por parte de la Tierra de la radiación electromagnética emitida por el sol afectando la atmósfera, el suelo, los océanos y la vida del planeta. El calentamiento global es medido en razón de radiación de infrarrojo térmico.

La radiación de infrarrojo térmico es absorbida por los gases que existen en la atmósfera y provoca el calentamiento paulatino de la tierra, este fenómeno ha sido denominado efecto invernadero.

Los gases que participan en este fenómeno son principalmente el vapor de agua, CO₂ y otros gases como CH₄, N₂O y CFCs. La acción humana ha provocado un incremento de las emisiones de estos gases, lo que lleva o puede llevar a un sobrecalentamiento del planeta y por lo tanto a una alteración de sus condiciones. (Muro Pereg y Fernández de la Hoz 2013)

5) Ecotoxicidad Agua Dulce (FAETP)

La ecotoxicidad en cuerpos de agua dulce están referidas a los efectos que consecuentes de las emisiones de un contaminante tóxico en este ecosistema, además del agua dulce también se puede encontrar este problema en agua salada pero debido a las inmensas masas de esta últimas en ocasiones no son tan incidentes, este problema también se da en el suelo y el aire.

“Los factores de caracterización son calculados describiendo el destino, la exposición y los efectos de las sustancias tóxicas para un horizonte de tiempo infinito, expresados como equivalentes de 1,4-diclorobenceno / kg de emisiones” (Castaño Orozco 2013).

6) Ecotoxicidad Terrestre (TAETP)

La ecotoxicidad terrestre por su parte hace referencia a los impactos de componentes tóxicos en el suelo afectando la vida en ese hábitat natural.

“Los factores de caracterización son calculados describiendo el destino, la exposición y los efectos de las sustancias tóxicas para un horizonte de tiempo infinito, expresado como equivalentes de 1,4-diclorobenceno / kg de emisiones” (Castaño Orozco 2013).

Para determinar los niveles de ecotoxicidad terrestre se emplea un modelo biológico, por lo general se utiliza un ensayo de toxicidad aguda con la lombriz de tierra *Eisenia Foetida*.

7) Ecotoxicidad Marina (MAETP)

Como ya se había mencionado anteriormente la ecotoxicidad marina o en agua salada consiste en la contaminación de este ecosistema por parte de componentes tóxicos afectando significativamente la vida en ese hábitat natural. Los niveles de ecotoxicidad marina se determinan con un ensayo de toxicidad aguda empleando modelos biológicos para su análisis.

8) Potencial Eutrofización (EP)

La eutrofización es producida cuando existe un exceso de nitrógeno y fósforo, estos se acumulan en un ecosistema acuático, ocasionando el aumento de la producción de biomasa.

El incremento de algas en un ecosistema acuático ocasiona la disminución del nivel de oxígeno disuelto en el agua, debido a que mientras más algas existan mayor será la demanda del contenido de este elemento en dicho cuerpo de agua. El oxígeno consumido es determinado como Demanda Bioquímica de Oxígeno o DBO.

El consumo de oxígeno puede llegar a ocasionar que el agua obtenga condiciones de tipo anaeróbicas que desencadenarían en la descomposición de la materia orgánica por bacterias anaerobias liberando gases sulfuros, metano, entre otros. Si se llega a reducir significativamente el oxígeno en el agua todas las vidas aeróbicas desaparecerán.

En el verano es donde aumenta la eutrofización debido a sus condiciones climáticas favorables, el impacto que ocasiona este parámetro afecta a la salud humana y el medio ambiente. Las unidades de Potencial de eutrofización se miden en Kg de PO₃₋₄.

9) Toxicidad Humana (HTP)

Es la toxicidad referida en el medio ambiente que afecta a los seres humanos principalmente, provocando perjuicios en la salud de las personas y en los seres vivos habitantes del mismo entorno.

“Los factores de caracterización se calculan describiendo el destino, la exposición y los efectos de sustancias tóxicas para un horizonte de tiempo infinito, expresados como equivalentes de 1,4-diclorobenceno / kg emisión” (Castaño Orozco 2013).

4.3.2.3. Efectos sobre la salud humana

Las reacciones de estas sustancias sobre la salud humana son diversas, produciéndose el contacto con el cuerpo humano a través de la piel, por la inhalación

de vapores o por la ingestión de los alimentos que contengan residuos del compuesto. (Ambientum 2003)

Los efectos en la salud por causa de una exposición a Bifenilos Policlorados pueden ser letales. Puede ocasionar daños irreversibles en el hígado y otros órganos del cuerpo, por ser carcinogénico incrementa los riesgos de padecimiento de cáncer a futuro, defectos en recién nacidos, debilitamiento del sistema inmunológico, problemas de infertilidad o reproductivos, entre otros.

Los PCB son muy tóxicos e inciden negativamente sobre la salud de los seres humanos quienes están expuestos a este contaminante principalmente a través de aire, agua potable y la comida.

Es precisamente el consumo de alimentos contaminados la vía principal de contacto de las personas con los PCB. Alimentos como el pescado, carne y aves de corral son los que al ser consumidos por el hombre ocasionan serios riesgos de intoxicación.

Los niveles bajos de PCB que están presente en el aire se puede encontrar ya sea en el interior o exterior de las instalaciones donde labora el personal; por lo general en el proceso de eliminación del PCB las personas se encuentran expuestas a elevados niveles de dicho componente. (Greenfacts s.f.)

La concentración de PCB en la población ya nacidas provoca erupciones cutáneas y en las madres embarazadas afecta directo al desarrollo del sistema nervioso del niño no nacido. En los países de Norteamérica se ha investigado que ciertos niños han nacido con un promedio 5% a 7% de disminución intelectual a causa de la difusión masiva de PCB. (Arrarían 2014)

4.3.3. Planes de eliminación del PCB

La eliminación del PCB en los equipos y transformadores es una situación de mucha importancia, desde hace varias décadas se ha venido estudiando esta posibilidad a consecuencia de los riesgos en la salud humana y el impacto ambiental que ha tenido su presencia en el ecosistema. En muchos países se ha prohibido su producción y venta

Con el objetivo de establecer medidas para la eliminación de PCB y la descontaminación de los aparatos que los contengan, de tal modo que se prevengan y eviten riesgos al medio ambiente y a la salud humana, se aprueba el Real Decreto 1.378/1.999, que complementa a la Ley de Residuos 10/1.998 e incorpora a la legislación española la Directiva 96/59/CE del Consejo, relativa a la eliminación de PCB y PCT, estableciendo las “medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterfenilos y aparatos que los contengan”. (Ambientum 2003)

“En la actualidad está prohibida su fabricación y comercialización por sus graves riesgos sobre el medio ambiente y la salud, y sólo está permitido seguir utilizando algunos transformadores y condensadores con PCB hasta el final de su vida útil” (Daphnia 2003).

4.3.4. Estudios sobre Bifenilos Policlorados en el Ecuador

En el Ecuador no se han registrado una cantidad considerable de estudios acerca de los Bifenilos Policlorados y su impacto en el medio ambiente los más destacados han sido los realizados por el Ministerio del Ambiente del Ecuador. En los que destacan dos estudios.

1) En el primero:

El Estudio consistió en el análisis de 426 muestras tomadas en los transformadores de Potencia y de Distribución de las Empresas Eléctricas de todo el país. Hay que tener en consideración que el total de transformadores en el Ecuador supera las 150.000 unidades. (Zambrano García 2007)

En el estudio aunque se demostró que la mayoría de estos equipos estaban contaminados con PCB no se demostraron estadísticamente resultados determinantes debido a que la mayoría de los transformadores analizados eran antiguos y comparados con los utilizados en otros países más desarrollados el resultado no iba a ser muy muy representativo.

2) En el segundo:

El Ministerio Ambiente (MAE), en coordinación con el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), presentó el proyecto “Gestión Integral y Ambientalmente Adecuada de los Bifenilos Policlorados”. El objetivo es promover una adecuada gestión ambiental y eliminar de los equipos, aceites y desechos contaminados con estos compuestos, para precautelar la salud de la población. (Ministerio del Ambiente 2013)

El estudio se llevó a cabo porque el Ecuador está dentro de una lista de 12 países para desarrollar un proyecto piloto sobre los CEO's (Contaminantes Orgánicos Persistentes) organizado y financiado por el GEF Fondo de Medio Ambiente Mundial y se plantea demostrar por medio del MAE los niveles de contaminación por PCB de los transformadores en el acompañamiento del PNUD. (Ministerio del Ambiente 2013)

Esta iniciativa se enmarca en el compromiso que Ecuador mantiene con el Convenio de Estocolmo. Este acuerdo internacional es un tratado mundial para proteger la salud humana y el ambiente de los productos y sustancias químicas e insta a los países a regular el tratamiento de las sustancias tóxicas sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP). (Ministerio del Ambiente 2013).

Sin dudas el estudio realizado en este trabajo de investigación es muy importante para conocer aún más los efectos nocivos que tiene ese compuesto tóxico, además ayuda a enriquecer el conocimiento a nivel general acerca de la composición y características que poseen los PCB's.

4.3.5. Fundamentación legal en el Ecuador

Las leyes de la actual constitución del Ecuador son muy claras en cuanto a los desechos con mediana y alta toxicidad. Existen varios artículos dedicados a esta problemática ambiental. El Ministerio de Ambiente se ha pronunciado en innumerables ocasiones mencionando que los desechos tóxicos deben ser manejados debidamente.

El artículo 14 de la Constitución de la República indica que la población en general tiene el derecho de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, con esto se debe contribuir al buen vivir.

El artículo 15 menciona que en el país está prohibido el desarrollar, producir, tener, comercializar, importar, transportar, almacenar y utilizar armas químicas, biológicas y nucleares procedentes de contaminantes orgánicos de alta toxicidad ya que pueden afectar significativamente la vida de los seres humanos y los diferentes ecosistemas del estado.

En lo que respecta a los PCB's, en la constitución se detalla en el anexo B del Acuerdo Ministerial No. 142 un listado de desechos peligrosos entre los cuales se nombra a los Bifenilos Policlorados, los aceites dieléctricos u otros componentes que poseen una concentración mayor a 50 ppm de PCB.

4.4. Ecotoxicidad en modelos biológicos

Para establecer que es la toxicidad en modelos biológicos primeramente es importante indicar que son dichos modelos, pues bien, son aquellos seres vivos habitantes de un ecosistema en particular ya sea marino o terrestre escogidos en una muestra representativa para realizar un ensayo en este caso toxicológico.

En este trabajo de investigación se analizaron los niveles de toxicidad de los desechos de aceites dieléctricos que contienen PCB con el objetivo de determinar en qué concentración está la dosis letal para los seres vivos.

4.4.1. Ensayos de ecotoxicología In vivo

Es un tipo de experimentación realizado en el interior de un modelo biológico u organismo sujeto de estudio para determinar las dosis letales de un componente tóxico. Esta prueba es recomendable hacerla para observar los efectos finales de la sustancia tóxica que se está analizando.

Desde hace muchos años en la evaluación de riesgo toxico se ha usado como modelos vivos a animales para caracterizaciones, como es en el desarrollo de nuevos fármacos que actualmente se incorporan en los centros de salud. (Acevedo Fernández 2013)

4.4.2. Ensayos de ecotoxicología In vitro

Por su parte los ensayos toxicológicos In vitro es una técnica empleada para observar la incidencia de una sustancia toxica o altamente contaminante en el organismo de un modelo vivo, por lo general se las realizan en laboratorio específicamente en tubos de ensayo o probetas, también son realizadas en un ambiente fuera del que el organismo vivo proviene.

Estas pruebas son relativamente simples, rápidas y de bajo costo, proporcionando una evaluación valiosa sobre las sustancias que deberían ser descartadas o sujetas a caracterización posterior. De esta manera el aislamiento, propagación y caracterización de poblaciones celulares se destaca como la principal metodología para iniciar la caracterización in vitro de compuestos bioactivos. (Acevedo Fernández 2013)

4.4.3. Toxicidad en organismos terrestres

Es importante resaltar que cada sociedad, en virtud de su desarrollo y recursos financieros y tecnológicos disponibles para reducir la exposición a las sustancias peligrosas, puede fijar un límite aceptable o inaceptable de exposición diferente, lo cual se traduce en normas diferentes que establecen distintos límites máximos permisibles de las sustancias en productos de consumo y estratos ambientales (aire, agua, suelos, cadenas alimentarias). (INECC 2007)

La toxicidad en organismos terrestres abarca muchas especies pero por lo general los ensayos de toxicidad se los realiza en aquellas especies más sensibles a los efectos toxicos del componente analizado.

La prueba más común desarrollada en dichos organismos es la de toxicidad aguda. En el presente trabajo de investigación se realizó un ensayo de toxicidad aguda en el suelo siguiendo el método OECD 423 escogiendo como modelo biológico a la lombriz de tierra *Eisenia Foetida*.

4.4.4. Toxicidad en organismos acuáticos

Para determinar la toxicidad en cualquier especie marina es recomendable utilizar aquellas especies que sean más susceptibles a los niveles toxicológicos de la

sustancia estudiada por lo general se emplean organismos acuáticos representantes de varios niveles tróficos, es decir, algas, peces, molusco e incluso anfibios.

“Los organismos biológicos para ser usados como herramientas ecotoxicológicas (bioindicadores) requieren ser sensibles, que su cultivo, mantenimiento y reproducción sean sencillos y prácticos, así como que los bioensayos sean fácilmente reproducibles” (Dominguez Tirado 2010).

A partir de los modelos biológicos se determina las dosis letales y subletales y se realizan a varias concentraciones del componente para conocer estadísticamente a que porcentaje el organismo vivo muere.

4.5. Ensayo de ecotoxicidad aguda OECD 423

“Los ensayos de toxicidad son los bio ensayos empleados para reconocer y evaluar los efectos de los contaminantes sobre la biota. En los bioensayos se usa un tejido vivo, organismo, o grupo de organismos, como reactivo para evaluar los efectos de cualquier sustancia fisiológicamente activa” (Cricyt s.f.).

El ensayo de ecotoxicidad aguda OECD son análisis y pruebas realizadas para determinar los niveles de toxicidad en organismos vivos mediante vía oral con el objetivo de determinar la concentración letal del componente estudiado.

“Mediante los ensayos de toxicidad se estudian las relaciones dosis o concentración, efecto y dosis o concentración - respuesta (efecto: cambio biológico evaluable por una escala de intensidad o severidad; respuesta: proporción de la población expuesta que manifiesta un efecto definido)” (Cricyt s.f.).

La norma OECD 423, expresa las dosis basadas en cambios de la concentración de la sustancia ensayada; en este estudio se emplea una solución que mantiene su concentración y lo que establece la dosis es la inducción magnética aplicada. Este parámetro en el producto evaluado propicia que se obtengan las propiedades inmunoestimulantes reportadas. (SciELO 2008)

4.6. Bioacumulación y Biomagnificación.

4.6.1. Bioacumulación

Bioacumulación es un proceso que consiste en la acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de tal manera que llegan a alcanzar concentraciones elevadas de estos componentes incluso llegan a tener concentraciones mayores que las que se encuentran en los alimentos y en el medio ambiente.

La introducción o ingreso de una sustancia química en un organismo vivo se da principalmente por vía digestiva respiratoria y la tegumentaria. La acumulación se puede producir a partir de fuentes abióticas como el agua, aire y suelo también bióticas como otros organismos vivos y va en función de cada componente o sustancia.

La bioacumulación es un término que se dio en los años 1950 y 1960 por unos investigadores de Estados Unidos que hallaron en los organismos de ciertas especies de aves concentraciones altas de DDT y debido a las consecuencias fue restringido en varios países. En la misma década fueron descubiertos algunos casos de intoxicaciones por causa de compuestos orgánicos de mercurio. (Villareal 2014)

En lo que respecta a las sustancias potencialmente acumulables se tienen las siguientes:

El Óxido de Tributilestaño, el Piretroide, el Endrin, los compuestos Organofosforados, la Aldrina, el Heptacloro, el Trióxido de antimonio, el Clordano y los compuestos que contienen Bifenilos policlorados; los cuales en su mayoría son metales pesados. (Villareal 2014)

4.6.2. Biomagnificación.

La biomagnificación es cuando se genera sustancias tóxicas que puede estar en el medio de una bioacumulación, y en el ecosistema donde las concentraciones del tóxico es mayor, las poblaciones se ven afectadas a medida que asciende su cadena trófica. (Caspé 2011).

5. Hipótesis

Los análisis químicos y ensayos ecotoxicológicos en modelos biológicos de los desechos de aceites dieléctricos provenientes de los transformadores de la CNEL Manabí describen un riesgo potencial, así como un impacto al ecosistema.

6. Variables y su Operacionalización

6.1. Variable independiente

Aceites dieléctricos provenientes de transformadores de la CNEL Manabí.

6.2. Variable dependiente

Impacto químico – ecotoxicológico

6.3. Operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE: Aceites dieléctricos provenientes de transformadores de la CNEL Manabí.

CONCEPTO	DIMENSIÓN CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	INSTRUMENTO
Los aceites dieléctricos procedentes de los transformadores de la CNEL Manabí poseen concentraciones de PCB que son muy tóxicos y presentan un enorme impacto para el ecosistema. Los PCB son uno de los doce contaminantes más tóxicos del planeta por este motivo los residuos de aceites deben ser tratados con suma precaución.	Muestra de suelo contaminados Muestra de aceite dieléctrico usado	• Aceites dieléctricos en suelo • Aceite dieléctrico procedente de los transformadores de la CNEL	▪ Concentración de aceite dieléctrico en suelo	• Toma de muestra. • Análisis físicos, químicos y toxicológicos. • Análisis estadístico.

VARIABLE DEPENDIENTE: Impacto químico – ecotoxicológico

CONCEPTO	DIMENSIÓN O CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	INSTRUMENTO
Los componentes químicos de los aceites dieléctricos poseen altos grados de contaminación y toxicidad, por esta razón se realizan evaluaciones químico – ecotoxicológico al ecosistema y sus organismos vivos para determinar su impacto.	Ensayo de toxicidad aguda en modelos biológicos para suelo.	Mortalidad y efectos subletales en modelos biológicos	▪ Porcentaje de mortalidad. ▪ Concentración letal.	• Ensayo de toxicidad aguda OECD 423 • Caracterización de modelos biológicos estándar

7. Diseño metodológico

7.1. Tipo de Investigación

La presente investigación fue de tipo descriptiva y se basó en la búsqueda de fuentes secundarias halladas en los diferentes medios de información con la finalidad de obtener datos que proporcionaron la evaluación de la ecotoxicidad y el impacto químico que ocasionan los aceites dieléctricos procedentes de los transformadores de la CNEL Manabí

También fue de tipo Cuantitativa – Cualitativa porque se realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas y químicas de dichos aceites analizándolas cuantitativa y cualitativamente y realizando análisis estadísticos como el método Probit que ayudó a determinar la concentración letal media en los modelos biológicos.

Además la investigación fue de tipo experimental porque se determinó su impacto químico ecotoxicológico determinando parámetros químicos y concentraciones de PCB en muestras de aceite dieléctrico procedentes de transformadores de la CNEL Manabí y ensayos experimentales de ecotoxicidad aguda en modelos biológicos, lombrices de tierra de la especie *Eisenia Foetida*.

7.2. Métodos de Investigación

La investigación se realizó empleando métodos experimentales y métodos de observación científica en los cuales se utilizaron varios procesos para obtener resultados que ayuden a la comprobación de la hipótesis y cumplir los objetivos planteados.

También se utilizaron métodos teóricos, bibliográficos – documentales en donde se buscó información en fuentes a partir de base de datos secundarios para argumentar la investigación y para conocer más al respecto de los efectos tóxicos del contaminante PCB existente en los aceites dieléctricos.

Los métodos estadísticos también se observaron en el presente trabajo, dicha metodología fue empleado en el análisis Probit que se realizó en el software Microsoft Excel, mediante el cual se pudo determinar la concentración letal media

en los modelos biológicos empleados para el ensayo de toxicidad aguda que resultarán afectados con el componente tóxico estudiado..

7.3. Técnicas

En este trabajo de investigación se realizaron análisis de parámetros físicos a las muestras de suelo contaminado con aceite dieléctrico, parámetros químicos en el aceite dieléctrico, hidrocarburos totales y concentraciones de PCB, además se realizó un ensayo ecotoxicológico en modelos biológicos siguiendo las técnicas descritas a continuación.

7.3.1. Determinación de parámetros físicos

7.3.1.1. PH

1) Principio

Medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de un electrodo de vidrio que es función de la actividad de los iones de hidrógeno a ambos lados de la membrana.

2) Materiales y equipos

- pH-metro
- Agitador
- Material de vidrio (opcional).

3) Reactivos

- Agua destilada
- Solución patrón de ftalato ácido de potasio ($C_6H_4C_2O_4HK$) 0.05 M.
- Solución patrón de fosfato monopotásico (KH_2PO_4) 0.025 M.

4) Procedimientos

a) Calibración del equipo

- Para calibrar el pH-metro se colocó en un vaso de precipitación un volumen adecuado de la solución patrón de fosfato monopotásico (KH_2PO_4) 0.025 M.

- Se introdujo en la solución los electrodos y se agitó durante un minuto aproximadamente procediendo a la lectura luego de dos minutos.
- El valor de pH obtenido deberá ser indicado entre 15 a 30 °C, corrigiéndose en caso necesario de acuerdo con las instrucciones particulares del aparato utilizado.
- Se enjuagó en agua destilada y posteriormente se sumergieron los electrodos en la solución patrón, si el valor de pH obtenido no es similar al de la teoría de la solución, se debe corregir.

b) Medición de pH

- El pH fue medido en el suelo contaminado por Bifenilos Policlorados para determinar en ese entorno la incidencia en este parámetro físico.
- Primeramente se calibró el equipo.
- Luego se tomaron alrededor de 20 gramos de muestra (suelo contaminado)
- A la muestra se la humedeció con la solución patrón de ftalato ácido de potasio ($C_6H_4C_2O_4HK$) 0.05 M.
- Por último se introducen los electrodos en la muestra
- Se anotó el resultado de pH obtenido.

5) Expresión de los resultados

En unidades de pH con precisión de 0.1 a la temperatura en que se efectuó la medición.

7.3.1.2. Conductividad eléctrica

1) Principio

Mediante un puente de Wheatstone y una célula de conductividad apropiada se determina la conductividad eléctrica por comparación a la misma temperatura de la muestra y de una solución valorada de cloruro de potasio refiriendo el resultado a 20 °C-

2) Materiales y equipos

- pH-metro

- Agitador
- Material de vidrio (opcional).

3) Procedimiento

Para medir la conductividad se siguen los pasos realizados para determinar el pH, el equipo da la opción para medir la conductividad.

4) Expresión de los resultados

Los resultados están expresados en unidades de conductividad eléctrica mV Milivoltios.

7.3.1.3. Temperatura

1) Principio

Es el grado o nivel térmico que posee un volumen de materia, normalmente la medición de este parámetro se lo realiza con un termómetro de mercurio, también con un equipo multiparámetro. Se recomienda que su medición se *In Situ* para que no haya una variación importante en el resultado.

Este parámetro afecta fundamentalmente a los sistemas de tratamiento biológico de las aguas y suelo debido a su efecto sobre el metabolismo bacterial; también afecta a la solubilidad de los gases, lo cual es muy importante que un aumento de la misma disminuya la solubilidad del oxígeno en el agua desfavoreciendo la aireación del sistema.

2) Materiales y equipos

- pH-metro o termómetro

3) Procedimiento

La medición de la temperatura se realizó con el pH-metro, al momento de determinar el pH y la conductividad del suelo.

4) Expresión de los resultados

Están expresados en °C (Grados Celsius)

7.3.2. Determinación de parámetros químicos

En lo que respecta a parámetros químicos se determinó la concentración de PCB y los hidrocarburos totales en una muestra de aceite usada proveniente de la CNEL Manabí ubicada en la ciudad de Portoviejo en la estación Andrés de Vera.

Es muy importante cuantificar la concentración de los Bifenilos Policlorados porque a partir de allí se puede implementar un plan de eliminación, además se puede considerar la gravedad del impacto ecotoxicológico que puede representar el contenido de PCB en un aceite dieléctrico.

Los hidrocarburos totales se determinaron con la finalidad de identificar qué cantidad de estos compuestos estaban presentes en aquella muestra de aceite, a partir de esa cuantificación se puede dilucidar que porcentajes de hidrocarburos naftenos, aromáticos e isoparafínicos que tiene el aceite relacionando las proporciones de cada uno halladas en la investigación teórica.

7.3.2.1. Procedimientos para Hidrocarburos totales

La metodología empleada para cuantificar los hidrocarburos totales (HTP's) estuvo basada en el método de extracción con agitación y centrifugación, y el análisis cromatográfico basado en el método 1005 de la TNRCC Comisión de Conservación de Recursos Naturales de Texas

Como se solvente se escogió el diclorometano porque no interfería con el proceso de análisis. El volumen inyectado del estándar (aceite dieléctrico) varió de acuerdo a la concentración de las muestras y osciló entre 0.1µL hasta 2 µL.

Al final se procedió a hacer lectura en el cromatógrafo, cabe indicar que la determinación de Hidrocarburos totales también se lo pudo realizar por espectrometría infrarroja.

7.3.2.2. Procedimiento para Concentración de PCB

- Primeramente se debe considerar que el aceite contaminado con PCB no necesita de un tratamiento previo al análisis, a menos que dicha muestra sea extraída de un transformador o equipo que haya funcionado a la intemperie se le hace un

tratamiento especial con sulfato de sodio (anhidro) con el propósito de disminuir el porcentaje de humedad.

- Se empezó por pesar 0.2 g de aceite y colocarlo en un balón aforado
- Se Diluyó la muestra con el solvente Hexano en una relación 1/100 y 1/50 peso a volumen.
- Luego se procedió a colocar 10 mL de la solución en un Matraz y fueron agregados 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, el matraz fue tapado con papel aluminio.
- A unas 250 rpm durante 1 minuto fue agitado el matraz que contenía la muestra y el ácido sulfúrico. Si existe interfase dejar que se disipe.
- Una vez dejado reposar por unos minutos se le agrega a la solución una alícuota de la fase orgánica y se colocó en un frasco ámbar para determinar por cromatografía de gases.

En cuanto a la expresión de los resultados la concentración de PCB fue determinada en unidades de $\mu\text{g/L}$ equivalentes a ppm. Los hidrocarburos totales fueron determinados en razón de mg/Kg.

7.3.3. Ensayo de ecotoxicidad aguda OECD 423 con la lombriz de tierra *Eisenia Foetida*

7.3.3.1. Prueba de sensibilidad (Papel filtro)

1) Principio

Los ensayos con lombrices son ampliamente reconocidos como prueba para evaluar la toxicidad de suelos contaminados. La lombriz más utilizada ha sido la *Eisenia* en sus especies *Foetida* y *Andrei* las cuales pertenecen a la familia lumbricidae.

El presente ensayo se basa en lo descrito en la guía 207 de la OECD para la evaluación de sustancias (OCDE, 1984) y la publicación 96-327 del Departamento de Ecología del Estado de Washington (WSDE, 1996), así como en las experiencias obtenidas a nivel laboratorio (Cuevas et al., 2006). (Cuevas Díaz 2012, p. 212)

Este ensayo se realizó en contacto con papel filtro que involucró la exposición de las lombrices a la sustancia sobre un papel filtro húmedo con la finalidad de identificar el potencial del compuesto tóxico presente en el suelo.

La prueba por contacto en papel filtro involucra la exposición de las lombrices a sustancias prueba sobre un papel filtro húmedo con la finalidad de identificar el potencial del compuesto tóxico presente en el suelo. Esta prueba tiene una duración de 48 a 72 horas. (Cuevas Díaz 2012, p. 212)

2) Materiales

- Tarrinas plásticas transparentes
- Pinzas
- Espátula de acero inoxidable
- Pipetas
- Pera de succión
- Vasos de precipitación
- Papel filtro

3) Sustancias y reactivos

- Agua destilada
- Aceite dieléctrico nuevo
- Aceite dieléctrico quemado
- Aceite dieléctrico usado
- 150 ejemplares de lombrices de tierra de tipo *Eisenia Foetida*

4) Procedimiento

- EL procedimiento seguido para realizar el bioensayo con las lombrices de tierra de tipo *Eisenia Foetida* fueron los siguientes.
- En primer lugar, se tuvieron que conseguir las lombrices, éstas fueron halladas en la ciudad de Rocafuerte en la Provincia de Manabí en un criadero perteneciente al Ing. Sneyder Cobeña.
- Una vez obtenidos los ejemplares para el ensayo se realizó una depuración que consistía en dejarlas por 24 horas en un medio libre de alimentos, con oxígeno y a poca luz ya que son fotosensibles. Las lombrices fueron alojadas en recipientes de vidrio.

- Una vez transcurridas las 24 horas y con las lombrices depuradas se procedió a separarlas en grupos de cinco para empezar a someterlas al medio contaminante.
- La división de cinco en cinco se realizó colocando cada grupo en un recipiente, en el caso del presente estudio se utilizó tarrinas de plástico transparente, de tal manera que cada conjunto se someta una dilución de aceite dieléctrico ya determinada tanto en muestras recolectadas en los predios de la CNEC Manabí en Manta y Portoviejo.
- Las diluciones del aceite se realizaron en agua destilada haciéndola en serie de tal manera que se empezó por 1 mL de aceite en 10 mL de agua destilada (1/10) y así hasta llegar a una dilución de 1/1000.
- En el ensayo de sensibilidad participaron 150 lombrices divididas en los siguientes grupos:

Tabla 5. División de grupos de lombrices para prueba de sensibilidad en Manta

Manta				
# de lombrices	Dilución	Tipo de aceite		
15, cinco en cada tipo de aceite	1	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
15, cinco en cada tipo de aceite	0.1	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
15, cinco en cada tipo de aceite	0.01	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
15, cinco en cada tipo de aceite	0,001	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
15, cinco en cada tipo de aceite	0.0001	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Tabla 6. División de grupos de lombrices para prueba de sensibilidad en Portoviejo

Portoviejo				
# de lombrices	Dilución	Tipo de aceite		
15, cinco en cada tipo de aceite	1	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
15, cinco en cada tipo de aceite	0.1	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
15, cinco en cada tipo de aceite	0.01	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
15, cinco en cada tipo de aceite	0,001	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
15, cinco en cada tipo de aceite	0.0001	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Una vez establecidos como fueron divididos los grupos de lombrices para la prueba de sensibilidad se colocó cada grupo en medio de dos papeles filtro con el tipo de aceite y la concentración designada. En ese medio las lombrices permanecieron por 72 horas y luego de esto se procedió a contar las lombrices vivas y muertas. Ver en Anexo 1.3.

7.3.3.2. Prueba de suelo artificial o suelo fértil

1) Principio

La prueba del suelo artificial en las lombrices de la especie *Eisenia Foetida* se realizó con el propósito de conocer la mortalidad de estas sometidas a distintas concentraciones de PCB con la finalidad de identificar la concentración letal media, pero en esta ocasión a diferencia de la primera etapa que se realizó en papel filtro se la hizo en una muestra de suelo.

El suelo debía reunir las siguientes características:

- Tener una muestra de suelo de 1000 g, cada réplica necesitó entre 200 y 250 g,
- Tener un pH entre 5 y 9

- Conductividad menor a 6.0 mS (milisiemens)
- % de Humedad entre 35 y 40 %
- Temperatura entre 20 y 22 °C
- En cuanto al modelo biológico la edad del organismo debía ser adulta (2 meses), identificada porque las lombrices a esa edad son cliteladas.

2) Procedimiento

Depurar las lombrices durante 24 horas, en ausencia de luz, presencia de oxígeno.

Una vez pasado el periodo de depuración se tomaban los recipientes con las muestras de suelo. A cada muestra de suelo se agregó 10 mL de la dilución Aceite/Agua, al igual que la prueba de sensibilidad se utilizaron: Aceite Nuevo, Aceite Quemado, Aceite Usado con la diferencia que solo se iba a emplear las muestras procedentes de la CNEL Manabí de la Ciudad de Portoviejo porque fue la que más variedad de resultados ofreció en la prueba anterior.

Luego de esto, se procedió a alojar 3 lombrices en cada tipo de suelo y sus distintas diluciones de aceite de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 7. División de grupos de lombrices para prueba de suelo artificial en Portoviejo

Portoviejo				
# de lombrices	Dilución	Tipo de aceite		
9, tres en cada tipo de aceite	0.01	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
9, tres en cada tipo de aceite	0.001	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
9, tres en cada tipo de aceite	0.0001	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
9, tres en cada tipo de aceite	0,00001	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado
9, tres en cada tipo de aceite	0.000001	Aceite Nuevo	Aceite Quemado	Aceite Usado

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Las lombrices se dejaron en los recipientes por un periodo de 14 días donde a los 7 días se realizó una evaluación de sus reacciones a los estímulos mecánicos.

Pasados otros 7 días fueron separadas del medio contaminante tóxico y se procedió con el conteo de las lombrices vivas y muertas. Ver en Anexo 1.4.

7.3.3.3. Método Probit

1) Principio

La metodología Probit es un análisis realizado a consecuencia derivada de los fenómenos o medios de peligro asociado a los accidentes mayores. Su principio está basado en la cuantificación probabilística de la vulnerabilidad de organismos vivos, objetos e instalaciones ante efectos físicos de una magnitud determinada que se suponen conocidos.

El valor de la "variable Probit" se determina por la siguiente expresión:

$$Y = K1 + K2 \cdot \ln V$$

Donde V es la variable física representativa del accidente

K1 y K2 son constantes

7.3.3.4. Prueba de concentración letal media o CL₅₀

1) Principio

Esta prueba se basa en el principio de la determinación de cloro por lo que es capaz de detectar PCB's se realiza con la finalidad de determinar cuál es la concentración de una sustancia requerida para ocasionar la muerte del 50 % de un organismo vivo expuesto durante un periodo de tiempo determinado. Para la realización de esta prueba se utilizará el kit Dexsil Clor-N-Oil 50 ppm.

2) Procedimiento

En primer lugar se debe preparar la muestra; se retiró la tapa negra del tubo N° 1 y utilizando una pipeta de plástico se transfirieron 5 mL del aceite analizado. Tapar bien el tubo cuando haya finalizado este proceso.

Luego de verificar que el tubo esté bien tapado se apretó en los costados con la finalidad de romper la ampolla de color azul en el interior del tubo en la parte

inferior. Posteriormente se agitó el tubo fuertemente por un periodo de tiempo de 10 segundos para posteriormente apretar nuevamente con el propósito de romper la ampolla de color gris que se encontraba en la parte superior del tubo, nuevamente se agitó con fuerza por 10 segundos.

Una vez que se hayan roto las dos ampollas, en primer lugar la azul y en segundo la gris (es indispensable el orden), se dejó reaccionar por 50 segundos agitando intermitentemente.

Posteriormente se retiraron las tapas de los dos tubos y se vertió la solución transparente del tubo N° 2 en el interior del tubo N° 1, luego se agitó fuertemente por 10 segundos aproximadamente.

Se purgó el tubo N° 1 por medio del dispensador ubicado en la tapa, nuevamente se agitó por 10 segundos, otra vez se purgó y se sacó la tapa colocándola debajo del tubo para observar que el color gris desaparezca.

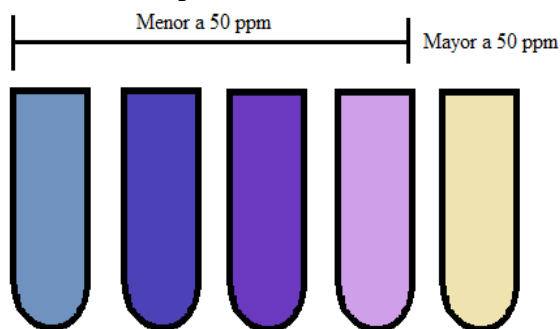
Por 2 minutos se dejó que se separen las fases; en caso de que la fase de la de aceite esté por debajo de la fase de agua se debe suspender la prueba ya que es indicador que existe presencia de PCB, por el contrario si la mezcla de aceite está encima de la capa de agua continuar, tal y como sucedió en el ensayo realizado.

Para efectuar el análisis se colocó el N° 1 con el dispensador abierto sobre el N° 2 añadiendo 5 mL de la solución apretando los lados hasta obtener el volumen indicado, luego se rompió la ampolla identificada con el punto de color verde en el interior del tubo en la parte inferior y se agitó por 10 segundos. Finalmente se rompe la ampolla de color naranja ubicada en la parte superior y se agitó por 10 segundos. Ver en Anexo 1.5

3) Expresión de los resultados

Los resultados se determinan una vez obtenido el color resultante y se comparan con la tabla colorimétrica de determinación de cloro indicándose de la siguiente manera:

Ilustración 1. Colorimetría para la determinación de PCB por la prueba **CL₅₀**



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

7.4. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron en el presente trabajo fueron:

- Cuadros y gráficos estadísticos
- Cuadernos de notas
- Fichas de datos
- Equipos de Laboratorio de Toxicología
- Reactivos
- Materiales de Laboratorio
- Modelos Biológicos (lombriz de tierra *Eisenia Foetida*)

7.5. Recursos

7.5.1. Humanos

- Ingenieros Químicos de la Universidad Técnica de Manabí
- Docentes
- Autoridades
- Investigadores

7.5.2. Materiales

- Copias
- Materiales de oficina
- Materiales de Laboratorio de Ecotoxicología y de Química de la carrera de Ingeniería Química

7.5.3. Tecnológicos

- Computadoras
- Internet
- Proyectores
- Cámaras fotográficas
- Pen drive
- Otros
- Software (Excel)

7.5.4. Equipos

- pH metro
- Kit Dexsil Clor-N-Oil

7.5.5. Económicos

La investigación tendrá un costo de US\$ 2673,⁰⁰ valor que será cubierto por los autores de la investigación.

8. Presentación y análisis de los resultados

8.1. Resultados de la determinación de parámetros físicos

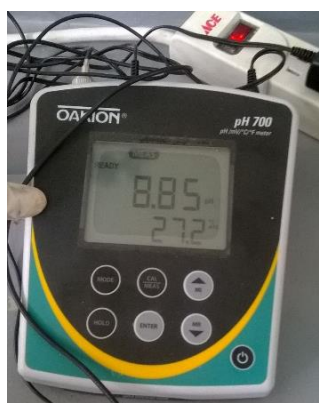
Se determinaron parámetros físicos en el suelo para constatar de que estaba apto para realizar el ensayo con el modelo biológico en lo que respectaba a la etapa de la prueba del suelo artificial, también se determinaron estos mismos parámetros en el mismo suelo pero esta vez contaminado con aceite usado para conocer como variaban dichos parámetros.

Tabla 8. Resultados de la determinación de los parámetros físicos del suelo

Parámetros Físicos		
Parámetro	Resultado Sin contaminar	Resultado contaminado
Conductividad	-65.3 mV	-58.2 mV
Temperatura	27.2 °C	28.1 °C
pH	8.85	7.6
Humedad	35%	33%

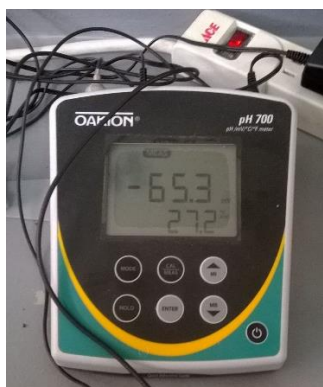
Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Ilustración 2. Resultado de la determinación de pH y temperatura



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Ilustración 3. Resultado de la determinación de Conductividad



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Análisis de los resultados

Todos los parámetros tuvieron un cambio notable porque las características del aceite son diferentes a las del suelo por lo tanto existirán alteraciones. Variaciones de pH cambian el tipo de suelo de alcalino a ácido, existen aumentos de temperatura, cambios en la conductividad y la humedad que afectan la vida en el suelo porque prácticamente cambia las condiciones del hábitat natural en la que los organismos están acostumbrados a vivir. En pocas palabras, el aceite dieléctrico al contaminar el suelo presenta incidencias que pueden llegar a ser letales a grandes escalas dentro del ecosistema.

8.2. Resultados de la determinación de parámetros químicos del aceite dieléctrico

Tabla 9. Resultados de la determinación de los parámetros químicos del aceite dieléctrico usado

Determinación de parámetros químicos	
Parámetros	Valores
Concentración de PCB	70000 µg/L
Hidrocarburos totales	15 mg/Kg

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Análisis de los resultados

En cuantos parámetros químicos se refiere a que se hizo un análisis al aceite dieléctrico usado para conocer cuantitativamente las características más importantes en donde destacan la concentración de PCB que obtuvo un valor de 70000 µg/L equivalentes a 70 ppm y también se determinó la cantidad de hidrocarburos totales que brindo un resultado de 15 mg/Kg equivalentes a 15 ppm. Comparando estos valores con la información recolectada se puede decir que el PCB es considerada sustancia contaminada ya que está en un rango de 50 a 500 ppm y los hidrocarburos totales esta entre un rango de inferior superior a 0,0005 ppm considerada como sustancia contaminantes de diferentes hidrocarburos; en que esto es tóxico para el suelo y el medio ambiente en general; ya que en el artículo 15 de La Constitución de la República del Ecuador establece la prohibición de sustancias biológicas que puedan perjudicar a la salud humana y al ecosistema en general, también en el numeral 27 del artículo 66 de la Constitución de la República del Ecuador, reconoce y garantizará a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

Nota. Por falta de equipos y reactivos en el laboratorio de ecotoxicología estos análisis se realizaron en un laboratorio acreditado llamado “Grupo Químicos Marcos S.A. LTDA”.

8.3. Resultados del ensayo de ecotoxicidad en modelos biológicos

8.3.1. Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra *Eisenia Foetida*

Tabla 10. Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra *Eisenia Foetida* Manta

Manta						
Concentración	Aceite Nuevo		Aceite Quemado		Aceite Usado	
	Muertas	Vivas	Muertas	Vivas	Muertas	Vivas
1	5	0	5	0	5	0
0,1	5	0	5	0	5	0
0,01	5	0	5	0	5	0
0,001	5	0	5	0	5	0
0.0001	5	0	1	4	5	0

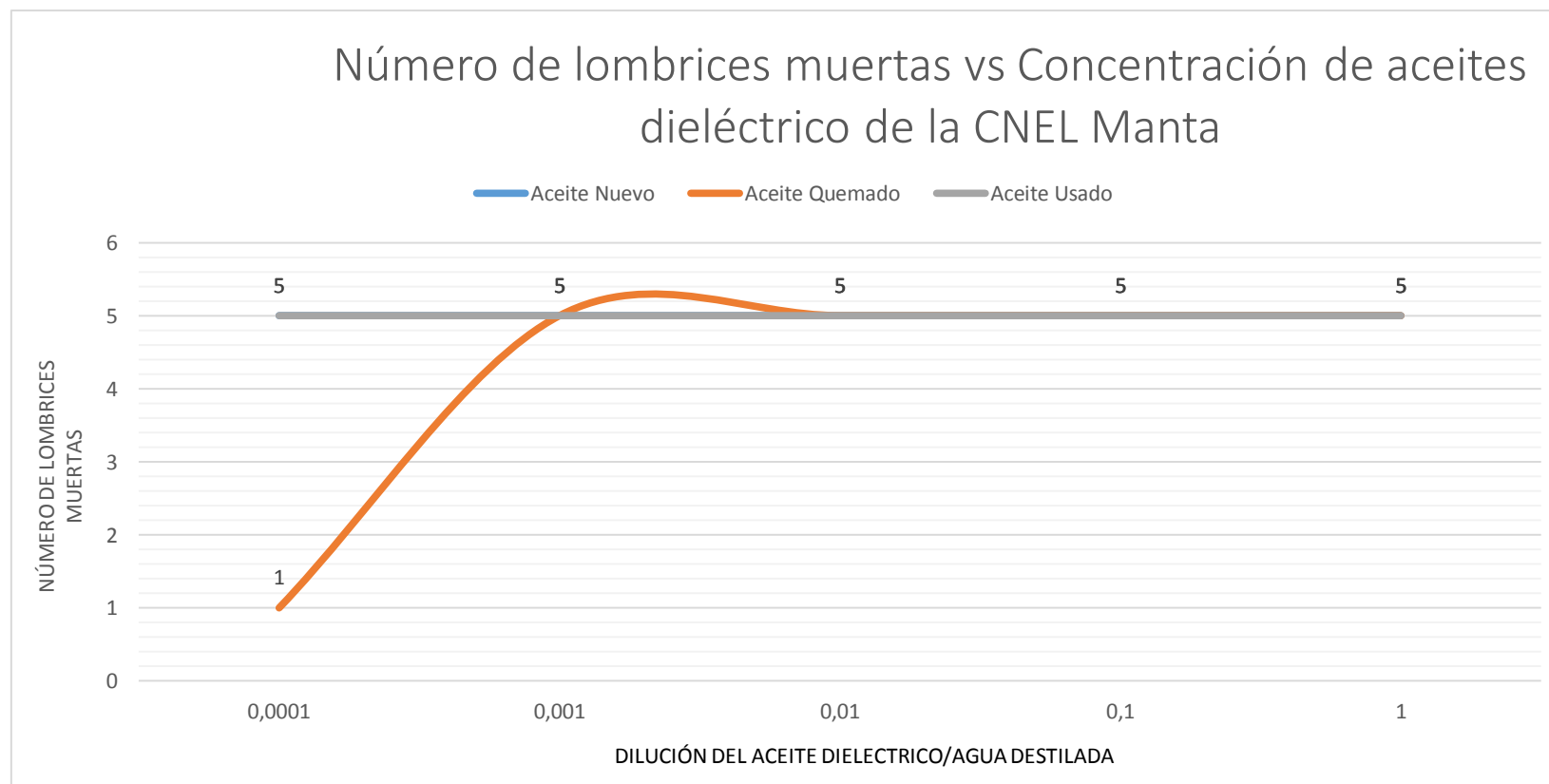
Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Tabla 11. Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra *Eisenia Foetida* Portoviejo

Portoviejo						
Concentración	Aceite Nuevo		Aceite Quemado		Aceite Usado	
	Muertas	Vivas	Muertas	Vivas	Muertas	Vivas
1	5	0	5	0	5	0
0,1	5	0	5	0	5	0
0,01	2	3	0	5	5	0
0,001	5	0	1	4	5	0
0.0001	2	3	5	0	0	5

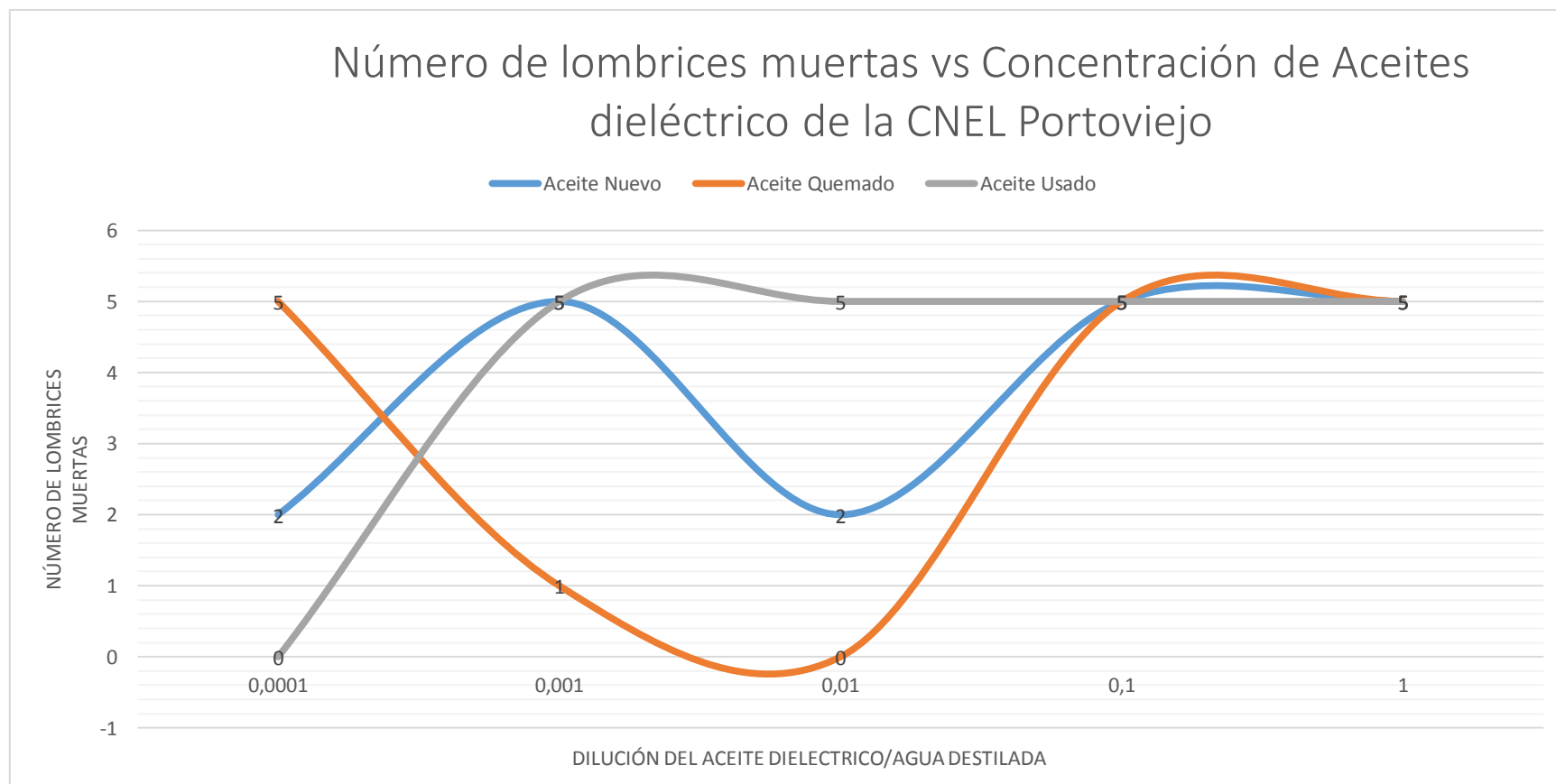
Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Gráfico 2. Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra Eisenia Foetida en muestras de aceites dieléctricos de transformadores de la CNEL de la ciudad de Manta



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Gráfico 3. Resultados de la prueba de sensibilidad con la lombriz de tierra *Eisenia Foetida* en muestras de aceites dieléctricos de transformadores de la CNEL de la ciudad de Portoviejo



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Análisis de los resultados

Se utilizaron un total de 150 lombrices de tierra de la especie *Eisenia Foetida* para realizar el ensayo de toxicidad aguda basado en el método OECD 423, se tenían 6 tipos de aceites distintos; Aceite nuevo, Aceite quemado y aceite usado procedentes de la CNEL Portoviejo y Aceite nuevo, Aceite quemado y aceite usado de CNEL Manta por este motivo se categorizó cada tipo de aceite y se utilizaron 25 lombrices por cada una. De las 25 lombrices se separaron en 5 grupos de 5 destinadas a las pruebas de sensibilidad en papel filtro. Se optó por realizar una dilución en serie del aceite dieléctrico en una relación de 1/10, 1/100, 1/1000 y 1/10000.

En las muestras de aceites dieléctricos de los transformadores de la CNEL Manta murieron 74 lombrices y solo sobrevivió una que se encontraba en la muestra de aceite quemado en la dilución 1/10000. Mientras que en las muestras de aceite de transformadores de la CNEL Portoviejo sobrevivieron 3 en la muestra de aceite nuevo en una dilución 1/100, y 3 en 1/10000, en el aceite quemado sobrevivieron 5 en 1/100 y 4 en 1/1000 y por último en aceite usado sobrevivieron 5 en la dilución 1/10000. Por los resultados obtenidos y haciendo el respectivo análisis la CL50 se encuentra en la dilución 1/100.

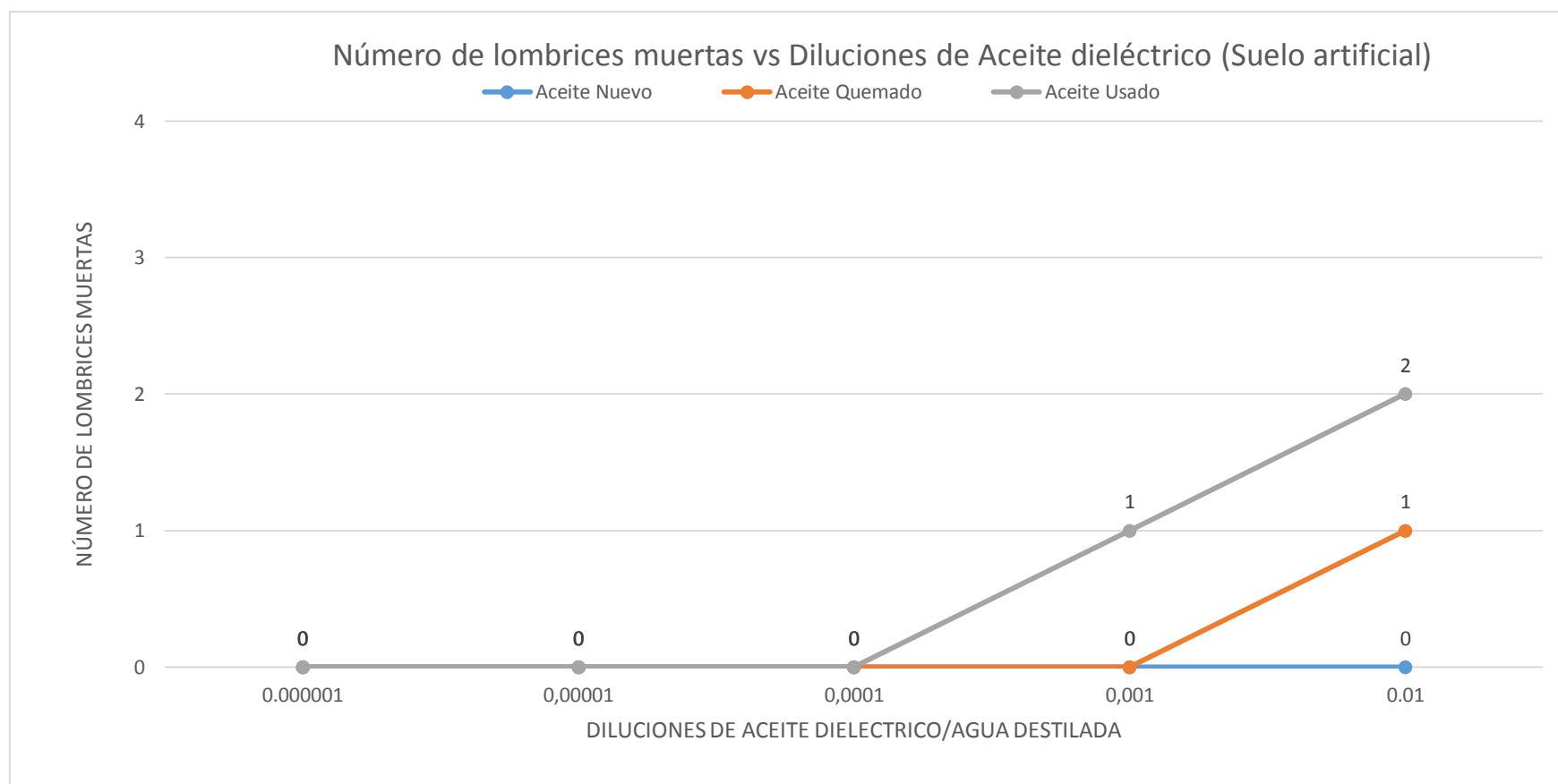
8.3.2. Resultados de la prueba de suelo artificial

Tabla 12. Resultados de la prueba de suelo artificial con la lombriz de tierra *Eisenia Foetida*

Dilución	Aceite Nuevo		Aceite Quemado		Aceite Usado	
	Muertas	Vivas	Muertas	Vivas	Muertas	Vivas
0.01	0	3	1	2	2	1
0,001	0	3	0	3	1	2
0,0001	0	3	0	3	0	3
0,00001	0	3	0	3	0	3
0.000001	0	3	0	3	0	3

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Gráfico 4. Resultados de la prueba de suelo artificial con la lombriz de tierra *Eisenia Foetida*



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Análisis de los resultados

El procedimiento empleado fue el mismo que el utilizado en la prueba de sensibilidad con la diferencia que esta vez por cada categoría se tenían 3 lombrices y se consideró solo las muestras de la CNEL Portoviejo. En el aceite nuevo sobrevivieron todas, en el aceite quemado murió 1 en la dilución 1/100 o 0.01 y en el suelo con aceite usado murieron 2 en la dilución 1/100 o 0.01 y 1 lombriz en 1/1000 o 0.001, mientras más diluido esté menor concentración habrá y las lombrices tendrán más posibilidades de sobrevivir.

8.3.3. Resultados del método Probit

Luego de los resultados obtenidos en la prueba de suelo artificial se aplicó el método Probit mediante el software Microsoft Excel a partir de los resultados del suelo contaminado con aceite usado de Portoviejo distintas diluciones.

Tabla 13. Resultados del método Probit para Aceite Usado

Dilución	Muertos	Expuestos	% respuesta
0,01	2	3	66,67
0,001	1	3	33,33
0,0001	0	3	0,00
0,00001	0	3	0,00
0,000001	0	3	0,00

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Tabla 14. Resultados del número Probit para Aceite Usado

Dilución	Log Dilución	Muertos	Expuestos	% respuesta	Decimal	Normsinv	Probit
0,01	-2	2	3	66,67	0,6667	0,4307	5,43
0,001	-3	1	3	33,33	0,3333	-0,4307	4,57
0,0001	-4	0	3	0,00	0	-	5,00
0,00001	-5	0	3	0,00	0	-	5,00
0,000001	-6	0	3	0,00	0	-	5,00

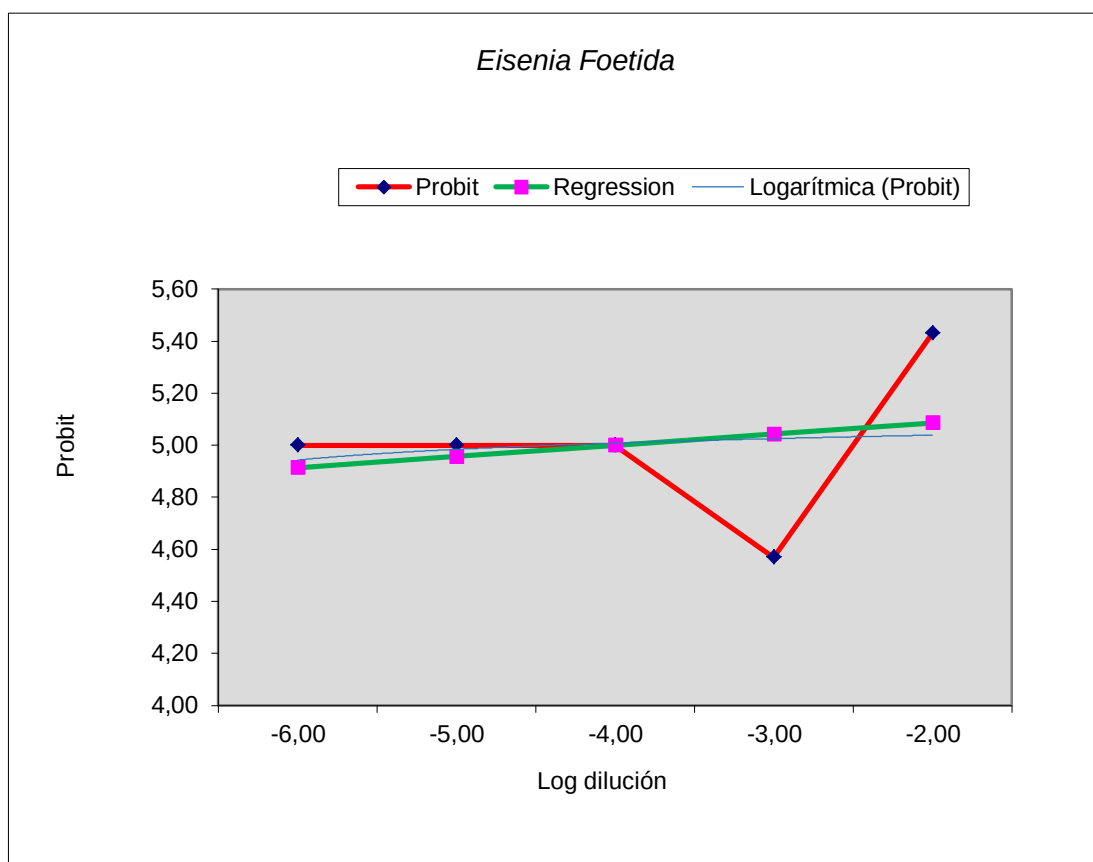
Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Tabla 15. Datos para el trazado de regresión lineal

Para trazado		
log dilución	Probit	regresión
-2,00	5,43	5,09
-3,00	4,47	5,04
-4,00	5,00	5,00
-5,00	5,00	4,96
-6,00	5,00	4,91

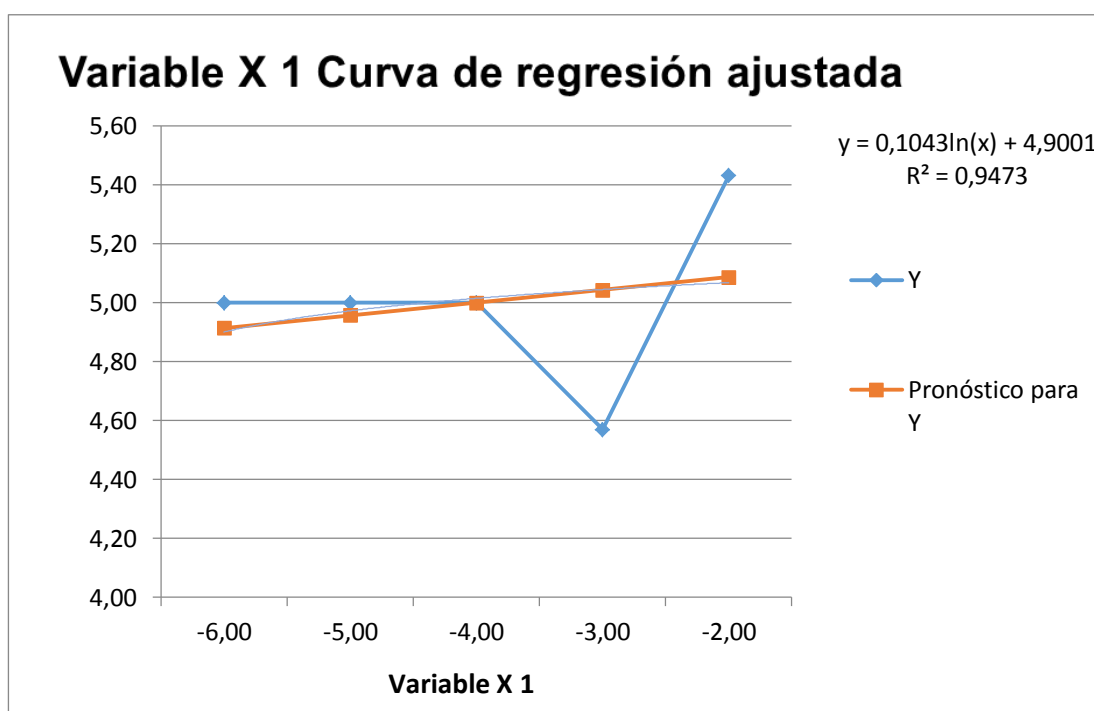
Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Gráfico 5. Regresión del modelo biológico durante el ensayo



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Gráfico 6. Curva de regresión ajustada



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Tabla 16. Resultado de Concentración Letal Media

logCL50=	- 4,000	log Dilución
CL50=	0,0001	Dilución

Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Análisis de los resultados

Se aplicó el método Probit en el software Excel para determinar la relación que existe entre la respuesta o mortalidad de las lombrices de la especie *Eisenia Foetida* y las diferentes diluciones realizadas a partir de la muestra de aceite usado de la CNEL Manabí de Portoviejo para conocer la concentración letal media.

Se demostró que existe linealidad entre el número Probit y el logaritmo de la dilución. La concentración letal media fue de 0.0001 por lo tanto a partir de esa dilución los modelos biológicos van a sobrevivir, es decir, de 0.01 a 0.001 empezarán a morir pero si se tiene un medio más diluido el porcentaje de respuesta o mortalidad será menor. En pocas palabras, mientras menor sea la dilución menor será el porcentaje de respuesta o mortalidad de los modelos biológicos y viceversa.

Nota. No se pudo aplicar el método Probit para aceite quemado y nuevo debido a que los porcentajes de respuestas en los organismos eran prácticamente nula.

8.3.4. Resultados de la prueba CL_{50}

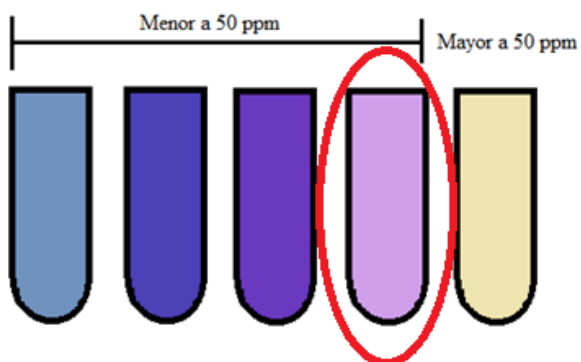
Se realizó la prueba CL_{50} con el objetivo de determinar si esa muestra de aceite tiene una concentración de PCB mayor o menor de 50 ppm cantidad definida como necesaria para que un aceite dieléctrico tenga presencia de Bifenilos Policlorados. Se realizó a partir de la muestra diluida 0.0001 que se había determinado con el método Probit.

Ilustración 4. Resultado de la prueba CL_{50}



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Ilustración 5. Comparación del catálogo colorimétrico para la determinación de PCB por la prueba CL_{50}



Elaborado por: Arteaga José, Cevallos Arnaldo

Análisis de los resultados

La coloración obtenida en la reacción del tubo N° 2 del kit Dexsil Color-N-Oíl fue lila equivalente a una concentración menor a 50 ppm de PCB en el aceite dieléctrico, por lo tanto se estima que la cantidad de Bifenilos Policlorados en la muestra de aceite no es alta y no es una gran amenaza para el ecosistema, cuando la concentración sea menor que 0.0001 de la solución.

9. Conclusiones

Empleando análisis químicos y ensayos de ecotoxicidad en modelos biológicos se realizó una evaluación del impacto químico ecotoxicológico generado por los aceites dieléctricos provenientes de los transformadores de la CNEL Manabí llegando a la conclusión que dicho impacto es enorme y de gran preocupación debido a que existe presencia de PCB que son uno de los componentes con más incidencias toxicas a nivel mundial y es bioacumulable, por esta razón muchos países han prohibido la producción y venta de Bifenilos Policlorados. En el Ecuador se han realizado pocos ensayos para conocer el impacto de este componente tóxico en el ecosistema pero en ellos se demostró que existía presencia de esta sustancia en el aceite utilizado en los transformadores y generaba complicaciones y problemas nocivos para la salud en los organismos vivos que estaban sometidos a vivir en un hábitat en presencia de PCB.

Mediante información secundaria se caracterizaron los compuestos químicos provenientes de los aceites dieléctricos, estos están compuestos por hidrocarburos nafténicos en un rango porcentual de 50 % a 60 %, parafínicos de 45 % a 55 % y aromáticos de 4 % a 7 %. Los PCB's Bifenilos Policlorados también forman parte de los aceites dieléctricos, es un compuesto orgánico que posee 54% de cloro presentando una alta toxicidad y considerado como uno de los doce componentes más contaminantes del mundo. Los aceites dieléctricos poseen una serie de características y propiedades, en donde destacan su capacidad como aislante y refrigerante, su alta resistencia a la oxidación, su gran estabilidad química y su tiempo de vida útil muy prolongado, en cuanto a las propiedades físicas posee un punto de inflamación alto lo que lo hace poco volátil y una baja viscosidad ayudando al transformador a disipar el calor generado durante su función.

Se cuantificaron los niveles de hidrocarburos totales obteniendo un resultado de 15 mg/Kg y la concentración de PCB de 70000 µg/L, es decir, 70 ppm, que en términos cualitativos indica que es considerada sustancia contaminada con PCB y por lo tanto se deben implementarse medidas de eliminación de PCB y manejo de residuos tóxicos por parte de los trabajadores de la CNEL Manabí.

Se determinaron los parámetros físicos de un suelo no contaminado por aceite dieléctrico y se obtuvo los siguientes resultados: pH 8.85, humedad 35%, conductividad de -65.3 mV y la temperatura 27.2 °C, luego se analizó un suelo contaminado por aceite dieléctrico brindando como resultados pH de 7.6, conductividad de -58.2 mV, Humedad de 33% y temperatura de 28.1 °C, estos datos indicaron que hay una variación evidente entre un suelo sin contaminar y uno contaminado por estos aceites debido a las diferentes características físicas entre ambos y por esa razón causan un impacto en el ecosistema terrestre.

Se evaluó la toxicidad de los desechos de los aceites dieléctricos escogiendo al suelo como ecosistema y como modelo biológico lombrices de tierra de la especie *Eisenia Foetida* para el bioensayo de ecotoxicidad aguda basada en la norma OECD 423 para conocer la concentración letal media que se obtuvo con el método Probit y se complementó con la prueba **CL₅₀** dando como resultado que el aceite a una concentración de 0.01 % tenía menos de 50 ppm de PCB con los cuales es oportuno manifestar que los residuos de aceites dieléctricos ocasionan un impacto grave al ecosistema incluso a menores concentraciones de lo obtenido en el presente trabajo de investigación.

10. Recomendaciones

Los trabajadores y directivos de la CNEL deberían capacitarse más en cuanto al manejo de residuos de transformadores, deberían realizar análisis de PCB para conocer la concentración de este antes de desechar los aceites, también deberían implementar mecanismos de reducción de desechos para evitar inconvenientes futuros.

Antes de realizar ensayos de laboratorio y caracterización física y química se recomienda hacer una exhaustiva búsqueda de información bibliográfica procedente de fuentes confiables para empaparse del tema y tener un conocimiento más profundo acerca de los aceites dieléctricos y PCB, sus características y propiedades.

Al momento de realizar una determinación de parámetros físicos y químicos en aceites dieléctricos y muestras de suelo se recomienda hacerlo In situ porque así los valores concedidos por el equipo con el cual se está trabajando son más exactos. Al trabajar con aceite dieléctrico es aconsejable tomar todas las precauciones al momento de realizar ensayos debido a que contiene PCB y es un componente altamente tóxico, tener todo el equipo de seguridad que demanda realizar una prueba con este compuesto, gorro, mascarilla, mandil, gafas de protección, guantes y sobre todo trabajar en un lugar con buena ventilación como indica la ficha técnica que reposa en el Anexo 4. Los límites máximos de exposición a esta sustancia no debe ser mayor a 0.05 ppm en una duración no mayor de 15 minutos puesto que si se excede a este tiempo puede ser perjudicial.

Los ensayos con modelos biológicos demandan una enorme concentración y un seguimiento correcto de las etapas del procedimiento, se deben seguir modelos experimentales avalados científicamente. Los métodos OECD empleados en este trabajo de investigación son altamente recomendados.

Presupuesto

RECURSO	VALORES
Uso de internet para la adquisición de material bibliográfico	US \$ 100, ⁰⁰
Experimentos y análisis	US \$ 1000, ⁰⁰
Reactivos y sustancias químicas	US \$ 1000, ⁰⁰
Impresión de documentos	US \$ 50,00
Fotocopias	US \$ 50,00
Material de oficina	US \$ 100,00
Transporte	US \$ 120,00
Alimentación	US \$ 10,00
Subtotal	US \$ 2430,00
Imprevistos (10%)	US \$ 243,00
Total	US \$ 2673,00

Cronograma

Actividades	2015															
	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elaboración del Anteproyecto																
Presentación del Anteproyecto																
Corrección del Anteproyecto																
Aprobación del Anteproyecto																
Recopilación de información																
Pruebas y análisis																
Obtención de resultados																
Tabulación de resultados																
Análisis de Resultados																
Presentación del trabajo final																
Corrección del trabajo Final de Tesis																
Sustentación de Tesis																

Bibliografía

- Acevedo Fernández, Juan José . «Modelos in vitro para la evaluación y caracterización.» *omniascience.com*. 2013.
<http://omniascience.com/monographs/index.php/monograficos/article/viewFile/38/6> (último acceso: 6 de Octubre de 2015).
- Ambientum. «Eliminación de PCB.» *Revista Ambientum*, Mayo 2003.
- Antolín, Juan Manuel. *Influencia en la acumulación de PCB's por fertilización con bio-residuos en suelos agrícolas*. Febrero de 2011.
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/823/1/TESIS97-110331.pdf> (último acceso: 5 de Octubre de 2015).
- Arrarían, Sergio. *Expo Bioquímica*. 29 de Abril de 2014.
<https://prezi.com/msrainop5ucn/expo-bioquimica/> (último acceso: 3 de Octubre de 2015).
- Arteno, Julio. «"EXPERIENCIA DE ANÁLISIS DE AZUFRE CORROSIVO EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA, EN UNA EMPRESA TRANSMISORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA".» *Cacier.com*. Agosto de 1 de 2011.
www.cacier.com.ar/Reuniones/2011CITTES/SALAS/.../1200_022.ppt (último acceso: 5 de Septiembre de 2015).
- Artica, José. *Bioacumulación y Biomagnificación*. s.f.
www.educagratias.org/moodle/mod/resource/view.php?id=17351 (último acceso: 12 de Octubre de 2015).
- Castaño Orozco, Jhon Mauricio. «Metodología de Gestión Ambiental para Aceite Dieléctrico de Transformador: “Análisis del Ciclo de Vida (ACV)”» *Universidad Nacional de Colombia*. 2013.
<http://www.bdigital.unal.edu.co/12032/1/75083469.2014.pdf> (último acceso: 16 de Agosto de 2015).

- Castillo, Xiomara. *Determinación de los indicadores biológicos de suelos agrícolas*. 19 de Febrero de 2013. <http://www.monografias.com/trabajos95/determinacion-indicadores-biologicos-suelos-agricolas/determinacion-indicadores-biologicos-suelos-agricolas.shtml> (último acceso: 18 de Agosto de 2015).
- Cricyt. «Ensayos de toxicidad.» *cricyt.edu.ar*. s.f. <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Ensayosde.htm> (último acceso: 6 de Octubre de 2015).
- Cuevas Díaz, María del Carmen . *Métodos ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos*. México: INECC, 2012.
- Daphnia. *El difícil adiós de los PCB*. Octubre de 2003. <http://www.daphnia.es/revista/32/articulo/107/El-dificil-adios-de-los-PCB> (último acceso: 5 de Octubre de 2015).
- Dominguez Tirado, Carlos. «Identificar y seleccionar criterios para la categorización de las sustancias químicas que apoye su manejo sustentable en el país.» *inecc.gob.mx*. Junio de 2010. http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/inventarioNSQ/download/informe_ecotoxicologico.pdf (último acceso: 6 de Octubre de 2015).
- Doria Serrano, María del Carmen, Jorge Ibañez Cornejo, y Rosa María Mainero Mancera. «Determinación de la acidez del suelo.» En *Experimentos de química en microescala para nivel medio superior*, de María del Carmen Doria Serrano, Jorge Ibañez Cornejo y Rosa María Mainero Mancera, 117-119. México D.F.: Universidad Iberoamericana, 2009.
- Ecología de Hoy. *Bifenilos policlorados*. 26 de Octubre de 2011. <http://www.ecologiahoy.com/bifenilos-policlorados> (último acceso: 5 de Octubre de 2015).
- Flynn, Leonard. *Preocupación Sobre la Salud Pública Acerca de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ambiente*. 1997. <http://www.mitosyfraudes.org/Pesti/HechosPCB.html> (último acceso: 17 de Agosto de 2015).

- Fonseca, Octavio. «Ensayos al Aceite Dieléctrico... Diagnósticos esenciales en cualquier programa de Mantenimiento Eléctrico.» *Kay Electric C.A. s.f.* <http://www.kayelectric.com.ve/ima/pdf/04.pdf> (último acceso: 17 de Agosto de 2015).
- Gil, Isabel. «Transformadores.» *Brettis soluciones para la industria.* 2012. <http://www.brettis.com/Tutorial/08Transformadores.pdf> (último acceso: 18 de Agosto de 2015).
- Greenfacts. *PCB Bifenilos Policlorados.* s.f. <http://www.greenfacts.org/es/pcb/> (último acceso: 2 de Octubre de 2015).
- IDEAM. «Determinación de Bifenilos Policlorados (PCB) en aceites dieléctricos por cromatografía de gases con detector de captura de electrones.» *Metropol.* 15 de Febrero de 2013. <http://www.metropol.gov.co/Residuos/Documents/PROTOCOLOS%20ANALISIS%20PCBs/M2-SAPc-01%20DETERMINACION%20DE%20PCB%20EN%20ACEITES%20DIELECTRICOS.pdf> (último acceso: 16 de Agosto de 2015).
- INECC. «Peligrosidad de las sustancias químicas.» *inecc.gob.mx.* 15 de Noviembre de 2007. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/131/peligrosidad.html> (último acceso: 6 de Octubre de 2015).
- Interkek. *Determinación de TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo).* 2013. <http://www.intertek.es/medioambiente/determinacion-de-tph/> (último acceso: 10 de Octubre de 2015).
- Jimenez, Lizbeth. «Rigidez Dieléctrica.» *Academia de Física del CBTIS.* 17 de Noviembre de 2010. <https://sites.google.com/site/fisicacbtis162/services/2-4-2-rigidez-dielectrica> (último acceso: 21 de Septiembre de 2015).
- Jonas, Hans. «Metodología del análisis del ciclo de vida.» *Tesis doctorales en red.* 2013. <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6827/04CAPITOL3.pdf;jsessionid=9B73D> (último acceso: 1 de Octubre de 2015).

MAE. «Acuerdo ministerial de procedimientos para la gestión ambiental racional de PCB.» *ambiente.gob.ec*. s.f. <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/05/ACUERDO-MINISTERIAL-DE-PROCEDIMIENTOS-PARA-LA-GESTI%C3%93N-AMBIENTALMENTE-RACIONAL-DE-PCB.pdf> (último acceso: 13 de Octubre de 2015).

Méndez, Ángeles. *Hidrocarburos aromáticos*. 25 de Junio de 2010. <http://quimica.laguia2000.com/quimica-organica/hidrocarburos-aromaticos> (último acceso: 1 de Septiembre de 2015).

Ministerio del Ambiente. «MAE promueve Proyecto de Gestión Integral y Ambientalmente adecuada de los Bifenilos Policlorados.» *MAE*. 30 de Abril de 2013. <http://www.ambiente.gob.ec/mae-promueve-gestion-integral-y-ambientalmente-adecuada-de-los-bifenilos-policlorados/> (último acceso: 4 de Octubre de 2015).

Muro Pereg, José Ramón, y Javier Fernández de la Hoz . «Análisis de Ciclo de Vida de 1kWh Generado por un Parque Eólico Onshore GAMESA G90-2.0MW.» *Cooperación Gamesa*. 1 de Junio de 2013. <http://www.gamesacorp.com/recursos/doc/rsc/compromisos/clientes/certificaciones-ohsas-y-i/informe-analisis-ciclo-de-vida-g90.pdf> (último acceso: 18 de Agosto de 2015).

Niembro García, Isabel Joaquina, y María Margarita González Benítez. «Categorías de evaluación de impactos de ciclo de vida vinculadas con energía, revisión y prospectiva.» *Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech*. 9 de Julio de 2008. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/7767/Niembro_1180_1190\[1\].pdf?sequence=1](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/7767/Niembro_1180_1190[1].pdf?sequence=1) (último acceso: 18 de Agosto de 2015).

Nova Miron. *Propiedades y degradación del aceite dieléctrico en transformadores eléctrico*. s.f. <http://www.novamiron.com.ar/nota4.html> (último acceso: 18 de Agosto de 2015).

Orellana, Francisco Funes. «Inventario Nacional de Honduras en transformadores que contienen PCB y su sustitución.» *UMOAR*. Mayo de 2006.

<http://umoar.edu.sv/biblio/tesis/Ingenieria%20en%20Electricidad/transformadores%20y%20sustitucion.pdf> (último acceso: 6 de Octubre de 2015).

Roldán, Elías. *EL PETROLO: Tipos de Hidrocarburos*. 24 de Junio de 2010. <http://ingesaerospace-mechanicalengineering.blogspot.com/2010/06/el-petrol-tipos-de-hidrocarburos.html> (último acceso: 1 de Septiembre de 2015).

Salazar, Jesus. «Análisis de contaminantes.» *Monografías.com*. 15 de Marzo de 2013. <http://www.monografias.com/trabajos96/analisis-contaminantes-petroleo-crudo/analisis-contaminantes-petroleo-crudo.shtml> (último acceso: 19 de Septiembre de 2015).

Scielo. «Evaluación de la toxicidad aguda oral e irritación sobre mucosa bucal de la solución cm-95 tratada magnéticamente.» *scielo.org.ar*. 2008. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ata/v16n2/v16n2a02.pdf> (último acceso: 6 de Octubre de 2015).

Sea Marconi. *Azufre Corrosivo*. 2012. <http://www.seamarconi-soluciones.biz/zolfo-corrosivo> (último acceso: 17 de Agosto de 2015).

Steen, Bengt. *Abiotic Resource Depletion Different perceptions of the problem with mineral deposits*. Estocolmo, 2006.

Tejedor. *Identificación de PCBs como contaminantes*. 2010. http://www2.uah.es/tejedor_bio/bioquimica_ambiental/T2_PCBs.pdf (último acceso: 5 de Octubre de 2015).

Universidad de Mendoza. *Principio de funcionamiento de un transformador*. 2008. <http://www.um.edu.ar/catedras/claroline/backends/download.php?url=L2FwdW50ZXMvdHJhbnNmb3JtYWVRvcmVzLnBkZg==&cidReset=true&cidReq=ELECTAPLI> (último acceso: 15 de Octubre de 2015).

Villareal, David. *UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR*. 2014. [file:///C:/Users/Familia/Downloads/TESINA%20FINAL%20PROGRESO%2024%20-%20sin%20fotos%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Familia/Downloads/TESINA%20FINAL%20PROGRESO%2024%20-%20sin%20fotos%20(1).pdf) (último acceso: 24 de Noviembre de 2015).

Witold Kopytynski. *PCBs - Contaminación y Toxicidad*. 13 de Septiembre de 2000.
<http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=955> (último acceso: 2 de Octubre de 2015).

Zambrano García, Carmen Graciela. «Plan de Gestión Ambiental para el Manejo y Almacenamiento Temporal de los Transformadores y Aceites Contaminados con Bifenilos Policlorados - PCB's.» *Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral*. 2007.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13444/3/zambrano%20garcia.pdf> (último acceso: 27 de Agosto de 2015).

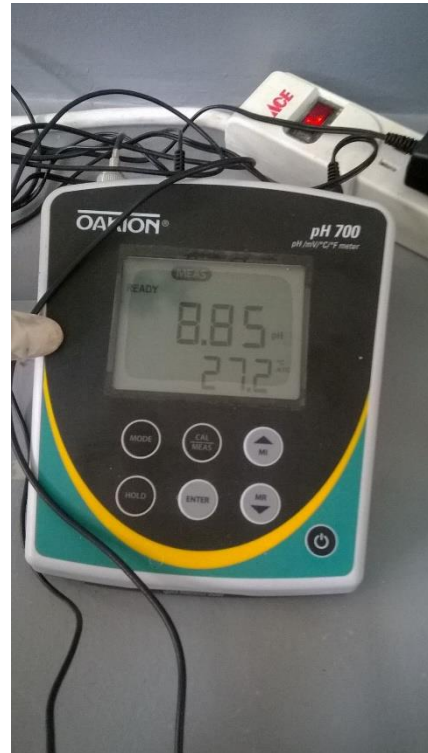
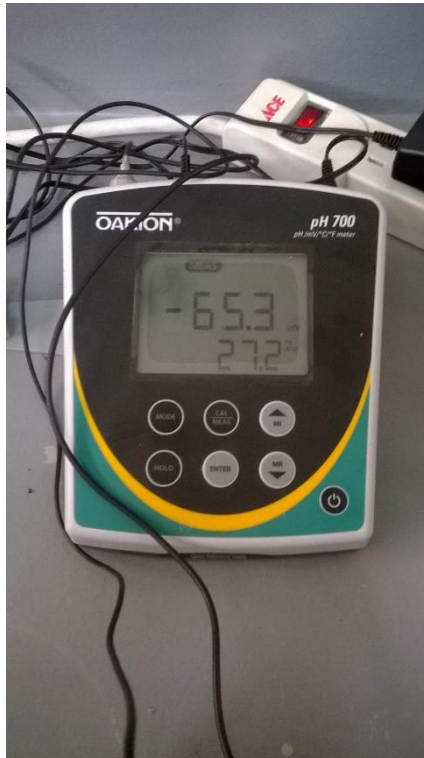
ANEXOS

Anexo 1. Actividades realizadas

Anexo 1.1. Recolección de muestras de aceite en la CNEL Manabí en Manta y Portoviejo

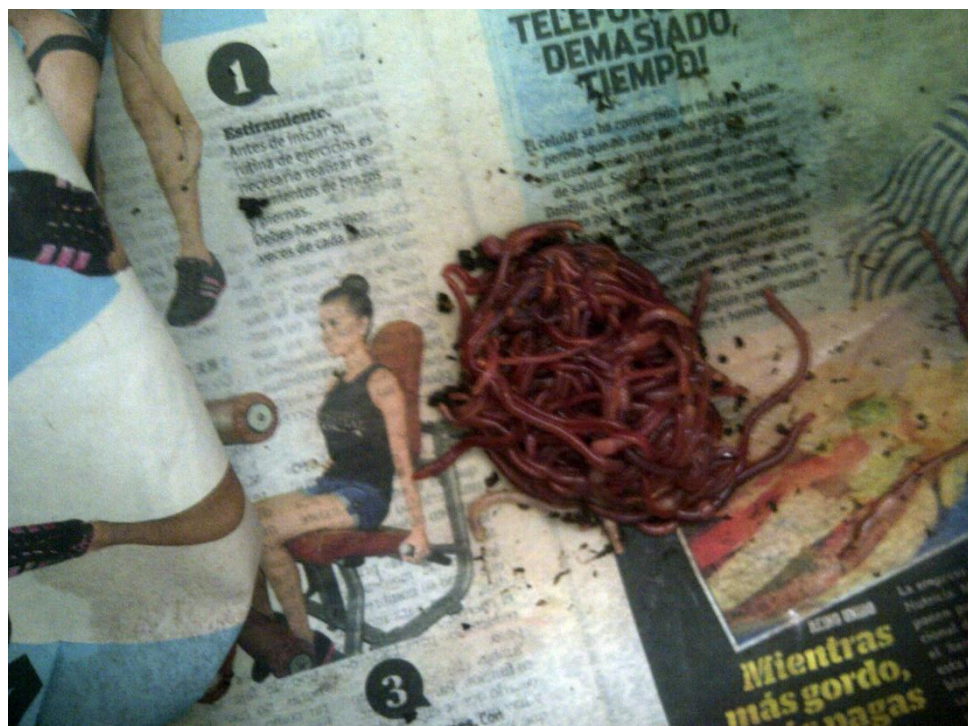


Anexo 1.2. Determinación de parámetros físicos en la muestra de aceite dieléctrico

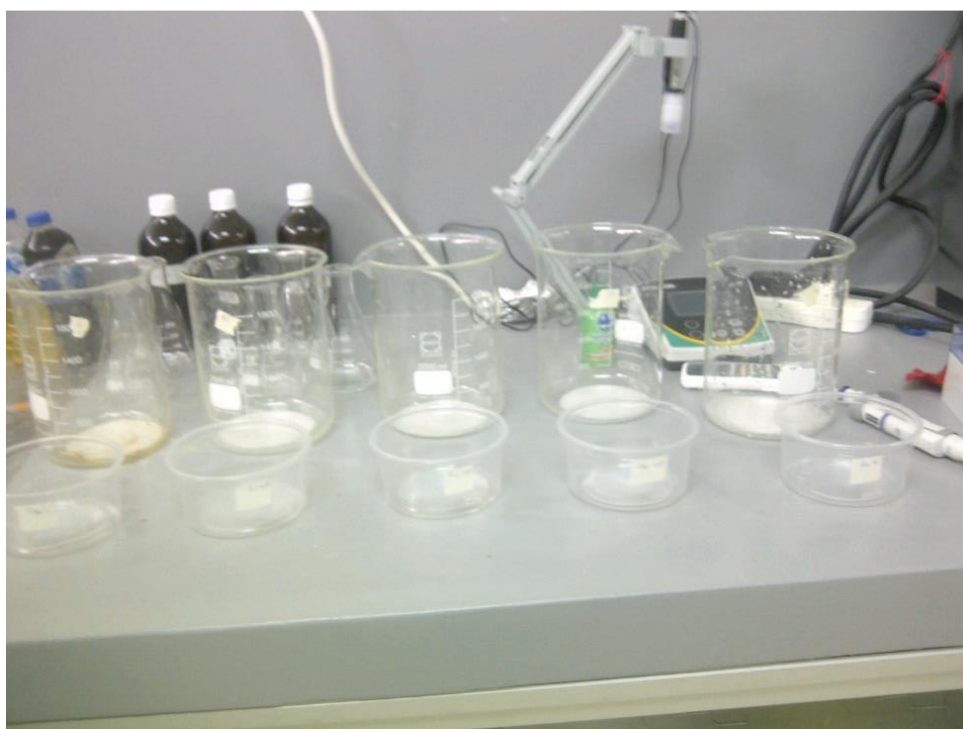


Anexo 1.3. Ensayo de toxicidad aguda con la lombriz *Eisenia Foetida* (Prueba de sensibilidad)

Anexo 1.3.1. Muestras de organismos para realizar modelos biológicos (lombriz *Eisenia Foetida*)



Anexo 1.3.2. Preparación de las diluciones de aceite



Anexo 1.3.3. Recipientes con papel filtro



Anexo 1.3.4. Conteo de lombrices vivas y muertas



Anexo 1.4. Ensayo de toxicidad aguda con la lombriz *Eisenia Foetida* (Prueba de suelo artificial)

Anexo 1.4.1. Dilución y preparación de los recipientes con las muestras de suelo



Anexo 1.4.2. Conteo de las lombrices vivas y muertas



Anexo 1.5. Prueba CL50

Anexo 1.5.1. Preparación de las muestras



Annex 1.5.2. Kit Desir Color-N-Oil 50 ppm.



Anexo 1.5.3. Procedimiento de la prueba CL50.



Anexo 1.5.4. Resultado de la prueba CL50.



Anexo 2. Autorizaciones de la CNEL Manabí

Anexo 2.1. Autorización de la CNEL Portoviejo

Portoviejo, 25 de agosto del 2015

Ingeniero
Silvio Larrea
Director Regional CNEL de Portoviejo
Ciudad.-

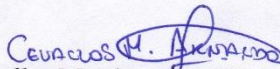
Reciba el más cordial de nuestros saludos.

Nosotros; **Arteaga Cevallos José Alex** y **Cevallos Mendoza Arnaldo Narcizo** estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química de la **Universidad Técnica de Manabí**; solicitamos a usted la autorización para el acceso a los predios de la Estación Andres de Vera, donde se almacena los aceites dieléctricos; por motivos que nuestra Tesis de Grado busca evaluar el posible riesgo de contaminación de estos aceites dieléctricos en los predios de la CNEL; colaborando a su gestión en beneficio de contar con una evaluación ambiental para evitar los posibles riesgos de contaminación que podrían existir.

Agradeciendo su atención a la presente, seguro de contar con su agradable repuesta, sin más a que referirnos; nos despedimos.

Atentamente,


Arteaga Cevallos José
131274526-6


Cevallos Mendoza Arnaldo
131358348-4

Copia: Ing. Jorge Espinel
Jefe del departamento de Andrés de Vera

#1936.
RECIBIDO ARCHIVO
Fecha: 25/08/15
10:02
C9

AUTORIZADO EL INGRESO
Ing. CARLOS CEVALLOS
En FAVOR DE LAS FACILIDADES
DEL CASO A LOS DOS
COMPAÑEROS.



Anexo 2.2. Autorización de la CNEL Manta

Manta, 24 de agosto del 2015

Ingeniero
Richard Vera
Administrador CNEL Manabí
Ciudad.-

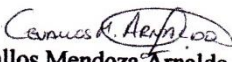
Reciba el más cordial de nuestros saludos.

Nosotros; **Arteaga Cevallos José Alex y Cevallos Mendoza Arnaldo Narcizo** estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química de la **Universidad Técnica de Manabí**; solicitamos a usted la autorización para el acceso a los predios de la Central Miraflores, donde se almacena los aceites dieléctricos; por motivos que nuestra Tesis de Grado busca evaluar el posible riesgo de contaminación de estos aceites dieléctricos en los predios de la CNEL; colaborando a su gestión en beneficio de contar con una evaluación ambiental para evitar los posibles riesgos de contaminación que podrían existir.

Agradeciendo su atención a la presente, seguro de contar con su agradable repuesta, sin más a que referirnos; nos despedimos.

Atentamente,


Arteaga Cevallos José
131274526-6


Cevallos Mendoza Arnaldo
131358348-4

Copia: Ec. Carlos Alberto Diez Torres
Director Financiero CNEL Manabí

CNEL EP - MAN
DEPARTAMENTO DE ARCHIVO

24 AGO 2015

FIRMA FLWAMO ROA
16:23

FINANCIERO

4459-6

Anexo 3. Resultados de las pruebas realizadas en Grupo Químicos Marcos

	INFORME DE ENSAYOS No. 52357-1
---	--

CEVALLOS MENDOZA ARNALDO NARCIZO

Representante Legal: CEVALLOS MENDOZA ARNALDO NARCIZO

35 de Septiembre y Oswaldo Lora y Benjamín Carrion

Manabí, Tel. 0979527813-052417182

Atención: Ing. Arnaldo Cevallos

Guayaquil, 19 DE OCTUBRE DEL 2015

Tipo de Industria

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 01/10/15 10:30 Portoviejo

Fecha y Hora de Recepción: 06/10/15 13:09

Punto e Identificación de la Muestra: Aceite dieléctrico ASKATEL

Norma Técnica de muestreo: N/A

Matriz de la muestra: ACEITE DIELECTRICO

Muestreado por: CEVALLOS MENDOZA ARNALDO NARCIZO

Muestreador: Cliente

Tipo de Muestreo: No Aplica

GRUPO QUÍMICOS MARCOS S.A. LÍMITE

LA AUSENCIA DE ESTE SELLO IMPlica EL

ORDEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-08

Parámetro	Resultado	U X=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS ORGANICOS:					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (3)	12.00	25406	mg/Kg	PEE-GOM-FD-56	06/10/15 ER
		ml			
Parámetro	Resultado	U X=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
COMPONENTES ORGANICOS:					
Polychlorinated Biphenyls (1)	70.00	—	mg/Kg	6451	02/10/15 DT

---	No Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 ^a edición
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible	
U	Incógnita	P.E.S.	Procedimiento específico de ensayo de OSM	

- 1) Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano
- 2) Parámetros subcontratados no acreditados
- 3) Parámetros acreditados: cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4) Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratado; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec



Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q. F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de Calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a los resultados analizados.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con identificación expresa de G.Q.M.
Los Muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-43 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-5033907 / 2-503825135 / 0966-286653

www.grupoquimicosmarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MC2201-08

Pág. 1 de 1

Anexo 4. Ficha técnica de los aceites dieléctrico

Fichas Internacionales de Seguridad Química

BIFENILO POLICLORADO (AROCOR 1254)		ICSC: 0939	
		Octubre 1999	
Clorobifenilo (54% cloro)		Clorodifenilo (54% cloro)	PCB
CAS:	11097-69-1	Masa molecular: 327 (media)	 
RTECS:	TQ1360000		
NU:	2315		
CE Índice Anexo I:	602-039-00-4		
CE / EINECS:	215-648-1		

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: polvo, dióxido de carbono,
EXPLOSIÓN			

EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡HIGIENE ESTRICTA!	
Inhalación		Ventilación.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar con agua y jabón. Proporcionar asistencia médica.
Ojos		Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor de cabeza. Aletargamiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Reposo. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Consultar a un experto. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Contaminante marino severo. Clasificación UE Símbolo: Xn, N R: 33-50/53; S: (2-)35-60-61 Nota: C Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 9 Grupo de Envasado NU: II

RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-90GM2-II-L	Separado de alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.

IPCS International Programme on Chemical Safety      
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

BIFENILO POLICLORADO (AROCLOR 1254)

ICSC: 0939

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido amarillo claro, viscoso.

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia se descompone al arder, produciendo gases tóxicos e irritantes.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 0.5 mg/m³ (como TWA), (piel), A3 (ACGIH 2004).
MAK: 0.05 ppm, 0.70 mg/m³, H (absorción dérmica), Categoría de limitación de pico: II(8), Cancerígeno: categoría 3B, Riesgo para el embarazo: grupo B (DFG 2004).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol, a través de la piel y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Cloracné es el efecto más visible. La sustancia puede afectar al hígado. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.

PROPIEDADES FÍSICAS

Densidad relativa (agua = 1): 1.5

Solubilidad en agua: ninguna

Presión de vapor, Pa a 25°C: 0.01

Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 6.30 (estimado)

DATOS AMBIENTALES

Puede producirse una bioacumulación de esta sustancia en organismos acuáticos. Evítese efectivamente que el producto químico se incorpore al ambiente.

NOTAS

Cambia a estado resinoso (punto de fluidez) a 10°C. Intervalo de destilación: 365-390°C. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2004: ver Límites de exposición, Clasificación UE, Respuesta de Emergencia

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 0,05 ppm; 0,7 mg/m³

Notas: vía dérmica. Alterador endocrino. Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© IPCS, CE 2005

GLOSARIO

Alquídica.- Son pinturas al aceite, pero son diferentes a las demás. La diferencia está en que las pinturas alquídicas usan una resina para unir los pigmentos al solvente oleoso.

Bioactivos.- Los compuestos bioactivos son componentes que tienen una actividad biológica dentro del organismo, que se traduce en beneficios para la salud.

Biota.- El término biótico se designa al conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada. Se dice, por ejemplo, biótico europea para referirse a la lista de especies que habitan en ese territorio. El término biótico puede desglosarse en flora y en fauna, según los límites establecidos en Botánica y en Zoología.

Céreo.- Que tiene alguna de las características visuales de la cera, como el color o el brillo.

Coliteados.- Los coliteados (Clitellata) son una clase de vermes anélidos, caracterizados por poseer un clitelo, un 'collar' que forma una envuelta reproductiva durante parte de su ciclo de vida.

Dioxinas.- Las dioxinas son un grupo de compuestos químicos que devienen contaminantes ambientales persistentes. Las dioxinas se encuentran en el medio ambiente por todo el mundo y debido a su persistencia se van acumulando a lo largo de la cadena alimentaria, principalmente en el tejido adiposo de los animales por su solubilidad en las grasas. Los productos de origen animal son los mayores contribuyentes a la ingesta de dioxinas por los humanos.

Ecotoxicidad.- La ecotoxicología estudia el destino y los efectos de los contaminantes en los ecosistemas, intentando explicar las causas y prever los riesgos probables. La ecotoxicología prospectiva evalúa la toxicidad de las sustancias antes de su producción y uso.

La ecotoxicología retrospectiva se ocupa de confirmar si la sustancia produce daños en el ecosistema.

Enrasar.- En química, se llama enrasar al procedimiento por el cual se lleva el volumen del líquido del material volumétrico al deseado. El procedimiento en general consiste en hacer coincidir el máximo o mínimo (según material) de la parábola formada en el límite líquido-aire (menisco), con la marca (ya sea aforo o graduada) del elemento. Ésta medición debe llevarse a cabo teniendo la marca de enrase justo a la altura de los ojos.

Epóxica.- Las pinturas Epóxicas son recubrimientos de alta resistencia a diferentes ataques, son sistemas de dos componentes, ya que están compuestas en su mayoría por una parte que contiene la resina Epoxi y en la otra parte el reactor o endurecedor que normalmente son a base aminas o de poliamidas. Su secado se produce luego de la reacción química entre los 2 compuestos, después de evaporarse el disolvente.

Furanos.- El furano es un compuesto orgánico heterocíclico aromático de cinco miembros con un átomo de oxígeno. Es un líquido claro, incoloro, altamente inflamable y muy volátil, con un punto de ebullición cercano al de la temperatura ambiente. Es tóxico y puede ser carcinógeno.

Histéresis.- La histéresis es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado.

In situ.- In situ es una expresión latina que significa «en el sitio» o “en el lugar” y que suele utilizarse para designar un fenómeno observado en el lugar, o una manipulación realizada en el lugar.

In vitro.- Se refiere a una técnica para realizar un determinado experimento en un tubo de ensayo, o generalmente en un ambiente controlado fuera de un organismo vivo.

In vivo.- significa "que ocurre o tiene lugar dentro de un organismo". Este tipo de investigación se aproxima al sujeto de experimentación holísticamente. Es a menudo más apropiado para la observación de efectos finales y totales para un experimento en el sujeto viviente.

Integumentario.- (Sistema) El sistema integumentario en su conjunto tiene la función básica, aunque no la única, de la protección del cuerpo, y una de cuyas

partes, la piel, es un sorprendente "traje" que nos protege y abriga con características muy especiales: dura toda la vida si se cuida razonablemente y se repara por sí misma si sufre averías menores. La piel y sus "anexos": glándulas sudoríferas; glándulas sebáceas; folículos pilosos; y uñas forman un complejo sistema de órganos protectores.

Lacas.- Es una sustancia que se forma en las ramas de ciertos árboles a partir de la exudación que generan las picaduras de insectos que mueren envueltos en el líquido que hacen fluir. Dicha sustancia, que es traslúcida y resinosa, se utiliza para desarrollar un barniz duro y brillante.

Portoviejo, 08 de diciembre de 2015

Yo Ing. Virginia Sánchez Mendoza en calidad de Tutora del Trabajo de Titulación de los egresados de la Escuela de Ingeniería Química; **Arteaga Cevallos José Alex C.I.: 1312745266, Cevallos Mendoza Arnaldo Narcizo C.I.:1313583484** autores del trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN QUÍMICO AMBIENTAL DE LOS ACEITES DIELECTRICOS EN LOS PREDIOS DE LA CNEL MANABÍ 2015”**, estimamos conveniente realizar la siguiente aclaración respecto al tema antes mencionado; señalando que la evaluación realizada corresponde a una EVALUACIÓN QUÍMICO EXCOTOXICOLÓGICO DE LOS ACEITES DIELECTRICOS CONTENIDO EN LOS TRANSFORMADORES UBICADOS EN LOS PREDIOS DE LA CNEL MANABÍ por lo que esperamos no se dé al lugar a equivocaciones en el análisis del presente trabajo de titulación.

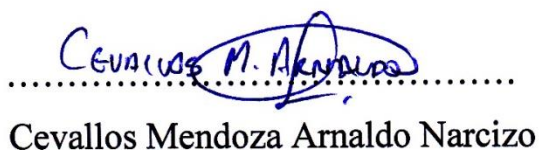
Atentamente,



Ing. Virginia Sánchez Mendoza



Arteaga Cevallos José Alex



Cevallos Mendoza Arnaldo Narcizo