



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE POSGRADO Y FORMACIÓN CONTINUA

**INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN
AMBIENTAL**

**MODALIDAD:
TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TEMA:
EVALUACIÓN DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN LA
DISMINUCIÓN DE PCBs EN SUELOS DEL TALLER DE
TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ - MANTA**

**AUTOR:
ING. ISRAEL STEVEN TELLO SASAHUAY**

**TUTOR:
ING. JONATHAN CHICAIZA INTRIAGO, M. Sc.**

CALCETA, FEBRERO DE 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

ISRAEL STEVEN TELLO SASAHUAY, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, que se han respetado los derechos de autor de terceros, por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido del mismo, así como ante la reclamación de terceros, conforme a los artículos 4, 5 y 6 de la Ley de Propiedad Intelectual.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido en el artículo 46 de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

ISRAEL STEVEN TELLO SASAHUAY

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

JONATHAN GERARDO CHICAIZA INTRIAGO, certifica haber tutelado el Trabajo de titulación titulado: **EVALUACIÓN DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN LA DISMINUCIÓN DE PCBs EN SUELOS DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ – MANTA**, que ha sido desarrollado por **ISRAEL STEVEN TELLO SASAHUAY**, previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE POSGRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. JONATHAN CHICAIZA INTRIAGO, M. Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de titulación titulado: **EVALUACIÓN DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN LA DISMINUCIÓN DE PCBs EN SUELOS DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ – MANTA**, que ha sido desarrollado por **ISRAEL STEVEN TELLO SASAHUAY**, previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE POSGRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

**M. Sc. JOSÉ MANUEL
CALDERÓN PINCAY**

MIEMBRO

**M. Sc. LAURA GEMA
MENDOZA CEDEÑO**

MIEMBRO

**D. Sc. FRANCISCO JAVIER
VELÁSQUEZ INTRIAGO**

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A la Empresa Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP Unidad de Negocio Manabí y en especial al departamento de Responsabilidad Social, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional por brindarme el apoyo en la ejecución de este presente trabajo de investigación.

A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y a su vez a la Facultad de Ciencias Agropecuarias por su apertura en los laboratorios y colaboración en los ensayos.

A mi tutor Ing. Jonathan Chicaiza por brindarme su apoyo, conocimiento y asesoría durante la dirección y desarrollo de este trabajo.

ISRAEL STEVEN TELLO SASAHUAY

DEDICATORIA

A Dios que siempre me acompaña, a mi familia que siempre me brinda su apoyo en cada paso y continuo crecimiento personal y profesional, y en especial a mi compañera de vida Denisse y mis princesas Danna y Addison personas que son el pilar fundamental de mi vida.

Con todo mi amor.

ISRAEL STEVEN TELLO SASAHUAY

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
CONTENIDO GENERAL	vii
CONTENIDO DE TABLAS Y FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4 HIPÓTESIS	5
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 MARCO LEGAL	6
2.1.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR	6
2.1.2 CONVENIO DE ESTOCOLMO	6
2.1.3 CONVENIO DE BASILEA	7
2.1.4 ACUERDO MINISTERIAL N°146 DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE	7
2.1.5 TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA MEDIO AMBIENTE	7
2.2 CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD	7
2.2.1 CNEL MANABÍ	8
2.2.1.1. Taller de transformadores CNEL Manabí	8
2.3 ACEITES DIELECTRICOS	9
2.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES	10
2.4.1 BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs)	10
2.5 RIESGOS DE LOS PCBs EN LA SALUD Y EL AMBIENTE	13
2.6 SUELOS	14
2.6.1 HORIZONTES DEL SUELO	14
2.6.2 TIPOS DE SUELOS	15

2.6.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO	16
2.7 PROCESOS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PCBs	17
2.7.1 TRATAMIENTOS QUÍMICOS	18
2.8 REACCIÓN FENTON	18
2.11 INDICADORES	19
2.12 MANEJO DE BIFENILOS POLICLORADOS	21
2.13 GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES	22
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	24
3.1 UBICACIÓN	24
3.2 DURACIÓN	24
3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS	25
3.3.1 MÉTODOS	25
3.3.2 TÉCNICAS	26
3.4 FACTOR DE ESTUDIO	26
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL	27
3.5.1 MODELO MATEMÁTICO DEL DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR	28
3.6 UNIDAD EXPERIMENTAL	28
3.7 VARIABLES	29
3.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE (CAUSA)	29
3.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE (EFECTO)	29
3.7.3 VARIABLE FIJA DE PROCESO	29
3.8 MANEJO DEL EXPERIMENTO	30
FASE I. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN EL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ	30
FASE II. IDENTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO QUE DISMINUYA EL CONTENIDO DE PCBs EN SUELOS DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ.	31
FASE III. ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA EL MANEJO DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs) DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ.	33
3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN EL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ	37
4.2 IDENTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO QUE DISMINUYA EL CONTENIDO DE PCBs EN SUELOS DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ.	38

4.3 ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA EL MANEJO DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs) DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ.	55
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1 CONCLUSIONES	59
5.2 RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	69

CONTENIDO DE TABLAS Y FIGURAS

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2-1. Nombres generales de los PCBs.	11
Tabla 3-1. Esquema del análisis estadístico.	28
Tabla 3-2. Dispersión de cada unidad experimental.	29
Tabla 3-3. Variables fijas del proceso.	30
Tabla 3-4. Parámetros físicos y químicos.	31
Tabla 3-5. Análisis de suelos remediado	33
Tabla 3-6 Secciones ponderadas	35
Tabla 4-1. Caracterización físicos y químico del suelo del taller de transformadores.	38
Tabla 4-2. Supuesto de normalidad de varianza.	39
Tabla 4-3. Prueba de homogeneidad de varianza.	40
Tabla 4-4. ANOVA de la variable Densidad Real.	40
Tabla 4-5 Prueba Tukey de la variable Densidad Real.	41
Tabla 4-6 ANOVA de la variable Densidad Aparente.	42
Tabla 4-7 Prueba Tukey de la variable Densidad Aparente.	42
Tabla 4-8 ANOVA de la variable Porosidad.	43
Tabla 4-9 Prueba Tukey de la variable Porosidad.	44
Tabla 4-10 ANOVA de la variable Resistencia.	46
Tabla 4-11 Prueba Tukey de la variable Resistencia.	46
Tabla 4-12 ANOVA de la variable pH.	48
Tabla 4-13 Prueba Tukey de la variable pH.	48
Tabla 4-14 ANOVA de la variable Materia Orgánica.	50
Tabla 4-15 Prueba Tukey de la variable Materia Orgánica.	50
Tabla 4-16 ANOVA de la variable PCBs.	52
Tabla 4-17 Prueba Tukey de la variable PCBs.	52
Tabla 4-18 Resultados valoración de guía	57

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3-1 Ubicación del proyecto de investigación, taller de transformadores.	24
Figura 3-2 Distribución de los tratamientos de acuerdo al DCA.	27
Figura 3-3 Dimensiones de cama.	29
Figura 4-1 Gráfico de cajas densidad real.	41
Figura 4-2 Gráfico de cajas densidad aparente.	43
Figura 4-3 Gráfico de cajas Porosidad.	45
Figura 4-4 Gráfico de cajas Resistencia.	47
Figura 4-5 Gráfico de cajas pH.	49
Figura 4-6 Gráfico de cajas Materia orgánica.	51
Figura 4-7 Gráfico de cajas Porosidad.	53
Figura 4-8 Remoción de PCBs.	55
Figura 4-9 Distribución del personal socializado.	56

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad evaluar la concentración de Peróxido de Hidrógeno en suelos contaminados con PCBs del taller de transformadores de CNEL EP en la ciudad de Manta. Inicialmente para determinar la situación actual se analizó las características físicas y químicas del suelo obteniendo una resistencia de 1,49 N, porosidad 4,66%, pH 7,93, densidad real 0,95 g/cm³, densidad aparente 0,91 g/cm³ y PCBs 0,12 mg/kg. Bajo un diseño completamente al azar se aplicó tres tratamientos con 4 repeticiones por cada uno; T1=20% H₂O₂, T2= 30% H₂O₂ y T3= 40% H₂O₂ utilizando 100 ml de oxidante por 4 días y como catalizador se utilizó 10 g el sulfato ferroso heptahidratado (FeSO₄7H₂O). Los resultados estadísticos cumplieron con las pruebas de normalidad y homocedasticidad de varianza, demostrando por medio de la prueba de Tukey al 5% de error que no existió una diferencia significativa entre los parámetros, sin embargo, en el T₃ presentó diferencia estadísticamente significativa (sig=0,000) en la variable PCBs ubicándose el T₃ en el primer subconjunto con una media de 0,24289 mg/kg, con un 51% de reducción del contaminante PCBs cumpliendo con la tabla 2 del anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A de la Normativa Ambiental del Ecuador. Finalmente se realizó y socializó con los trabajadores una Guía para el manejo de bifenilos policlorados PCBs en la empresa CNEL EP.

PALABRAS CLAVE

Oxidación química, Bifenilos policlorados, remediación, peróxido de hidrógeno, normativa ambiental.

ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the concentration of Hydrogen Peroxide in soils contaminated with PCBs from the CNEL EP transformer workshop in Manta city. Initially, to determine the current situation, the physical and chemical characteristics of the soil were analyzed, obtaining a resistance of 1.49 N, porosity 4.66%, pH 7.93, real density 0.95 g/cm³, apparent density 0.91 g./cm³ and PCBs 0.12 mg/kg. Under a completely randomized design, three treatments were applied with 4 repetitions for each one; T1=20% H₂O₂, T2= 30% H₂O₂ and T3= 40% H₂O₂ using 100 ml of oxidant for 4 days and 10 g of ferrous sulfate heptahydrate (FeSO₄7H₂O) was obtained as a catalyst. The statistical results complied with the normality and homoscedasticity of variance tests, demonstrating by means of the Tukey test at 5% error that there was no significant difference between the parameters, however, in T3 it presented a statistically significant difference (sig= 0.000) in the PCBs variable, placing T3 in the first subset with an average of 0.24289 mg/kg, with a 51% reduction in the PCBs contaminant, complying with table 2 of annex 2 of Ministerial Agreement 097-A of the Regulations Environmental of Ecuador. Finally, a Guide for the management of polychlorinated biphenyls PCBs in the company CNEL EP was prepared and socialized with the workers.

KEY WORDS

Chemical oxidation, polychlorinated biphenyls, remediation, hydrogen peroxide, environmental regulations.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La industria eléctrica se encuentra en continuo desarrollo por el crecimiento de la población y por la demanda de energía eléctrica, lo que ha generado optar por productos químicos que mejoren el rendimiento de los equipos eléctricos. Beltrán (2013) considera que la utilización de hidrocarburos clorados como los Bifenilos Policlorados (PCBs) son útiles como aislante de aceites dieléctricos por su aislamiento térmico aumentando la vida útil de los equipos, esto debido a su resistencia a la oxidación y a la rigidez dieléctrica. Por otro lado, los PCBs son una familia de sustancias químicas orgánicas cloradas de alta toxicidad y persistentes en el medio ambiente, fueron utilizados ampliamente en el mundo desde 1929 hasta 1978 en equipos eléctricos como transformadores, condensadores, sistemas hidráulicos, así como también en la fabricación de pinturas, plásticos e insecticidas que han ocasionado contaminación al suelo, al aire y a la salud de las personas (Arbeli, 2009).

El Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE, 2015) menciona que se generaron a nivel mundial cerca de 1.324 millones de toneladas de PCBs desde 1930 hasta 1993, considerándose que la mayor productora fue la empresa Monsanto de Estados Unidos con casi un 50% de la producción total. En este sentido, los PCBs se consideraron excelentes por sus propiedades dieléctricas y de resistencia por ello las empresas eléctricas lo utilizan como aditivo en el aceite dieléctrico de los transformadores.

Por muchos años las empresas del sector eléctrico ecuatoriano han reportado derrames y fugas accidentales de PCBs en el suelo, estos se mantienen inmóviles en los suelos donde el carbono orgánico actúa como sumidero natural de las sustancias lipofílicas no polares (Tusso y Valero, 2018). En una investigación realizada por Morales et ál. (2017) en la empresa eléctrica CNEC Los Ríos determinó que de 121 pruebas de campo en transformadores de distribución el 10% de las mismas se encontraron contaminadas con PCBs que con relación al año de fabricación van desde 1996 hasta el año 2007 por lo que se puede evidenciar que

existen transformadores contaminados y muchos de ellos se encuentran en operación.

De acuerdo a la información de CNEL Manabí (2021) se reportaron 1.777 transformadores en mal estado, información proporcionada por el área de activos fijos, estos se encuentran guardados en el patio del taller de transformadores la cual es un área reducida con poco espacio físico que no cuenta con las medidas de seguridad correspondientes, debido a esto se ha provocado una acumulación de aceites dieléctricos con PCBs almacenados a la intemperie afectados por condiciones climáticas lo que ha provocado liqueos, fugas y derrame en el suelo por lo que se evidencia claramente un problema ambiental, social y legal. Dentro del informe de gestión de CNEL Manabí (2020) menciona que de 600 muestras realizadas 197 resultaron contaminadas con PCBs y que durante los análisis de suelos realizados en la bodega y taller de transformadores se evidencia su presencia por encima de la normativa ambiental.

Por esta razón se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuál será la concentración de peróxido de hidrógeno que permite la disminución de PCBs en el suelo del taller de transformadores de CNEL Manabí por debajo del límite máximo permisibles establecido en la tabla 2 del Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio del Ambiente del Ecuador?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación busca reducir la contaminación de los suelos producido por la presencia de PCBs, debido a que son considerados como desechos peligrosos y de gran importancia, reconocidos en el listado de sustancias tóxicas prohibidas del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes cuyo objetivo es proteger la salud y el medio ambiente, obligando a los países que forman parte del tratado, tomar medidas para eliminar y reducir la emisión de los Compuestos Orgánicos Persistentes, por tal razón la investigación se sustenta en lo siguiente.

Desde el punto de vista teórico la presente investigación planteará una propuesta de tratamiento por oxidación química mediante una reacción tipo Fenton, ingresando un agente oxidante como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y un catalizador (hierro) al suelo (Huling y Pivetz, 2006), para transformar los agentes contaminantes en productos menos tóxicos y reducir la concentración de Bifenilos policlorados en el suelo disminuyendo la contaminación significativamente beneficiando a la calidad de las poblaciones y bienes ambientales que están relacionados con la problemática que se investiga.

A partir del ámbito ambiental se destaca la afectación del suelo, por lo que es importante conocer si los compuestos con PCBs que al ser vertidos accidentalmente en el sustrato afectan la calidad del mismo (González, 2019). Y que la empresa CNEL Manabí permita establecer decisiones y acciones para mitigar la contaminación en cumplimiento de sus responsabilidades ambientales.

Económicamente esta investigación permitirá reducir la concentración del contaminante en suelos con contenido de PCBs por medio de una alternativa asequible, confiable y rápida a fin de emprender un proyecto encaminado a mejorar y resolver esta situación y/o problemas que de esta se deriven logrando un crecimiento corporativo del negocio con responsabilidad social y ambiental, evitando riesgos de multas y sanciones por parte de la autoridad ambiental y otros organismos de control (Campos, 2016). Adicionalmente se implementará una guía

de para el correcto manejo de bifenilos policlorados con la intención de evitar futuras afectaciones al suelo a un corto plazo.

Desde el punto de vista legal se tomará como referencia el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA, 2015) donde se establecen los límites máximos permisibles de PCBs en el suelo y el Acuerdo Ministerial N° 146 del Ministerio del Ambiente del Ecuador que tiene como objeto establecer los procedimientos para la gestión integrada y ambientalmente racional de los PCBs, donde se establece que las empresas distribuidoras y comercializadoras de energía tanto públicas como privada tendrán la obligación de inventariar, retirar y almacenar adecuadamente los PCBs hasta el 2023 para luego ser eliminados ambientalmente hasta el 2025 (MAE, 2016). Es importante destacar que en el Ecuador no existe un gestor ambiental autorizado, que de un tratamiento o disposición final a suelos contaminados con PCBs por lo que la normativa ambiental establece que sean almacenados de manera segura hasta contar con un tratamiento o tecnología adecuada en términos de eficiencia y efectividad para la gestión de estos desechos (González, 2019).

La empresa eléctrica CNEL EP Manabí en cumplimiento de sus responsabilidades ambientales busca alternativas para la reducción y/o remediación de la carga contaminante de bifenilos policlorados en los suelos causado por el inadecuado almacenamiento de transformadores, por lo que esta investigación aportará con nuevos comportamientos o formas de tratar la concentración de peróxido de hidrógeno en la reducción del contenido de PCBs en los suelos del taller de transformadores de CNEL Manabí, así como los nexos e interrelaciones entre ambos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la concentración de peróxido de hidrógeno en la disminución de PCBs en suelos del taller de transformadores de CNEL Manabí.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo en el taller de transformadores de CNEL Manabí.
- Identificar la concentración de peróxido de hidrógeno que disminuya el contenido de PCBs en suelos del taller de transformadores de CNEL Manabí.
- Elaborar una guía para el manejo correcto de bifenilos policlorados (PCBs) del taller de transformadores de CNEL Manabí.

1.4 HIPÓTESIS

La concentración al 30% de peróxido de hidrógeno disminuye el contenido de PCBs en suelos del taller de transformadores de CNEL Manabí por debajo del límite máximo permisible establecido en la tabla 2 del Anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio del ambiente de Ecuador.

CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 MARCO LEGAL

Hace referencia a las leyes internacionales y ecuatorianas establecidas dentro de la dimensión jurídica, relacionado con el tema de investigación, sobre los Compuestos orgánicos persistentes principalmente sobre los bifenilos policlorados y su riesgo sobre la salud y el ambiente.

2.1.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

La Constitución Política publicada en el Registro Oficial N° 449 el 20 de octubre de 2008, sintetiza e integra los conceptos ya conocidos del Desarrollo Sustentable y la filosofía del Buen Vivir, como el nuevo eje que debe seguirse para el crecimiento del país. Así se establece en el:

Título II: Capítulo 2: Artículo 14, se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

2.1.2 CONVENIO DE ESTOCOLMO

El Convenio de Estocolmo establece los lineamientos para contaminantes orgánicos persistentes COP'S entró en vigor el 17 de mayo de 2004 y fue ratificado por Ecuador el 7 de junio del mismo año, impulsado por el Ministerio del Ambiente. Desde entonces tiene carácter supranacional e infraconstitucional con el objetivo de reducir o eliminar la liberación de los contaminantes orgánicos persistentes.

Este convenio reconoce que los contaminantes orgánicos persistentes tienen propiedades tóxicas, son resistentes a la degradación, se bioacumulan y son transportados por el aire, el agua y las especies migratorias a través de las fronteras internacionales y depositados lejos del lugar de su liberación, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos (Convenio de Estocolmo, 2009).

2.1.3 CONVENIO DE BASILEA

El convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, fue ratificado por el Ecuador en el año de 1994 mediante Registro Oficial No 432 del 3 de mayo de 1994 y establece normas destinadas a controlar, a nivel internacional, los movimientos transfronterizos y la eliminación de residuos peligrosos para la salud humana y el medio ambiente, estableciendo un sistema de control de las exportaciones e importaciones de residuos peligrosos.

2.1.4 ACUERDO MINISTERIAL N°146 DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE

El Acuerdo Ministerial 146 sobre los “Procedimientos para la Gestión Integrada y Ambientalmente Racional de los Bifenilos Policlorados (PCBs) en el Ecuador”, se publicó en el Registro Oficial el 5 de enero del 2016 y actualmente se encuentra en vigencia tanto en el área continental como en la región insular del Ecuador.

Este Acuerdo tiene como objetivo establecer los procedimientos para la gestión integrada y ambientalmente racional de los PCBs con el fin de prevenir y evitar riesgos al ambiente y a la salud humana, tiene aplicación a todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, nacionales o extranjeras.

2.1.5 TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA MEDIO AMBIENTE

La legislación ambiental Anexo 2 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Medioambiental (TULSMA), así como la Norma de calidad ambiental del bien suelo y criterios de remediación para suelos contaminados del Acuerdo Ministerial 097-A registro oficial N°387, establece en la Tabla 1: criterios de calidad del suelo como límite permisible de PCBs donde se indica un valor de hasta 0,1 mg/kg.

2.2 CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD

La Corporación Nacional de Electricidad – CNEL, fue constituida en diciembre del 2008 mediante la fusión de las diez empresas de distribución eléctrica que pertenecieron al antiguo Fondo de Solidaridad; esto con el reto de convertirse en

un referente de gestión y eficiencia en el sector eléctrico del país (Neira y Cano, 2021).

Mediante Decreto Ejecutivo No. 1459, el 13 de marzo de 2013 CNEL se constituyó en empresa pública denominándose EMPRESA ELÉCTRICA PÚBLICA ESTRATÉGICA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL EP, con el objetivo de brindar el servicio público de distribución y comercialización de energía eléctrica, dentro de su área de servicio asignada, bajo el régimen de exclusividad regulado por el Estado; siendo conformada por las diez regionales: Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Milagro, Guayas – Los Ríos, Los Ríos, El Oro, Bolívar, Santo Domingo y Sucumbíos, posteriormente en el 2014, se incluye la Unidad de Negocio Guayaquil debido a la fusión de la empresa eléctrica de Guayaquil.

2.2.1 CNEL MANABÍ

Su construcción data de los años 1978 según los registros encontrados, en la actualidad la Unidad de Negocio Manabí abarca un área de concesión que comprende 16.760,69 km² en las que se entrega el servicio eléctrico a los habitantes de las diferentes unidades territoriales, cuenta con 31 subestaciones eléctricas, 20 agencias, 2 bodegas de materiales y transformadores, talleres, áreas logísticas y 40 líneas de subtransmisión de 69 Kv, cuya longitud global comprende aproximadamente 648 km (CNEL, 2020). CNEL Manabí cuenta con un Estudio de Impacto Ambiental de su Red de Distribución, mismo que fue elaborado en el 2008 y regularizado mediante licencia ambiental N° 034/15 del 03 de junio de 2015 Resolución DE-2015-047.

Tomando en cuenta la información proporcionada por el área de SIG de CNEL Manabí se determina que existe un total de 24.880 transformadores instalados en la red de distribución de energía eléctrica, 18.962 transformadores propios y 5.918 privados.

2.2.1.1. Taller de transformadores CNEL Manabí

El taller de transformadores se encuentra ubicado en el barrio Miraflores del cantón Manta con un área total de 1.840 m² y un área de construcción de 600

m². Dentro de las principales actividades que se realizan se describen: el mantenimiento y reparación de transformadores, protocolos de pruebas de resistencia dieléctrica, manejo, transporte y almacenamiento de aceite dieléctrico, pruebas colorimétricas de PCBs, entre otras. Dentro del taller se encuentran operando 2 técnicos de mantenimiento y 1 profesional en electricidad jefe del área.

Debido al continuo crecimiento poblacional y la fuerte demanda y dependencia de energía eléctrica se ha hecho necesario que la empresa eléctrica ejecute proyectos de electrificación en zonas urbanas y marginales de la provincia de Manabí con el objetivo de satisfacer un servicio de energía eléctrica de calidad, sin embargo, ha esto conllevado que exista una gran cantidad de personas que se conectan al sistema eléctrico de forma irregular y clandestina provocando pérdidas de energía y que los transformadores cumplan su vida útil antes de lo previsto (Molina, 2020).

Sumado esto a lo ocurrido por el desastre natural suscitado el 16 de abril de 2016, donde la red eléctrica de CNEL Manabí se vio altamente afectada, ocasionando la caída de las redes, postes, entre ellos transformadores, produciendo el retiro y acumulación de cientos de transformadores. Todos estos equipos son almacenados en el patio del taller de transformadores que se encuentran a cielo abierto con suelo de hormigón y otra parte de tierra, esto ha provocado un gran problema ambiental por la generación de desechos (Molina, 2020).

2.3 ACEITES DIELECTRICOS

Es un aceite ligero, de naturaleza parafínica y no inhibido, que ha sido especialmente desarrollado para su uso como fluido aislante en equipos eléctricos tales como transformadores de potencia y de distribución, disyuntores, capacitores (Repsol, 2014). En la industria eléctrica se utiliza como refrigerante y aislante, su baja viscosidad proporciona una excelente transferencia de calor bajo cualquier condición de operación. Se fabrican a partir de bases muy

refinadas y tratadas que aseguran la ausencia de compuestos sólidos, polares y agua.

Duran y Contreras (2006) mencionan que el aceite dieléctrico es una mezcla adecuada de hidrocarburos isoparafínicos, nafténicos y aromáticos con moléculas entre 16 y 22 átomos de carbono, que se utiliza como agente refrigerante, aislante y antioxidante en los transformadores eléctricos.

2.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES

Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) son compuestos contaminantes químicos tóxicos de alta peligrosidad y se los reconoce como una amenaza para la salud de los seres vivos y el medio ambiente (MAE, 2015). Se conoce que algunos COP son plaguicidas, sustancias químicas industriales y otros son subproductos no intencionales de ciertos procesos de combustión en la industria un ejemplo de los COP son los DDT, PCBs y dioxinas.

Weinberg (2009) refiere que los COP están difundidos en el medio ambiente en varias regiones del mundo y que todas las personas llevan una carga corporal de COP en los tejidos grasos y que otras especies como aves, peces y algunos mamíferos se encuentran contaminados, por aquello contaminan alimentos cotidianos como pescado, carne, leche y sus derivados esto debido a su propiedad bioacumulable en los tejidos grasos. Las madres pasan los COP desde sus cuerpos a sus crías tanto en los seres humanos y otros mamíferos a través de la leche materna y en especies no mamíferas, los COP pasan de la madre a las crías a través de los huevos.

2.4.1 BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs)

Los PCBs son un subconjunto de los químicos orgánicos sintéticos conocidos como hidrocarburos clorados. La fórmula química de los PCBs es $C_{12}H_{10-n}Cl_n$, donde n es el número de átomos de cloro en el intervalo de 1 a 10. Este tipo de sustancias incluye a todos los compuestos con una estructura de bifenilo, es decir, dos anillos bencénicos unidos (Lopera y Aguirre, 2006).

Según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), los nombres de los PCBs están clasificados en tres tipos: homólogos, congéneres y mezclas.

Los homólogos se refieren al nombre general de un PCBs dependiendo del número de cloruros que este posea, los congéneres indican la posición de cada cloruro dentro de la molécula, y las mezclas se refieren a nombres comerciales. En la tabla 1 se indican algunos nombres homólogos y algunos congéneres (Lopera y Aguirre, 2006).

Tabla 2-1. Nombres generales de los PCBs.

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

Fuente: Lopera y Aguirre (2006).

Un dato importante a destacar es que existen un total de 209 congéneres posibles de PCBs, pero solo 130 son comerciales. En el caso del Aroclor producido por la compañía Monsanto, su nomenclatura se identifica con cuatro dígitos, los dos primeros indican el número de átomos de carbono presentes en la molécula y los dos últimos indican el porcentaje en peso de cloro que contiene dicha molécula, así, por ejemplo, los Arocloros 1221, 1232, 1242, 1243, 1254, 1260 y 1268, indican moléculas con 12 átomos de carbono y un contenido de cloro de 21%, 32%, 42%, 43%, 54%, 60% y 68% respectivamente (Lopera y Aguirre, 2006).

Los PCBs son resistentes y se absorben con más poder en el suelo llegando hasta el subsuelo y tienen mayor tendencia a bioacumularse por eso el mayor peligro que reside es su acumulación en las plantas y la transferencia de estos a los animales incluido el hombre afectado la cadena trófica, debido a estas

condiciones de persistencia permanecen en los suelos durante años ya que la fauna microbiana presente no es capaz de degradarlos (Espín y Tufiño, 2015).

Morales et ál. (2017) determinó mediante un análisis cualitativo por el método 9070 US EPA SW-846, (kit CLOR-N-OIL-50) en la ciudad de Machala de 121 pruebas realizadas a transformadores en operación el 10% de los equipos que contienen aceite dieléctrico contaminado con PCBs.

2.4.1.1 Historia distribución y usos de los PCBs

En un principio estos compuestos fueron patentados por la empresa Swan Chemical Company de Alabama Estados Unidos en 1929 donde se fabricaron por primera vez, posteriormente la empresa fue comprada por Monsanto Industrial Chemicals en 1935. Es entonces que los PCBs se producen a escala industrial por más de 50 años y se importan a todas partes del mundo. Durante los años 1950 y 1960 existió un incremento en el uso de estos productos químicos y se estima que la cantidad producida entre 1929 y 1977 fue de 440 mil toneladas en Estados Unidos (Miller et ál, 2009). A partir de aquellos países como Inglaterra, Italia, Federación de Rusia, Cheslovaquia comienzan a producir diferentes marcas.

Los PCBs fueron utilizados en una amplia variedad de aplicaciones, Añazco (2013) menciona que los usos se clasifican según su presencia en sistemas cerrados, parcialmente cerrados y sistemas abiertos según su facilidad de escapar del medio ambiente.

Usos cerrados. - Los PCBs se mantienen cerrados herméticamente dentro del equipo y bajo ningún concepto deben estar expuestos al usuario o medio ambiente, sin embargo, pueden ocurrir emisiones durante la etapa de mantenimiento o reparación. Ejemplos: Fluidos dieléctricos, transformadores, condensadores y motores eléctricos.

Usos parcialmente cerrados. - en esta aplicación el aceite con PCBs no está directamente expuesto al medio ambiente, pero puede llegar a estarlo durante su uso. Estos usos pueden liberar PCBs a través del aire o por descarga al agua.

Ejemplos: Bombas al vacío, sistemas hidráulicos y lubricantes en equipos de minas y barcos.

Usos abiertos. - es la aplicación en la cual los PCBs se encuentran en contacto directo con lo que les rodea y así pueden ser fácilmente transferidos al medio ambiente, ejemplos: Tintas, adhesivos, pesticidas y agroquímicos, pinturas, barnices, resinas.

El Ministerio del Ambiente de Ecuador en talleres de priorización de COPs determinó que los PCBs eran la primera prioridad debido a que se encuentran en los aceites dieléctricos utilizados en los transformadores y equipos de protección eléctrica por las empresas de distribución de energía a nivel del país, en la CNEL regional el Oro se determinaron 5.497 equipos contaminados con PCBs con un total de 411.206 litros de aceite dieléctrico contaminado (Añazco, 2013).

2.5 RIESGOS DE LOS PCBs EN LA SALUD Y EL AMBIENTE

Autores como Miller et ál. (2009) mencionan patologías y efectos de los del PCBs en diferentes sistemas como endocrino, reproductor, inmunológico, nervioso así mismo establecen que son carcinogénicos y actúan como promotores generales del cáncer al incrementar los efectos de otras sustancias carcinógenas por la generación de especies reactivas de oxígeno y la inducción de genes relacionados con el cáncer, por otro lado el Soto (2005) refiere que entre los efectos tóxicos de los PCBs en seres humanos existe la pérdida de peso corporal, el menoscabo de la función inmunológica, problemas teratogénicos y reproductivos, efectos cutáneos, influencia en la modulación de la carcinogénesis y efectos hepáticos.

Otros efectos no carcinogénicos de los PCBs son trastorno dermatológico como el cloracné, dolores de cabeza, mareos, fatiga, depresiones, nerviosismo y fatiga, cabe destacar que los efectos de los PCBs en la salud y el ambiente son estudiados desde hace muchos años y tienen gran interés y atención científica (Soto, 2005).

El Convenio de Estocolmo considera que un compuesto es persistente, cuando supera los 2 meses en agua, o superior a 6 meses en el suelo, o en sedimentos si persiste más de 6 meses. Debido a su capacidad derivada para bioacumularse, su estabilidad física o hidrofobicidad de los PCBs, están presentes en toda la cadena alimentaria del planeta (Muños, 2019).

Neira y Cano (2021) en su estudio de la bioacumulación de PCBs en personal de mantenimiento menciona que en base a los datos del INEC 2019 no existe incidencia del sector eléctrico con enfermedades relacionadas con PCBs, pero que sin embargo la falta de gestión podría generar peligro debido a los riesgos que supone a la salud por la exposición de este contaminante a trabajadores así como habitantes en zonas urbanas y rurales próximas a estos equipos.

2.6 SUELOS

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre en este se desarrollan las plantas que son la esencia de la vida siendo una relación entre organismo abióticos y bióticos, esta constituidos por diferentes minerales, rocas, acillas, arena, materia orgánica y partículas, dependiendo de su lugar puede variar su composición física y están influenciados por procesos de fragmentación también conocidos como meteorización, este efecto natural se forma por factores físicos, químicos y biológicos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 1996).

2.6.1 HORIZONTES DEL SUELO

El suelo está conformado por varias capas, cada una de estas capas se llaman horizontes y el conjunto de estas se lo conoce como perfil, a continuación, se describe la clasificación de los horizontes del suelo.

Horizonte A: Es la capa superficial del suelo de color oscuro, es la más fértil donde se encuentran la mayor parte de microorganismos y raíces vegetales, también es la más expuesta erosiones y exposiciones de lluvia.

Horizonte B: Es una capa más pesada, con arcilla y menos fértil con un color más claro que el horizonte A, su constitución se basa a partir de fragmentos de roca y humus.

Horizonte C: Es una capa más profunda, también conocida como zona de transición o subsuelo, prácticamente sin raíces formada por fragmentación de la roca madre, pero se encuentra un poco más evolucionada que el horizonte D.

Horizonte D: Es la capa más profunda del perfil del suelo, está constituida por la roca madre fragmentada, también es conocida como horizonte R.

2.6.2 TIPOS DE SUELOS

De acuerdo Simbaña (2016) la clasificación del suelo se la determina de la siguiente manera:

- Suelos arenosos: Están constituidos en gran medida por arena, la misma que tiene un diámetro de 0,02 a 2 mm, estos suelos se caracterizan por tener escasa materia orgánica y porosidad muy elevada
- Suelos calizos: Presentan gran cantidad de sales, estas sales conllevan a una coloración blanca, son muy áridos y secos, además de tener la característica de secarse rápidamente, tampoco retienen los oligoelementos, al igual que los suelos arenosos por sus características hostiles no son aptos para la agricultura.
- Suelos humíferos: Es la tierra negra en sí, presenta esta coloración por el elevado porcentaje de materia orgánica que la constituye, así como una formidable retención de agua, por lo cual son excelentemente cultivables
- Suelos arcillosos: Estos suelos están constituidos por finos granos de leve color amarillo, tienen una porosidad muy baja, por lo que suelen existir charcos en este tipo de suelos. Su funcionalidad para el cultivo depende del grado de relación de mezcla que se realice con otro tipo de suelo.
- Suelos pedregosos: Están constituidos por rocas de diferentes tamaños, no presentan porcentajes de materia orgánica, de la misma manera tienen una escasa retención de agua por lo que no son aptos para el cultivo.

- Suelos mixtos: Presentan características combinadas entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos, este tipo de suelos tienden a alojar microorganismos de tipo específico, además de ser propio de tierras emergidas.

2.6.3 CONTAMINACIÓN DEL SUELO

La contaminación de los suelos es un tema de interés a nivel mundial y en las últimas décadas se aumentó la contaminación de los suelos por los sectores industriales, agrícolas por el uso de fertilizantes y pesticidas, derrame de hidrocarburos depositando sustancias químicas y metales pesados. El suelo es un sistema que se encuentra en interacción con la litosfera, hidrosfera y atmósfera (ciclos bioquímicos) por lo que de alguna forma indirecta las actividades y presencias de los seres vivos pueden causar un desequilibrio en el medio ambiente (Alba, 2011).

Se debe conocer que la contaminación de los suelos se clasifican en endógenos y exógenos. En la primera se refiere al aumento de toxicidad de elementos presentes en el suelo de manera natural, mientras que los exógenos son actividades externas que son consecuencia de actividades humanas.

2.6.3.1 Contaminación de suelos por PCBs

Aproximadamente, se han producido en el mundo 1'324.000 toneladas de PCBs, que en gran medida han ocasionado contaminación al ambiente, en el suelo y los sedimentos (Arbeli, 2009), los PCBs se descomponen de una manera muy lenta y la descomposición depende del número y localización de los átomos de cloro, la temperatura, los nutrientes y las concentraciones (MAE, 2015). En este sentido, los PCBs son resistentes y se absorben con más poder en el suelo y tienen mayor tendencia a bioacumularse por lo el mayor peligro reside en su acumulación por las plantas y la transferencia a los animales incluido el hombre. La persistencia de los PCBs en el ambiente es alta, luego de la emisión puede permanecer desde 3 semanas a 2 años en agua y más de 6 años en suelos y sedimentos y hasta 10 años en peces adultos (García, 2018).

Los PCBs son sustancias cloradas que se mantienen inmóviles en el suelo donde el carbono orgánico actúa como sumidero natural de las sustancias lipofílicas no polares (Tusso y Valero, 2018).

El MAE (2016) menciona que es consciente de la afectación de los suelos contaminados con PCBs y que se encuentran realizando estudios de caracterización ambiental en sitios contaminados con la empresa HIDROGEOCOL en varias empresas eléctricas a nivel del país sin embargo estos resultados no son publicados y se mantiene la confiabilidad de los documentos, por otra parte Villagómez y Vásconez (2021) realizaron un estudio en las subestaciones eléctricas de Baba y Babahoyo demostrando que la pluma de contaminación en un derrame abarcaría las zonas más vulnerables de la zona, Espín y Tufiño (2015) realizó estudio en la bodega de materiales de la empresa eléctrica quito demostrando que el suelo se encuentra afectado con PCBs con una pluma de contaminación de 7m³.

2.7 PROCESOS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PCBs

Los procesos de remediación de suelos tienen como objetivo disminuir la toxicidad y la concentración de sustancias contaminantes presente en el sustrato, que interactúan con la composición del contaminante y el medio ambiente. Estos procesos se pueden realizar a través de métodos físicos, químicos o biológicos. Actualmente se han investigado gran cantidad de tecnologías para remediación de sitios contaminados con diferentes objetivos tanto para aislar como destruir el contaminante, pero siempre dependerá de las características del suelo y del contaminante (Suarez, 2013).

De la revisión bibliográfica, se determinó que las tecnologías que utilizan procesos químicos tienen una demarcada factibilidad técnica y económica, ya que se marca la ventaja en el poco tiempo que se necesita para una efectividad de la remediación.

2.7.1 TRATAMIENTOS QUÍMICOS

Se trata de depurar el suelo mediante la degradación de los contaminantes por reacciones químicas, frecuentemente se trata de reacciones de oxidación de los compuestos orgánicos como agente oxidante se emplea el oxígeno y el agua oxigenada (García y Dorrnsoro, 2021). En suelos se ha empleado para la deoloración de PBCs que consiste en la inyección de CaO, Ca(OH)₂ o NaOH. El suelo al reaccionar se calienta y al aumentar el pH hasta valores de 9 a 11 se produce la deoloración de los PBCs.

Villalba (2013) menciona que esta tecnología ofrece varias ventajas sobre otras tecnologías convencionales de tratamiento. Por ejemplo, el método químico no genera grandes volúmenes de materiales de desecho que deben ser depositados y/o tratados. Y entre la más importante los suelos se remedian en un periodo de tiempo mucho más corto.

Los procesos basados en reacciones químicas se diferencian fundamentalmente de los procesos de incineración en que no necesitan de altas temperaturas para que la reacción ocurra (Lopera y Aguirre, 2006).

En estudios de Lopera y Aguirre (2006) indican que su estabilidad varía con la posición de las sustituciones de los cloruros dentro de la molécula, pues cuando los átomos de cloro se ubican en posiciones orto y meta se muestran particularmente poco biodegradables, pero generalmente aumenta con el contenido de cloruros. Los bifenilos mono y diclorados pueden ser biodegradados por bacterias en cuestión de días si se trabajan en concentraciones bajas (Zorilla et ál, 2012).

2.8 REACCIÓN FENTON

El tratamiento propuesto se realizará mediante la oxidación química en la cual se introduce un agente oxidante al sustrato para transformar el contaminante en productos menos tóxicos. Existen diferentes tipos de oxidantes que se usan en esta técnica entre los más comunes son: permanganato (MnO₄⁻), peróxido de hidrógeno (H₂O₂), reacciones tipo Fenton (H₂O₂+Fe), persulfato (S₂O₈²⁻) y ozono (O₃) (Huling y Pivetz, 2006).

Los conocidos ensayos de Fenton de fines del siglo XIX demostraron que las soluciones de peróxido de hidrógeno y sales ferrosas eran capaces de oxidar los ácidos tartárico y málico y otros compuestos orgánicos, dichos radicales podían reaccionar luego por dos vías, la oxidación de Fe (II) (una reacción improductiva) y el ataque a la materia orgánica. A $\text{pH} < 3$, la reacción es autocatalítica, ya que el Fe (III) descompone H_2O_2 en O_2 y H_2O a través de un mecanismo en cadena Hernández (2013).

2.10 PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

El peróxido de hidrógeno es conocido como agua oxigenada siendo H_2O_2 su estructura química, se obtiene de la oxidación de aire con un derivado de la antraquinona y es utilizado en procesos de oxidación química de descargas residuales presentando ventajas sobre agentes oxidantes clorados sin producir precipitados (Carpio, 2017).

Ojeda y Juárez (2019) mencionan que la oxidación química es muy efectiva para un amplio rango de contaminantes orgánicos como es el PCBs y que implica la inyección de un oxidante como peróxido de hidrógeno en suelo para mineralizar los compuestos o al menos transformarlos en productos menos tóxicos, asimismo menciona que el proceso de H_2O_2 con sales de hierro producen radicales de hidroxilo (OH) que es un componente menos tóxico.

Páez (2019) en sus estudios menciona que la relación del peróxido de hidrógeno con el sulfato ferroso fue descubierto por Henry J. Fenton por primera vez y que el peróxido de hidrógeno se activaba con iones ferrosos para oxidar ácido tartárico, y que el resultado de esta degradación formará radicales de hidroxilo con una elevada potencia de compuestos orgánicos.

2.11 INDICADORES

- **Resistencia:** La resistencia del suelo es la capacidad que tiene de soportar el peso o carga que se aplique sin que llegue a deformarse, por lo general la resistencia de un terreno es baja en las capas superficiales (Centro de Estudios de Formación Profesional Oficial [CEAC], 2015). Hay factores que influyen en la resistencia de un suelo y hace que difiera de

otro suelo como el tamaño, la compacidad y la granulométrica (Gonzales de Celis et ál, 2014).

- **Porosidad:** La porosidad es el volumen total de poros que permite la capacidad de almacenamiento y movimiento del agua este podrá dividirse en microporos y macroporos dependiendo del tamaño y distribución de los poros. A medida que disminuye el tamaño de poros las fuerzas de retención del agua aumentan, de esta manera, se ven afectados el drenaje, la aireación, la disponibilidad de agua y el crecimiento de las raíces.
- **pH:** El pH del suelo es la medida de la acidez o alcalinidad, es una de las variables más importantes en los suelos pues afecta directamente a la absorción de los nutrientes del suelo por las plantas, así como a la resolución de muchos procesos químicos que en él se producen. En general, el pH óptimo de estos suelos debe variar entre 6,5 y 7,0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad (Agropal, 2016).
- **Materia orgánica:** La materia orgánica se encuentra de forma natural en los suelos y es descrita como un conjunto de humus, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos entre otros compuestos, la mayoría de los agentes oxidantes, además de atacar a los contaminantes, también reaccionan con la materia orgánica del suelo (Pacheco, 2020).
- **Densidad real:** La densidad real del suelo es la relación que existe entre el peso de éste, en seco y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (Castillo, 2005).
- **Densidad aparente:** La densidad aparente del suelo se define como la masa de suelo seco en una determinada unidad de volumen edáfico (sólidos + poros) y su valor se relaciona con la proporción de poros existente en dicho volumen de suelo (Agostini, 2014).
- **PCBs totales:** Compuesto químico formado por cloro, carbono e hidrógeno. Se destaca por ser resistente al fuego, muy estable, no

conducir electricidad y tener baja volatilidad a temperaturas normales (D'Agostino, 2015).

2.12 MANEJO DE BIFENILOS POLICLORADOS

La aplicación de una guía para el manejo correcto de bifenilos policlorados (PCBs) en el taller transformadores de CNEL EP, permitirá prevenir y mitigar la contaminación ambiental, es importante indicar que los PCBs son sustancias peligrosas y que su generación así como su manejo están regulados en base al Acuerdo Ministerial 146 y 026 del Ministerio del Ambiente donde se determina que las empresas públicas como privadas deberán obtener el registro generador desechos peligrosos y especiales de manera obligatoria, este registro fue obtenido por la empresa en año 2015 y que por lo tanto deberán cumplir con el compromiso y responsabilidad ambiental que este amerita.

Ortiz y Piloto (2019) mencionan que las etapas para el buen manejo de residuos peligrosos son la: recolección, almacenamiento temporal, transporte, tratamiento y/o disposición final y se puede considerar la recuperación de los materiales para el aprovechamiento, así mismo menciona que el manejo de residuos peligrosos deberá realizarse en piso impermeable, con buena ventilación y en recipientes resistentes.

La normativa ambiental Acuerdo Ministerial 146 en su quinta disposición transitoria menciona que la destrucción o tratamiento de desechos con PCBs se realizará hasta el 31 de diciembre de 2025 en base a la tecnología apropiada y que en caso de no existir gestores autorizados por la Autoridad Ambiental se deberá exportar los mismo bajo los convenios internacionales de Basilea para movimiento transfronterizo hacia países que cuenten con la tecnología adecuada. Bajo este concepto los desechos con PCBs se mantendrán a buen recaudo y almacenados de manera segura bajo las regularizaciones establecidas.

El mismo cuerpo regulado en su anexo F, determina las condiciones técnicas recomendadas para el diseño y construcción de una bodega de almacenamiento de aceite, equipos y desechos con PCB, en el que se mencionan 17

características mínimas, en las que se destacan que deberá tener un sistema de detección automático de incendios, el piso deberá contar con canaletas recolectoras en su perímetro y un reservorio con una contención de al menos 25% del total del volumen que pueda almacenar la bodega, en caso de equipos se deberá tener cubetos capaz de almacenar el 110% del volumen, deberá contar con instalaciones sanitarias, duchas y lavajos entre otros aspectos importantes.

La norma técnica ecuatoriana INEN 2266:2013 que define el transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos, establece que todos los desechos deberán estar debidamente etiquetados, de acuerdo al sistema globalmente armonizado anexo D de la misma norma, también deberán estar apilados apropiadamente cumpliendo la matriz de incompatibilidad del anexo K y en envases adecuados garantizando la seguridad del material (Torres y Reyes, 2021).

MAE (2015) menciona que hay métodos de eliminación o tratamiento de aceites dieléctricos contaminados con PCBs, sin embargo estas tecnologías no han llegado al Ecuador, y el Ministerio del ambiente en su proyecto PCBs estudia la factibilidad de que estas tecnologías puedan ser aplicadas en el país, mientras tanto la alternativa más viable es enviar por vía marítima a Holanda toda la existencia de equipos, materiales, suelos y aceites contaminados, por otra parte la disposición final no aplica en el caso de los PCBs, según los establecido en el Acuerdo Ministerial 061, parágrafo VI (disposición final) Art.124.

2.13 GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

La guía de buenas prácticas ambientales son lineamientos que definen acciones con el objetivo de generar un cambio en el hábito fomentando una cultura amigable y respetuosa con el medio ambiente (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2013).

La guía de buenas prácticas ambientales 2021 para el sector eléctrico en proyectos de mínimo impacto ambiental, tiende a sensibilizar y gestionar en todos los aspectos ambientales y tiene la siguiente estructura:

- Introducción
- Objetivos
- Alcance
- Buenas prácticas ambientales
 - Uso de la energía
 - Uso del agua
 - Gestión de los desechos
 - Uso de papel
 - Consumo responsable
 - Transporte y movilidad

Es importante destacar que en caso de proyectos de mayor impacto ambiental estos deberán acogerse a un plan de manejo ambiental específico para cada proyecto cumpliendo con la legislación ambiental.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

El presente trabajo se realizó en el del taller de transformadores de la Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP Manabí ubicado en:

País: Ecuador.

Provincia: Manabí.

Cantón: Manta

Parroquia: Tarqui.

Sector: Miraflores.

Coordenadas: Sistema UTM WGS84 (531037,32 E, 9894052,94 N).

Altitud: 16 msnm.

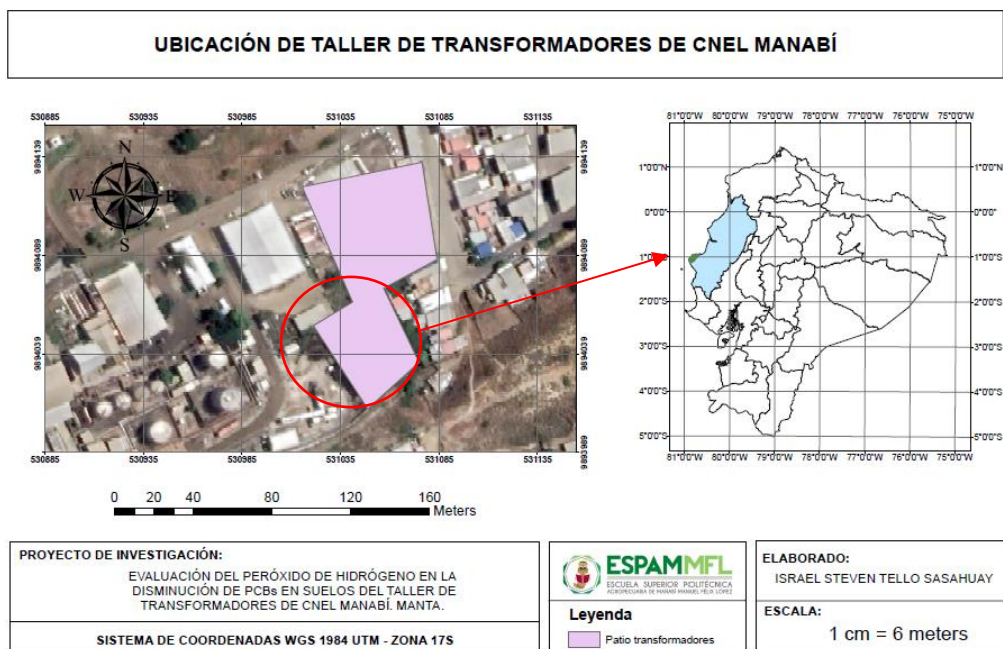


Figura 3-1 Ubicación del proyecto de investigación, taller de transformadores.

3.2 DURACIÓN

La presente investigación tuvo una duración de 9 meses en el desarrollo del trabajo académico curricular de titulación.

3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 MÉTODOS

- **MÉTODO INDUCTIVO**

Se aplicó el método inductivo en la investigación para verificar que tratamiento tiene mejor resultados en la remediación de suelos con PCBs, Prieto (2017) menciona que el método inductivo estudia, observa experimentos, ensayos y de estos crear conclusiones para extraer ideas base en una teoría.

- **MÉTODO DE ANÁLISIS O SÍNTESIS**

El presente trabajo recopiló información científica con respecto a los bifenilos policlorados, con la finalidad de resumir, comprender y analizar los procedimientos metodológicos en los tratamientos efectuados durante la investigación. Este método partió del conocimiento de los elementos esenciales e imprescindibles de una realidad y de las relaciones que los vinculan para tratar de alcanzar un conocimiento general y simplificado de dicha realidad considerada como un todo (Calduch, 2014).

- **MÉTODO ESTADÍSTICO**

Se utilizó la Estadística Descriptiva, la misma que permitió recolectar, tabular y analizar los datos de las variables a medir, mientras que con la Estadística Inferencial se pretendió encontrar diferencias estadísticas entre los tratamientos planteados.

Para aquellas variables donde se pudo demostrar diferencias significativas en las fuentes de interés se usó la prueba múltiple de media de Tukey al 5% de margen de error, se comparó las medias de los tratamientos para evaluar la hipótesis e identificar qué tratamiento tuvo un mejor rendimiento de acuerdo a las variables analizadas, cabe indicar que se aplicó los supuestos del análisis de varianza, donde se utilizó la prueba de normalidad y homogeneidad de varianza después de la tabulación de los datos.

- **MÉTODO BIBLIOGRÁFICO**

Debido al carácter bibliográfico se realizó la revisión de la información de fuentes primarias para obtener información de metodologías en la oxidación química y remediación de suelos con PCBs a través de artículos científicos publicados en revistas indexadas, patentes, libros, proyectos de investigación, tesis de grado a nivel de maestría y doctorados de fuentes confiables.

3.3.2 TÉCNICAS

- **OBSERVACIÓN**

La observación es una técnica que ofrece información acerca de lo que ocurre en un proceso o de un sujeto mediante la recopilación de datos y lo que acontece en el entorno (Vásquez, 2011). Esta técnica se utilizó para identificar la contaminación del suelo por bifenilos policlorados en el taller de transformadores de CNEL Manabí.

- **TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRA**

Para la ejecución del trabajo se aplicó un tipo de muestreo aleatorio simple en forma de zig zag, buscando una muestra representativa, aplicando una técnica de muestreo de superficies compuestas constituida por un conjunto de muestras simples convenientemente mezcladas. Se siguió la metodología de Muestreo de Suelo del Ministerio del Ambiente de Perú (2014).

3.4 FACTOR DE ESTUDIO

El factor en estudio en la investigación fue la concentración de peróxido de hidrógeno, siendo sus niveles los siguientes:

- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 20%.
- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30%.
- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 40%.

Las concentraciones de peróxido de hidrógeno fueron seleccionadas en relación al análisis de la información bibliográfica proporcionada por la investigación de Méndez et ál. (2010) y Villacreces (2012). Se utilizó para cada tratamiento 10 ml

de Sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) como valor constante en la reacción, esto basado en estudios anteriores de Malíková et ál. (2009). Con un tiempo de reacción de cada ensayo de 4 días donde se evaluó la concentración final de PCBs luego del tratamiento (Páez, 2019).

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El desarrollo de la investigación se realizó en un ambiente controlado con homogeneidad de la muestra de suelo, se realizó un diseño completamente al azar (DCA) donde cada unidad experimental tiene igual probabilidad de asignación en los tratamientos (Gutiérrez y De la Vara, 2008), con tres tratamientos y cuatro repeticiones, obteniendo un total de 12 unidades experimentales, eligiendo la prueba múltiple de media de Tukey con el 5% de error. Se verificó el cumplimiento de los supuestos, antes de aplicar el análisis de varianza (ANOVA) siendo estos: la normalidad y la homogeneidad de varianza (Delgado y Vidal, 2021).

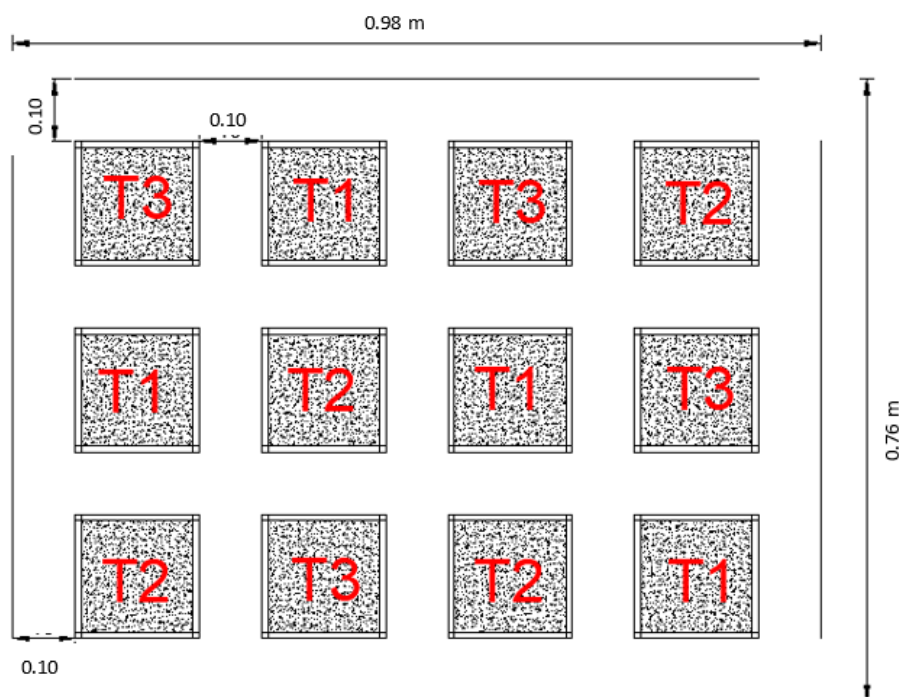


Figura3-2 Distribución de los tratamientos de acuerdo al DCA.

Tabla 3-1. Esquema del análisis estadístico.

F.V	Gl	SC	CM	Fc	Ft
Tratamiento	2	SCTRAT.	$\frac{SCTRART.}{t - 1}$	$\frac{CMTRAT.}{CMError}$	$F(\alpha, gltrat., glerror)$
Error	9	SCError	$\frac{SCError}{n - t}$		
Total	11	SCTotales			

Fuente: Martínez (2013).

3.5.1 MODELO MATEMÁTICO DEL DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR

Para la presente investigación se utilizó un diseño completamente al azar el cual utilizó la siguiente Ecuación 1 (Méndez, 2016).

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ij} = Valor del parámetro en consideración.

μ = Media general.

T_i = Efecto de los tratamientos.

E_{ij} = Efecto del error experimental.

3.6 UNIDAD EXPERIMENTAL

Se recolectó 6 kg de muestra de suelo contaminado con PCBs como peso total la cual fue homogenizada y dividida para cada tratamiento es decir 0,5 kg por cada una. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por una cama de vidrio tipo reactor (Páez, 2019) que pueda resistir al calor que se produzca por la reacción química, cada cama estuvo constituida por las siguientes dimensiones de 0,12 m de largo, 0,12 m de ancho y 0,08 m de alto, obteniendo un total de 12 unidades experimentales.

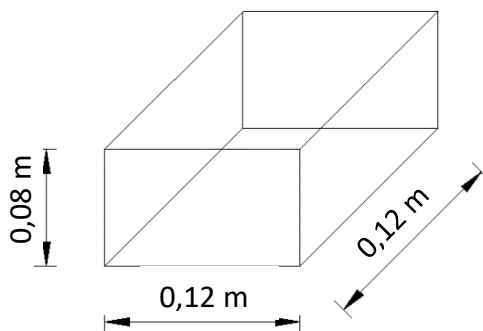


Figura 3-3 Dimensiones de cama.

Tabla 3-2. Dispersión de cada unidad experimental.

Tratamiento	Repeticiones	Agente Oxidante	% p/p	Volumen Agente Oxidante	Catalizador	Volumen Cat.	Peso de la muestra
T1	4	Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	20	100 ml	FeSO ₄ 7H ₂ O	10 g	0,5 kg
T2	4	Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	30	100 ml	FeSO ₄ 7H ₂ O	10 g	0,5 kg
T3	4	Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	40	100 ml	FeSO ₄ 7H ₂ O	10 g	0,5 kg

3.7 VARIABLES

3.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE (CAUSA)

Concentración de peróxido de hidrógeno.

3.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE (EFECTO)

Disminución de PCBs en suelos del taller de transformadores de CNEL Manabí – Manta.

3.7.3 VARIABLE FIJA DE PROCESO

Tabla 3-3. Variables fijas del proceso.

Variable	Valor
Sulfato ferroso heptahidratado FeSO ₄ 7H ₂ O	10 g
Tiempo	4 días

3.8 MANEJO DEL EXPERIMENTO

FASE I. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN EL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ

Actividad 1. Muestreo de suelo

La recolección de la muestra de suelo se realizó en el taller de transformadores de CNEL Manabí, el muestreo fue recolectado en base a la Guía para el Muestreo de Suelo del Ministerio del Ambiente de Perú (2014) en la cual se tomó una muestra compuesta formada por 5 submuestras, en cada submuestra se tomó a una profundidad de 25 cm con una barra y pala de mano (Estrada et ál., 2017) y en recorridos en forma de zig-zag en el terreno (Mendoza y Espinoza, 2017) entre otras consideraciones todas las submuestras recolectadas tuvieron tener el mismo volumen y espesor de suelo (Fadda, 2017).

Todas las muestras recolectadas fueron mezcladas y homogeneizadas hasta obtener una muestra compuesta representativa, esta muestra dio un valor analítico promedio del área predeterminada, del cual se tomó 7 kilos que sirvieron para los análisis correspondientes.

Actividad 2. Análisis inicial de parámetros físico químicos del suelo

Acuerdo a estudios realizados por Pacheco (2020) y Figueroa (2020) se analizó 1 kg de la muestra de suelo extraída para verificar el estado y tipo de suelo y se utilizó como referencia la Guía de interpretación de análisis de suelos de Garrido (1993) y la tabla 1 del Anexo 2 del libro VI del TULSMA, en base a los parámetros descritos en tabla 5 donde se describen los métodos utilizados en base a ensayos realizados por Elicrom (2020). Los ensayos físico y químicos fueron realizados en los laboratorios de Ciencias Agropecuarias de Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí donde se determinaron los parámetros resistencia, porosidad, densidad real y densidad aparente y en el laboratorio químico de la ESPAM se determinaron los parámetros pH y materia orgánica, mientras que en el laboratorio de ensayo químicos AMBIENLAB se determinó el PCBs, además de otros parámetros como: aceite y grasas, mercurio e hidrocarburos totales.

Tabla 3-4. Parámetros físicos y químicos.

Parámetro	Unidad	Método	Responsable
Resistencia	N	Texturómetro	Laboratorio ULEAM
Porosidad	%	Método por diferencia porcentual	Laboratorio ULEAM
pH	U. de pH	Potenciométrico, relación suelo-agua	Laboratorio ESPAM
Materia orgánica	%	Método ignición	Laboratorio ESPAM
Densidad real	g/cm ³	Método picnómetro	Laboratorio ULEMA
Densidad aparente	g/cm ³	Método de cilindro	Laboratorio ULEMA
PCBs totales	mg/kg	Method: 8082A	Laboratorio AMBIENLAB

FASE II. IDENTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO QUE DISMINUYA EL CONTENIDO DE PCBs EN SUELOS DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ.

Actividad 3. Preparación de camas y lugar de experimentación

Para esta actividad se obtuvieron 12 envases de vidrio resistentes al calor que cumplieron la función de camas de acuerdo a las dimensiones de la Figura 3.2. El experimento se desarrolló en la Bodega de Desechos Peligrosos de CNEL Manabí en la ciudad de Manta el cual es un sitio amplio con cubierta, ventilación natural y medidas de seguridad industrial.

En cada cama se agregaron 0,5 kg de suelo contaminado que previamente fueron homogeneizados en la fase I, con un total de 6 kg dividido en las 12 unidades experimentales.

Actividad 4. Tratamiento por oxidación química

Para esta actividad se propuso un tratamiento químico que se basa en una técnica de oxidación tipo Fenton. La experimentación se realizó a nivel de laboratorio a pequeña escala.

Se aplicaron 3 tratamientos utilizando 100 ml de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) a diferentes concentraciones 20%, 30% y 40%. y un catalizador con valor

constante en la reacción de 10 g de Sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en 0,5 kg de masa de suelo contaminado (Huling y Pivetz, 2006). Se dejó reaccionar a cada ensayo por un tiempo de 4 días para evaluar la concentración final de PCBs luego de cada tratamiento (Páez, 2019).

Para prevenir cualquier tipo de accidente, se utilizó el respectivo equipo de protección personal como: guantes de látex, gafas de seguridad, mascarilla media cara con filtro de gases.

Actividad 5. Recolección y traslado de muestras al laboratorio

Pasado 4 días se recogió la muestra de suelo de cada cama en fundas de ziploc individualmente con sus respectivas rotulaciones y posteriormente fueron enviadas en un contenedor plástico al laboratorio para los análisis correspondientes, esto en base a los procedimientos de transporte de muestra de la guía metodología de Muestreo de Suelo del Ministerio del Ambiente de Perú (2014).

Actividad 6. Análisis físicos y químicos del suelo tratado

De acuerdo a Paz (2019) se analizaron los criterios de calidad físicos y químico del suelo basados en la tabla 3-5, con el objetivo de analizar verificar los cambios producidos por el tratamiento.

Tabla 3-5. Análisis de suelos remediado

Parámetro	Unidad
Resistencia	N
Porosidad	%
pH	U. de pH
Materia orgánica	%
Densidad real	g/cm ³
Densidad aparente	g/cm ³

Actividad 7. Procesamiento estadístico de los resultados

Por medio del software estadístico se realizó la aplicación del ANOVA y la prueba de Tukey al 5 % de error de los parámetros: resistencia, porosidad, pH, materia orgánica, densidad real, densidad aparente y PCBs, adicionalmente se realizó gráficos de barras con los datos obtenidos al inicio y al final del tratamiento

Además, para la discusión frente a otros autores se utilizó como referencia la concentración inicial del suelo para obtener el porcentaje de remoción de PCBs, para el cálculo se utilizará la Ecuación Nro. 2 porcentaje de remoción del contaminante (Paz, 2019; Wensheng, 2003).

$$\% \text{ de remoción} = 1 - \frac{Pcb's \text{ Final}}{Pcb's \text{ inicial}} * 100 \quad (2)$$

Complementariamente se evaluó si el suelo tratado cumple con la Tabla 2 del Anexo 2 Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados del Acuerdo Ministerial 097-A que Reforma el Texto Unificado de Legislación Secundaria Edición especial N° 387 del 4 de noviembre de 2015.

FASE III. ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA EL MANEJO DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs) DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ.

Actividad 8. Diseño de una guía para el manejo correcto de bifenilos policlorados (PCBs)

Se elaboró una guía de buenas prácticas ambientales para el manejo de bifenilos policlorados, se utilizó como referencia el Plan de Gestión de PCBs 2018-2025, la norma técnicas INEN 2266:2013 y el manual de buenas prácticas ambientales en el sector eléctrico del Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015).

A continuación, se describe la estructura de la guía para el manejo de bifenilos policlorados:

1. Carátula
2. Introducción
3. Objetivo
4. Alcance y ámbito de aplicación
5. Definiciones
6. Normativa legal
7. Responsabilidades
8. Desarrollo
 - a) Descripción de actividades del taller de transformadores
 - b) Infraestructura e instalaciones
 - c) Cambio de aceite con Bifenilos policlorados
 - d) Almacenamiento de Bifenilos policlorados
 - e) Disposición final de bifenilos policlorados
 - f) Bodega de almacenamiento de PCBs
 - g) Acciones en caso de emergencia o accidentes
9. Conclusiones y recomendaciones
10. Bibliografía
11. Anexos

Actividad 9. Sociabilización de guía para el manejo correcto de bifenilos policlorados (PCBs)

Como aporte de la investigación a la organización, se entregó y sociabilizó la guía de buenas prácticas ambientales para el manejo de bifenilos policlorados a los trabajadores y operadores del taller de transformadores de CNEC Manabí. Esta actividad se evidenció mediante diapositivas, registros de asistencia y registro fotográfico.

Actividad 10. Valoración de criterio de expertos de la elaboración de la guía

Con el fin de optar con un mejor criterio en la elaboración del documento, se realizó una valoración de la guía con profesionales, haciendo uso del método de Delphi que requiere la participación de un grupo de expertos sin interacción entre ellos con un cuestionario que contiene parámetros de calificación referidas a la guía para lo cual se utilizó los cuestionarios de google forms,

Se realizó un modelo de evaluación de guías de la [Valoración de las directrices investigación y evaluación (AGREE), 2021], realizando 5 secciones en la evaluación con sus respectivas ponderaciones descritas en la tabla 3-6 (Espín y Tufiño, 2015). Adicionalmente se incorporó una pregunta abierta para comentarios en cada sección.

Tabla 3-6 Secciones ponderadas

Secciones	Ponderación
Datos personales	-
Objetivo y alcance	1. Muy en desacuerdo
Definiciones y normativa	2. En desacuerdo
Buenas prácticas ambientales	3. De acuerdo
Conclusiones, recomendaciones y bibliografía	4. Muy de acuerdo
Recomendación de la Guía para su uso en la práctica	1. Muy recomendada 2. Recomendada 3. No recomendada 4. No sabe

Fuente: Elaboración propia.

La puntuación se calcula sumando todos los puntos de las preguntas individuales de la sección y estandarizando un total como porcentaje sobre la máxima puntuación posible de cada sección utilizó la siguiente fórmula (AGREE, 2021).

$$Puntuación\ estandarizada = \frac{Puntuación\ obtenida - Minimima\ puntuación\ posible}{Máxima\ puntuación\ posible - Mímima\ puntuación\ posible} * 100$$

Donde:

Puntuación obtenida= Suma de puntos obtenidos en cada sección

Mínima puntuación posible= 1 (muy en desacuerdo) x Nro. de preguntas por sección x Nro. de evaluadores

Máxima puntuación posible= 4 (muy de acuerdo) x Nro. de preguntas por sección x Nro. de evaluadores

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk que permitió conocer la distribución normal de los datos, posteriormente se aplicó los supuestos de homogeneidad de varianza haciendo uso del Test de Levene, cabe indicar que para su cumplimiento se debe aceptar la hipótesis nula en ambas pruebas. Una vez constatado el cumplimiento de los supuestos se aplicó el ANOVA, si en este se acepta la hipótesis alternativa, se utiliza la prueba múltiple de media Tukey al 5% de error, con el propósito de estimar el tratamiento más eficiente.

Es importante destacar que, para el cumplimiento de las pruebas de normalidad y homocedasticidad, se aplicó una transformación de datos por medio de raíz cuadrada a la variable de PCBs.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN EL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ

A continuación, se presentan los resultados de las propiedades físico químicas del suelo del taller de transformadores de CNEL Manabí y su cumplimiento con referencia a la tabla 2 del anexo 2 del Acuerdo Ministerial 097-A de Normativa Ambiental del Ecuador.

Tabla 4-1. Caracterización físico químico del suelo del taller de transformadores.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO	CUMPLIMIENTO A.M 097 A
Resistencia	N	1,49	-	CUMPLE
Porosidad	%	4,66	-	CUMPLE
pH	U.	7,93	6 a 8	CUMPLE
Materia orgánica	%	14,94	-	CUMPLE
Densidad real	g/cm ³	0,95	-	CUMPLE
Densidad Aparente	g/cm ³	0,91	-	CUMPLE
PCB	mg/kg	0,12	0,1	NO CUMPLE
Aceites y grasas	mg/kg	20104	4000	NO CUMPLE
Mercurio	mg/kg	0,1	0,1	CUMPLE
Hidrocarburos totales	mg/kg	20,20	0,1	NO CUMPLE

Es importante indicar que el uso de suelo que ocupa el taller de transformadores es de uso industrial en el cantón Manta. Los parámetros y valores de resistencia 1,49 N, porosidad 4,66%, Materia orgánica 14,94%, densidad real 0,95 g/cm³, densidad aparente 0,91 g/cm³ no se encuentran contemplados en la normativa, mientras que el pH 7,93 se encuentra dentro del rango. Por otra parte, el PCBs objeto de estudio se encuentra en 0,12 mg/kg por fuera de los límites permisible en base al Acuerdo Ministerial 097-A del Ministerio del Ambiente del Ecuador.

En estudios similares por Pacheco (2020) reportó valores de pH de 8,03 determinado que se encuentra un suelo alcalino con una densidad real y aparente de 2,39 g/cm³ y 1,4 g/cm³ respectivamente, mientras que la

porosidad se encuentra en 1,4% y la materia orgánica con un 5,87%, sin embargo, recomienda que para la aplicación de reacciones fenton se utilicen suelos con pH neutro, por otra parte investigaciones de Simbaña (2016) menciona que la influencia de hidrocarburos en el suelo no tienen mucha incidencia en el pH y densidad aparente, donde demuestra valores de pH de 7,42 y una materia orgánica de 2,70%.

Cabe mencionar que la materia orgánica obtenida es alta en el suelo contaminado y es un componente importante debido a que absorbe los oxidantes y surfactantes Pacheco (2020).

En cuanto a los parámetros de aceite y grasas se obtuvo 20104 mg/kg, Hidrocarburos totales 20,20 mg/kg que se encuentra fuera del límite permisible en base al Acuerdo Ministerial 097-A de la Normativa Ambiental del Ecuador, mientras que el mercurio 0,1 mg/kg se encuentra al límite del rango.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO QUE DISMINUYA EL CONTENIDO DE PCBs EN SUELOS DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ.

A continuación, se presenta el análisis estadístico de la concentración de peróxido de hidrógeno en relación con la disminución del contenido de PCBs en suelo como factor de estudio, declaradas en la metodología.

Tabla 4-2. Supuesto de normalidad de varianza.

Variable dependiente	Peróxido de Hidrógeno	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
DENSIDAD REAL	T1	0,857	4	0,250
	T2	0,863	4	0,271
	T3	0,855	4	0,244
DENSIDAD APARENTE	T1	0,928	4	0,584
	T2	0,960	4	0,780
	T3	0,799	4	0,100
POROSIDAD	T1	0,817	4	0,137
	T2	0,934	4	0,620
	T3	0,992	4	0,967
RESISTENCIA	T1	0,972	4	0,856
	T2	0,918	4	0,527

	T3	0,955	4	0,745
pH	T1	0,999	4	0,998
	T2	0,899	4	0,428
	T3	0,804	4	0,111
MATERIA ORGÁNICA	T1	0,986	4	0,937
	T2	0,825	4	0,155
	T3	0,892	4	0,393
PCBs	T1	0,929	4	0,586
	T2	0,955	4	0,747
	T3	0,945	4	0,683

En la tabla 4-2 los datos de las variables dependientes: densidad real, densidad aparente, porosidad, resistencia, pH, Materia orgánica y PCBs demuestran una significancia mayor a 0,05 por lo que se puede determinar que existe una distribución normal de los datos, por lo que se procede a realizar el análisis de homogeneidad de varianza.

Tabla 4-3. Prueba de homogeneidad de varianza.

Variable dependiente	Estadístico			Sig.
	de Levene	gl1	gl2	
DENSIDAD REAL	0,363	2	9	0,705
DENSIDAD APARENTE	0,139	2	9	0,872
POROSIDAD	0,701	2	9	0,521
RESISTENCIA	0,396	2	9	0,684
pH	3,067	2	9	0,960
MATERIA ORGÁNICA	0,911	2	9	0,436
PCBs	4,237	2	9	0,051

De la tabla 4-3 haciendo uso del test de Levene y basándose en la media de las variables dependientes los resultados son iguales presentando una homogeneidad de varianza con valores de significancia ($p > 0,05$) aceptando la **hipótesis nula para los supuestos de homocedasticidad, por lo que se procede a realizar el análisis de varianza con pruebas paramétricas.**

- **DENSIDAD REAL**

En referencia con la densidad real al aplicar el ANOVA, se determina que no existe diferencia significativa con un valor mayor a 0,05 ($\text{sig} = 0,597$) como se observa en la tabla 4-4. Al aplicar la prueba múltiple de Tukey los tratamientos

son semejantes y se forman en un mismo grupo como se muestra en la tabla 4-5.

Tabla 4-4. ANOVA de la variable Densidad Real.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Tratamientos	0,007	2	0,004	0,547	0,597
Error	0,058	9	0,006		
Total	0,065	11			

Tabla 4-5 Prueba Tukey de la variable Densidad Real.

Peróxido de hidrógeno	N	Subconjunto para alfa = 0,05
		1
T2 (30%)	4	0,955
T1 (20%)	4	1,005
T3 (40%)	4	1,0075
Sig.		0,638

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000

En el gráfico 4-1 se puede observar que los tratamientos T₁, T₂ y T₃ se encuentran con un valor similar de acuerdo al promedio de la densidad real con 0,98, 0,97 y 1,00 g/cm³ respectivamente.

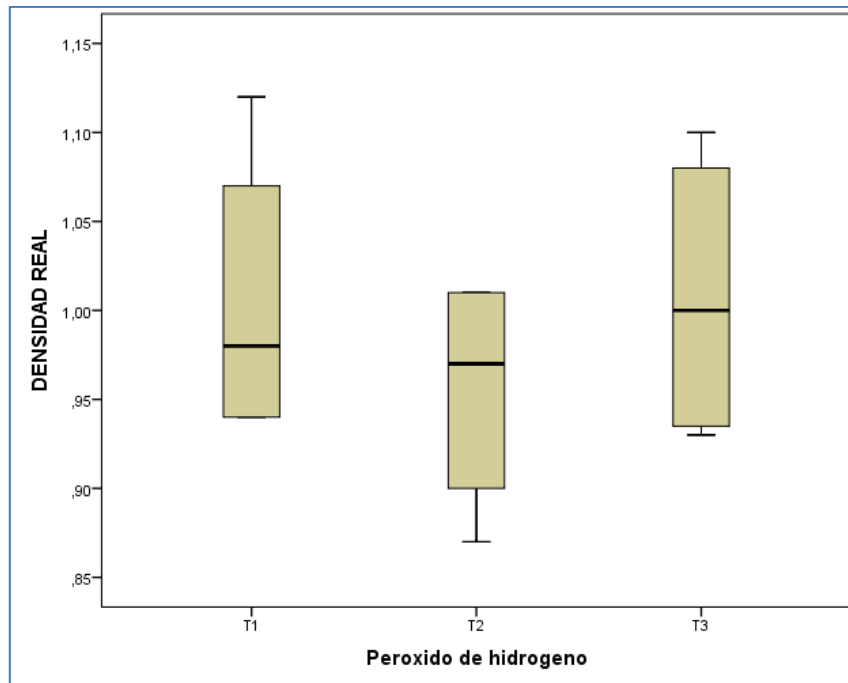


Figura 4-1 Gráfico de cajas densidad real.

En base a los resultados se considera que el suelo es de tipo orgánico ya que se encuentra por debajo de $2,4 \text{ g/cm}^3$ (Duckman y Brady, 1993); (Ansorena,1994). Pacheco (2020) encontró valores similares en suelo contaminados de hidrocarburos con $2,39 \text{ g/cm}^3$ y Simbaña (2016) menciona que los hidrocarburos afectan varias propiedades del suelo sin embargo dentro de sus estudios la densidad no mostró variación.

Villaseñores (2016) menciona que el valor de la densidad real puede ser mayor al promedio por la presencia de metales pesados y la contaminación, y que el valor de la densidad real varían dependiendo de su composición mineralógica.

- **DENSIDAD APARENTE**

El ANOVA aplicado a la densidad aparente, señala que no existe diferencia significativa con un valor mayor a 0,05 (sig = 0,538) como se observa en la tabla 4-6. Al aplicar la prueba múltiple de Tukey los tratamientos son semejantes y se forman en un mismo subgrupo como se muestra en la tabla 4-7.

Tabla 4-6 ANOVA de la variable Densidad Aparente.

FV	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Tratamientos	0,006	2	0,003	0,664	0,538
Error	0,038	9	0,004		
Total	0,44	11			

Tabla 4-7 Prueba Tukey de la variable Densidad Aparente.

HSD Tukey ^a		
Peróxido de hidrógeno	N	Subconjunto para alfa = 0,05
		1
T2 (30%)	4	0,8925
T1 (20%)	4	0,9250
T3 (40%)	4	0,9450
Sig.		0,514

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000.

En el gráfico 4-2 se puede observar que los tratamientos T₃ (0,94 g/cm³) tiene una mayor densidad aparente basado en la media, seguida del tratamiento 1 (0,92 g/cm³) y el tratamiento 2 (0,89 g/cm³) sin embargo no es una diferencia significativa.

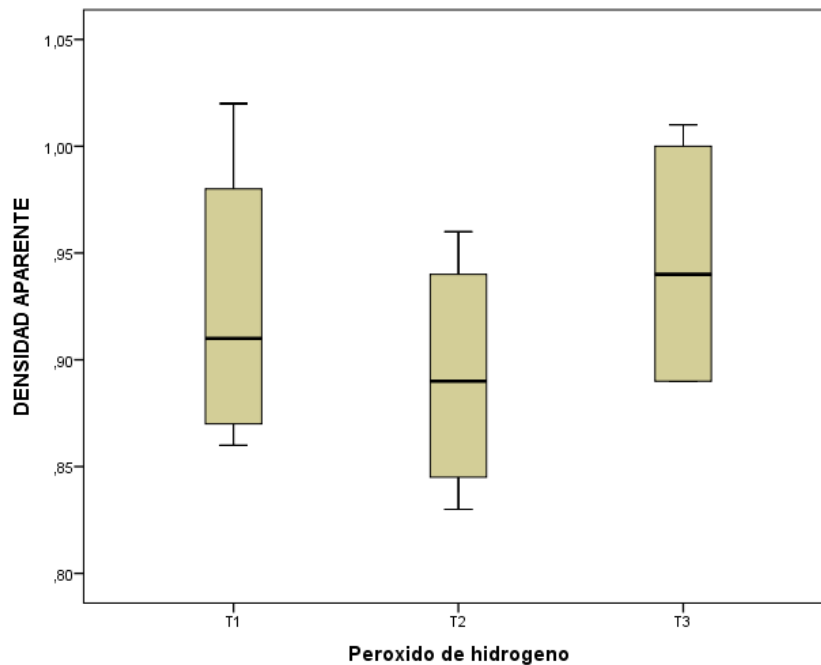


Figura 4-2 Gráfico de cajas densidad aparente.

Se considera un parámetro importante y de gran utilidad para el transporte de materiales y sustancias ya que incorpora el peso del suelo incluyendo el agua y aire dependiendo de la cantidad de agua y humedad (Van Deuren et ál. 1997). En base al promedio de la densidad aparente puede considerarse un suelo orgánico que se encuentra entre de 0,8 a 0,9 g/cm³ esto guarda relación con el porcentaje de materia orgánica encontrada (Rovelo, 2010).

- **POROSIDAD**

El ANOVA aplicado para este parámetro determinó que no existe diferencia significativa con valores superiores a 0,05 (sig = 0,360) como se observa en la tabla 4-8. Así mismo al realizar la comparación múltiple (tabla 4-9) se demostró que este parámetro es similar en los tres tratamientos agrupándolos en un mismo conjunto.

Tabla 4-8 ANOVA de la variable Porosidad.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Tratamientos	7,084	2	3,542	1,147	0,360
Error	27,802	9	3,089		
Total	34,885	11			

Tabla 4-9 Prueba Tukey de la variable Porosidad.

HSD Tukey ^a		
Peróxido de hidrógeno	N	Subconjunto para alfa = 0,05
		1
T3 (40%)	4	5,8625
T2 (30%)	4	6,5150
T1 (20%)	4	7,7175
Sig.		0,339

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000

Para establecer la incidencia de niveles en esta variable, se aplicó un gráfico de cajas basado en la media de los niveles donde se determinó que el tratamiento T₃ al 40% de H₂O₂ tiene una menor porosidad con 5,8%, mientras que el tratamiento T₁ al 20% de H₂O₂ tiene una mayor porosidad con un 7,7%, y el tratamiento 2 al 30% de H₂O₂ presentó una porosidad de 6,5%, tal como se muestra en el gráfico 4-3.

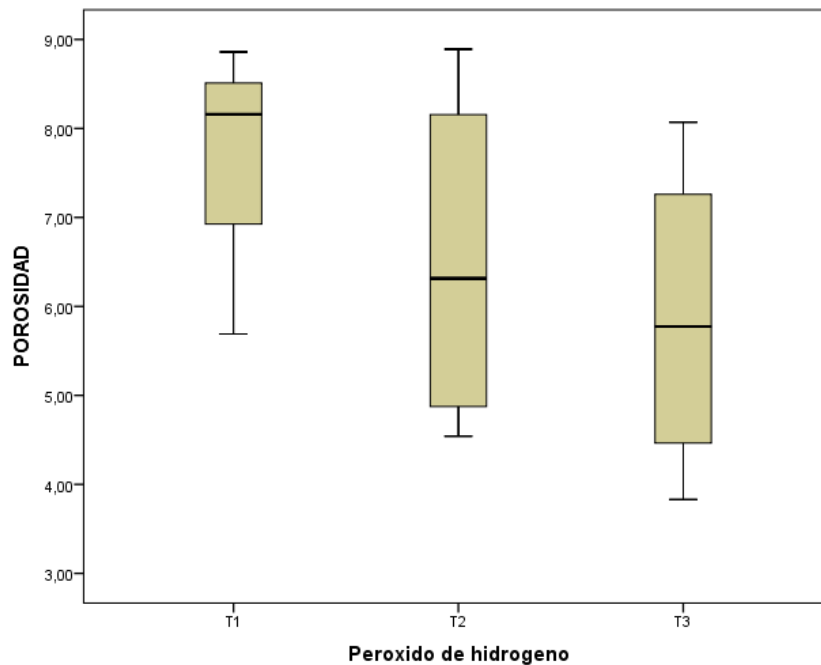


Figura 4-3 Gráfico de cajas Porosidad.

La porosidad se define como el espacio entre los poros, en suelos de textura fina el porcentaje de poros es mucho más alto y esto favorece la retención de humedad. Es importante indicar que a medida que la densidad aparente aumenta disminuye la porosidad influyendo en la aireación de suelo esto guarda relación con los restos obtenidos (INTAGRI, 2017). Martínez y López (2001) menciona que la porosidad no varía significativamente cuando está contaminado con gasolina o diésel, sin embargo, con combustóleo puede llegar a reducirse considerablemente de 44,39% hasta el 7,14%.

- **RESISTENCIA**

En la tabla 4-10 se aplicó el ANOVA para el parámetro resistencia, donde se indica que no existe una diferencia significativa con un valor mayor a 0,05 (sig = 0,324), es decir que la interacción entre factores no demostró diferencias. Por lo que se puede concluir que el efecto de los tratamientos no surge efecto en la resistencia. Haciendo uso de la prueba de Tukey tabla (4-11) se determina que los tratamientos se ubican en un mismo subconjunto.

Tabla 4-10 ANOVA de la variable Resistencia.

FV	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Tratamientos	1,042	2	0,521	1,282	0,324
Error	3,658	9	0,406		
Total	4,700	11			

Tabla 4-11 Prueba Tukey de la variable Resistencia.

HSD Tukey ^a		
Peróxido de hidrógeno	N	Subconjunto para alfa = 0,05
		1
T1 (20%)	4	0,734700
T2 (30%)	4	1,048375
T3 (40%)	4	1,45625
Sig.		0,296

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000

Por medio de un gráfico de cajas de cajas (gráfico 4-4) se representa los datos de la resistencia de los tres tratamientos en estudio en el que se determina que el tratamiento T₃ al 40% de H₂O₂ posee mayor resistencia con un valor medio de 1,45 N, seguido del tratamiento T₂ al 30% de H₂O₂ que obtuvo un promedio de 0,78 N y el T₁ al 20% de H₂O₂ con una resistencia menor de 0,73 N.

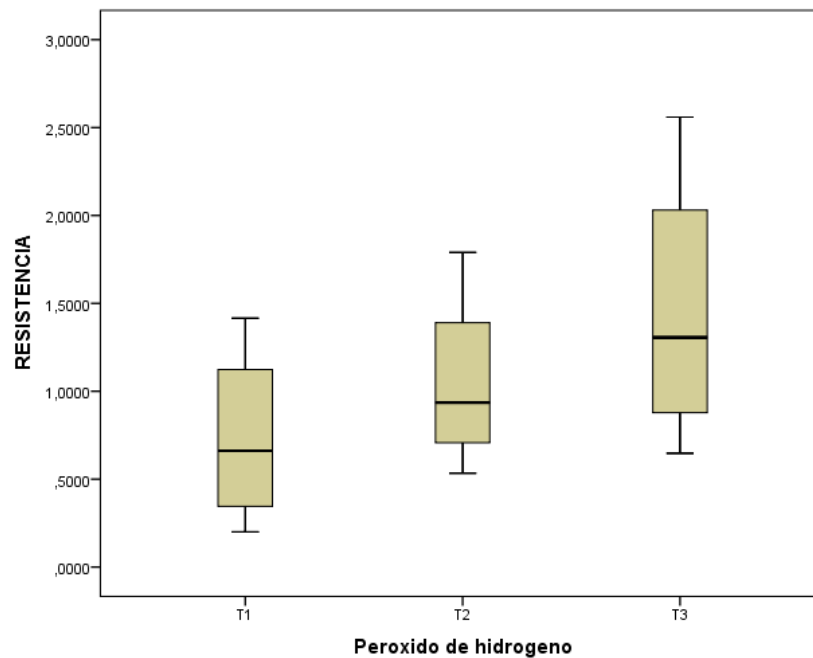


Figura 4-4 Gráfico de cajas Resistencia.

Se utilizó un texturometro que mide la fuerza que se traduce como la resistencia que ejerce el producto a la energía que se le aplica durante el ensayo utilizando como unidad de medida el Newton (Aname, 2022). En otros estudios Villacreces (2012) evaluó la mecánica de los suelos contaminados con hidrocarburos donde menciona que la granulométrica que está relacionada con la resistencia de suelo no cambia al final del tratamiento por reacciones fenton, aunque asegura que existen pérdidas de fracciones al final por la operación aplicada, esto guarda relación con los resultados obtenidos debido a que existe una pequeña compactación en el suelo pero no es un cambio significativo, pero sin embargo hay una tendencia que entre mayor es la concentración de H_2O_2 existe una mayor fuerza aplicada.

Figuroa (2017) menciona que suelos menores a 1 kgf (9,80 N) son suelos con poca resistencia es decir arenas o suelos superficiales con capas de materia orgánica, esto guarda relación con resultados obtenidos debido a la composición del suelo muestreado, asimismo menciona que la resistencia es una propiedad poco alterada siendo una propiedad principal en la cimentación.

- pH

El resultado del ANOVA aplicado a la variable pH muestra que no existe diferencia estadísticamente significativa con un valor sig=0,983 entre los tratamientos como se muestra en la tabla 4-12, por medio de la prueba de Tukey se guarda concordancia indicando que los tres tratamientos son similares encontrándose en un subconjunto (tabla 4-13).

Tabla 4-12 ANOVA de la variable pH.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Tratamientos	0,000	2	0,000	0,018	0,983
Error	0,115	9	0,013		
Total	0,115	11			

Tabla 4-13 Prueba Tukey de la variable pH.

HSD Tukey ^a		
Peróxido de hidrógeno	N	Subconjunto para alfa = 0,05
		1
T2 (30%)	4	7,2900
T3 (40%)	4	7,2975
T1 (20%)	4	7,3050
Sig.		0,981

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000

De acuerdo al gráfico 4-5 las variables pH en referencia a los tres tratamientos aplicados el valor promedio es semejante entre sí, encontrando para el T₁ un valor de 7,3 y para los T₂ y T₃ valores de 7,29.

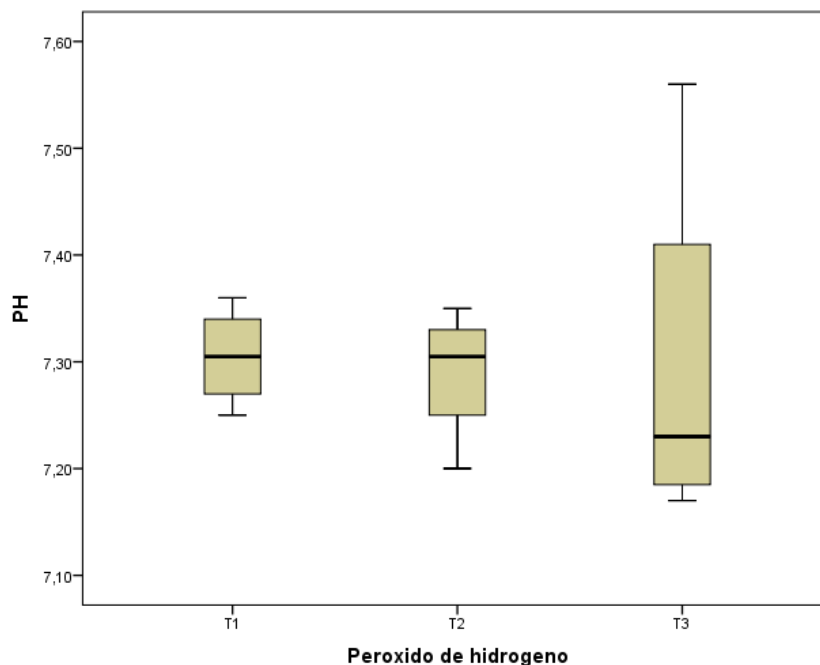


Figura 4-5 Gráfico de cajas pH.

El análisis demostró que no existe una diferencia entre los tratamientos y que los valores de pH se redujeron levemente, aunque Ojeda y Juárez (2019) indican que para llevar a cabo una oxidación química de forma óptima se debe mantener un pH de 3 a 4 debido a que esta condición es necesaria para activar el catalizador ferroso y dentro de sus estudios registró un pH inicial de 6,4 y después de la aplicación del tratamiento por Oxidación con H_2O_2 demostró que el pH se mantuvo estable en las pruebas. Esto guarda relación con los estudios de Villalba et ál. (2014) donde demostraron que los sistemas tratados con H_2O_2/Fe los valores de pH no varían con respecto al control biológico.

- **MATERIA ORGÁNICA**

Como se indica en la tabla 4-14 del análisis ANOVA la materia orgánica no demuestra una diferencia significativa con un $sig=0,766$ demostrando que el grado de peróxido de hidrógeno utilizado en el experimento no índice sobre la materia orgánica y su interacción. Mediante la prueba de Tukey se categorizó las medias de los tratamientos en un subconjunto como se demuestra en la tabla 4-15.

Tabla 4-14 ANOVA de la variable Materia Orgánica.

FV	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Tratamientos	3,745	2	1,873	0,274	0,766
Error	61,478	9	6,831		
Total	65,224	11			

Tabla 4-15 Prueba Tukey de la variable Materia Orgánica.

HSD Tukey ^a		
Peróxido de hidrógeno	N	Subconjunto para alfa = 0,05
		1
T2 (30%)	4	14,0075
T1 (20%)	4	14,0275
T3 (40%)	4	15,2025
Sig.		0,799

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000

Para representar la relación de los niveles de peróxido de hidrógeno sobre la variable materia orgánica, se aplicó un gráfico de cajas (gráfico 4-6) representando las medias de los tratamientos, donde se observa que los tratamientos T₁, T₂ y T₃ son similares con un 14,2%, 14,3% y 14,7% respectivamente.

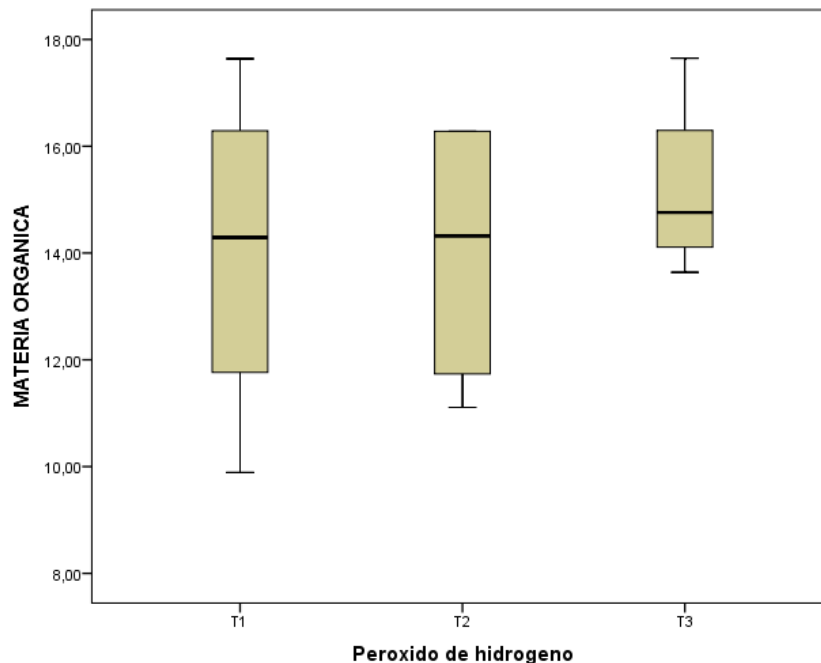


Figura 4-6 Gráfico de cajas Materia orgánica.

Villacreces (2013) en la aplicación de oxidación química en suelos obtuvo valores entre 12 y 16% aproximadamente. Por otro lado, Goi (2005) demostró que la reacción fenton en suelos orgánicos requiere mayor concentración de H_2O_2 para una degradación más efectiva del contaminante.

Villalba (2013) menciona que la velocidad de las reacciones de oxidación depende de varias variables incluyendo la materia orgánica que puede actuar como un desactivador de los oxidantes, debido a que el oxidante reacciona con el MO en lugar del contaminante y es un factor de la descomposición del agua oxigenada.

- **PCBs**

En la tabla 4-16 del análisis del ANOVA para la variable PCBs demostró una diferencia estadísticamente significativa donde en la interacción entre grupos mostraron una significación menor a 0,05 (sig=0,000) tanto en separado como en conjunto, demostrando que los niveles de concentración (tratamientos) con peróxido de hidrógeno utilizados inciden en el resultado de PCBs.

Tabla 4-16 ANOVA de la variable PCBs.

FV	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Tratamientos	0,898	2	0,449	406,568	0,000
Error	0,010	9	0,001		
Total	0,908	11			

Para comprobar las diferencias estadísticas se realizó la prueba de Tukey al 5% de error, misma que categorizó las medias de la concentración de PCBs en 3 subconjuntos para alfa =0,005, donde T₃ se encuentra en el primer subconjunto con una media menor de 0,24289 mg/kg, seguido del T₁ con 0,75904 mg/kg categorizado en el subconjunto dos y el tratamiento T₂ con 0,87113 mg/kg en el subconjunto tres. En este sentido y como se aprecia en la tabla 4-17 el tratamiento con mayor concentración de peróxido de hidrógeno (T₃) presenta una concentración de PCBs más baja.

Tabla 4-17 Prueba Tukey de la variable PCBs.

HSD Tukey ^a				
Peróxido de hidrógeno	N	Subconjunto para alfa = 0,05		
		1	2	3
T3 (40%)	4	0,24289		
T1 (20%)	4		0,75904	
T2 (30%)	4			0,87113
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000

En el gráfico 4-7 se puede visualizar la distribución de los datos de la variable PCBs en los tres tratamientos, demostrando que el mejor rendimiento y con mayor efectividad es el tratamiento T₃ al 40% de H₂O₂ con un valor medio de 0.24 mg/kg mientras que los tratamientos T₁ y T₂ obtuvieron un menor rendimiento.

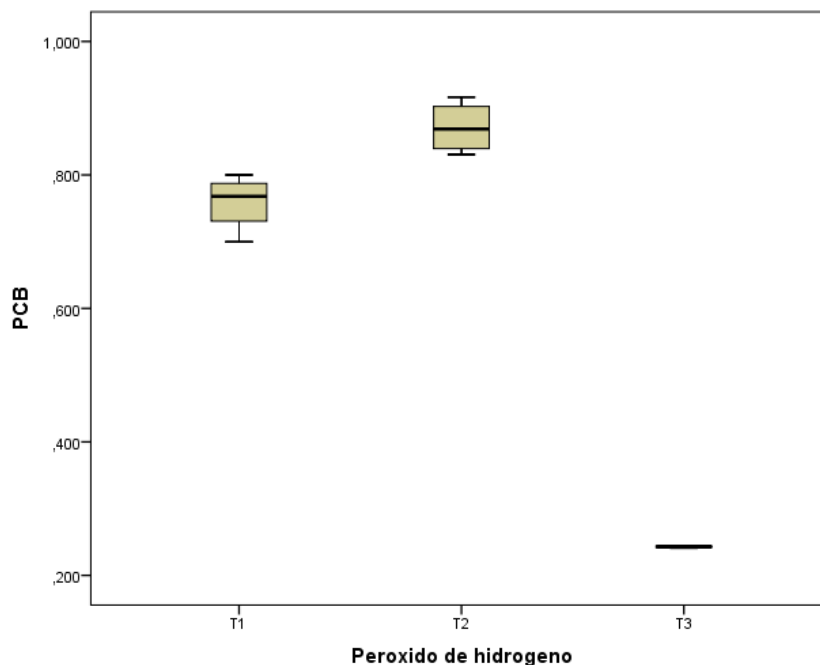


Figura 4-7 Gráfico de cajas Porosidad.

Riaza (2005) aplicó una remediación de suelos con PCBs combinando dos tratamientos por medio de desorción y oxidación química avanzada y con este proceso obtuvo porcentajes de degradación del 100% de PCBs en 30 minutos en una disolución acuosa.

Domènech et ál. (2004) mencionan que el proceso Fenton ha resultado efectivo para degradar compuestos de PCBs y que las ventajas de este método son varias ya que el Hierro no es tóxico y el peróxido de hidrógeno es fácil de manejar y ambientalmente benigno, es decir que no se forman compuestos clorados como en otras técnicas oxidantes, y no existen limitaciones de transferencia de masa por tratarse de un sistema homogéneo.

En otros estudios por Figueroa (2020) aplicó un consorcio bacteriano Decon para la biorremediación de suelos contaminados con aceites dieléctricos encontrándose entre los principales hallazgos el 100% de remoción del contaminante (PCBs) en el suelo en un periodo de 90 días.

- A continuación, se presenta el cálculo de remoción del tratamiento T₃ (40% H₂O₂) que obtuvo el mejor rendimiento en base a la media.

$$\% \text{ de remoción} = 1 - \frac{Pcb's \text{ Final}}{Pcb's \text{ inicial}} * 100$$

$$\% \text{ de remoción} = 1 - \frac{(0,059 \text{ mg/kg})}{(0,12 \text{ mg/kg})} * 100$$

$$\% \text{ de remoción} = 1 - (0,49) * 100$$

$$\% \text{ de remoción} = 1 - (0,49) * 100$$

$$\% \text{ de remoción} = 0,51 * 100$$

$$\% \text{ de remoción} = 51\%$$

Se determina que existe un 51% de remoción del contaminante PCBs. En el gráfico 4-8 se puede visualizar la remoción de PCB, donde inicialmente se obtuvo un valor en PCBs de 0,12 mg/kg y que luego del tratamiento T₃ disminuyó alcanzando un valor promedio de 0,059 mg/kg que se encuentra por debajo del límite permisible y cumple con la normativa ambiental del Ecuador.

Villalba (2013) menciona que la tecnología por oxidación química ofrece varias ventajas sobre otras tecnologías convencionales de tratamiento entre la más importante los suelos se remedian en un tiempo más corto. Sin embargo, Figueroa (2020) en la biorremediación de suelos contaminados con aceites dieléctricos logró un 100% de remoción del contaminante (PCBs) en el suelo en un periodo de 90 días.

Aunque los tratamientos biológicos sean menos agresivos no en todos los casos será efectivos, así lo menciona Posada y Cardona (2006) donde indican que la estabilidad varía con la posición de las sustituciones de los cloruros dentro de la molécula del PCBs, puesto que cuando los átomos de cloro se ubican en posiciones orto y meta se muestran particularmente poco biodegradables.

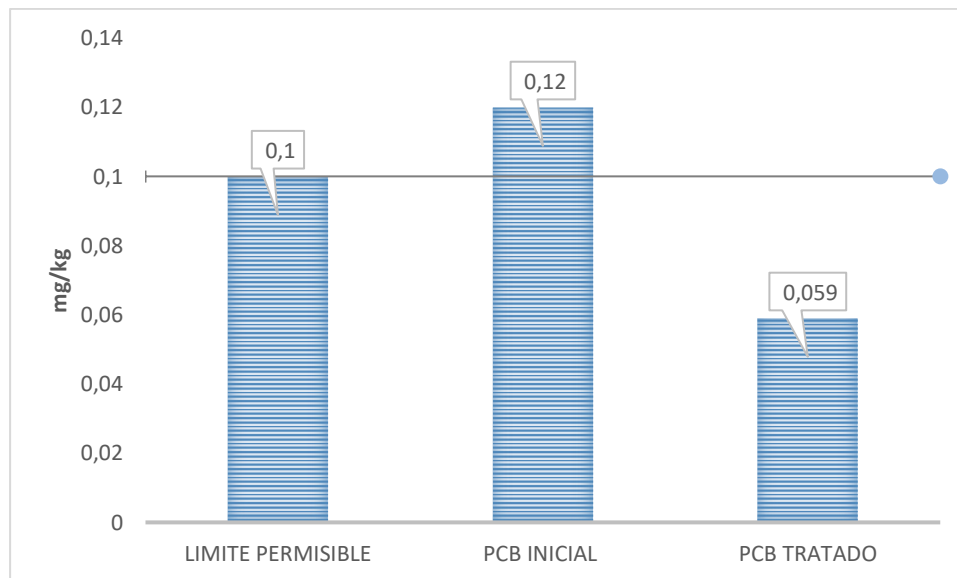


Figura 4-8 Remoción de PCBs.

4.3 ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA EL MANEJO DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs) DEL TALLER DE TRANSFORMADORES DE CNEL MANABÍ.

La guía fue socializada a 63 técnicos del área de Mantenimiento de la empresa CNEL Manabí cuyo universo total de trabajadores en la empresa es de 784, sin embargo, el área de mantenimiento se encuentra en mayor contacto con transformadores por lo que es más propensa ante una emergencia con PCBs.

Durante la charla se solventaron todas las dudas e inquietudes, el objetivo principal de la socialización de la guía fue concientizar a los trabajadores acerca de los riesgos y peligros, así como prevención y mitigación de impactos ambientales que estos puedan causar (Torres y Reyes, 2021).

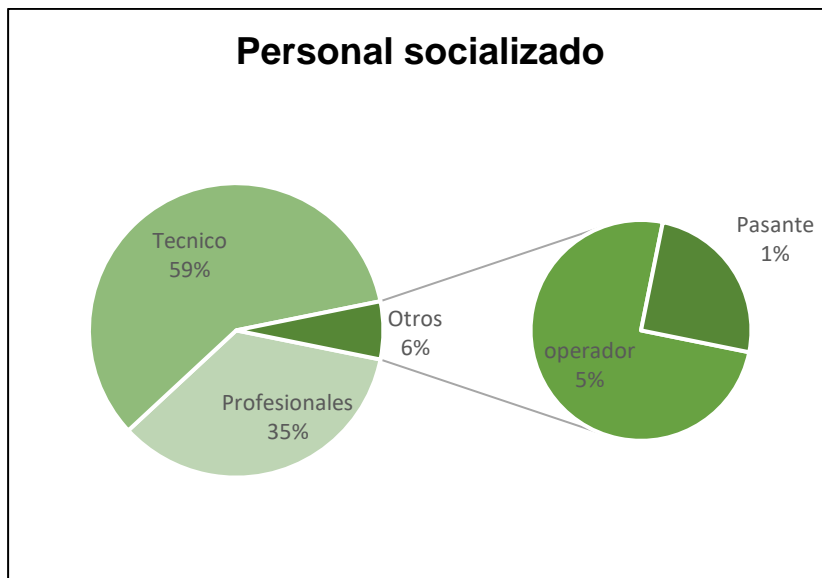


Figura 4-9 Distribución del personal socializado.

En el gráfico 4-3 se puede observar que el 35 % de la población socializada corresponde a profesionales de mantenimiento con un nivel académico superior, el 59% de la población socializada son técnicos linieros y por otro lado con el 6% se encuentran los operadores y pasantes. En el anexo 3.1 se detalla el registro de asistencia de la socialización impartida.

4.3.3 Valoración de Guía manejo de bifenilos policlorados

La guía fue valorada por un grupo de 5 expertos entre las profesiones que se tuvieron fueron ingenieros; eléctricos, químicos, ambientales y 2 industriales con experiencia tanto laboral como académica, es importante destacar que no existió interacción entre ellos. Las valoraciones individuales podrán verse en el anexo 3.2.

Como se puede observar en la tabla 4-18 existe una aceptación del 94,25% de acuerdo a los resultados obtenidos en la valoración de la guía por los expertos.

Tabla 4-18 Resultados valoración de guía

Secciones	Resultados
Datos personales	-
Objetivo y alcance	96%
Definiciones y normativa	93%
Buenas prácticas ambientales	98%
Conclusiones, recomendaciones y bibliografía	90%
TOTAL	94,25%

En el gráfico 4-3 se observa que el 80 % del grupo de expertos definen como muy recomendada la Guía y el 20% la define como recomendada.

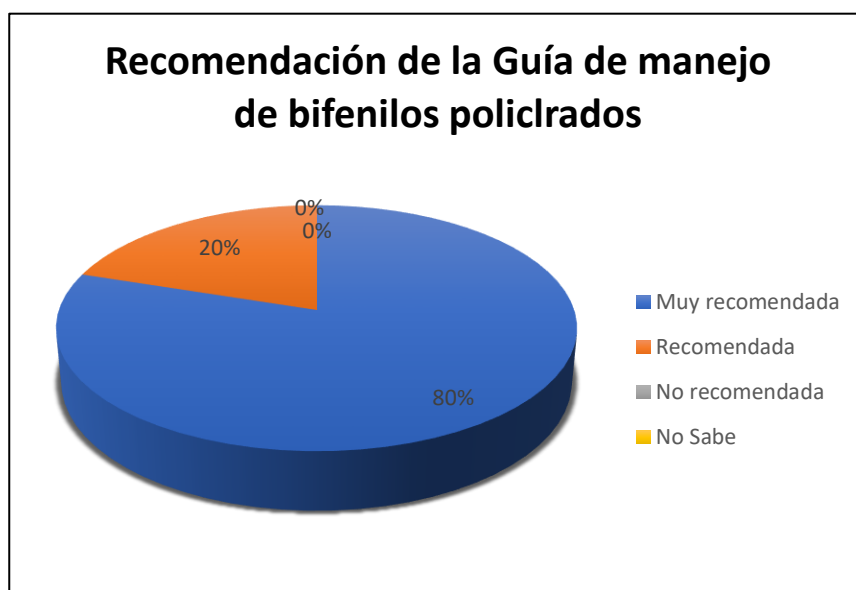


Gráfico 4-10 Resultados de la recomendación de la guía.

Es importante destacar que este método se basa en proceso de selección de los participantes acorde a su condición de expertos, sin embargo, la población en ningún caso es representativa, por consecuencia los resultados son de carácter cualitativos, aunque se ha valorado cuantitativamente solo para tener un tipo de aceptación.

En términos generales existe una aceptación de la guía no existiendo mayores sugerencias salvo que se deberá incorporar como un procedimiento con una aplicabilidad del 100% en práctica dentro de la empresa, por lo que se puede concluir que existe una similitud entre los expertos con valores entre 3 (De acuerdo) y 4 (Muy de acuerdo). Martínez (2014) menciona que con este

método logró visualizar los puntos de discrepancia entre personas expertas en la temática buscando conclusiones representativas que aporten un factor de éxito en su estudio.

Reguant y Torrado (2016) menciona que con la combinación de técnicas cualitativas y cuantitativa y haciendo uso del juicio de expertos aumentó la fiabilidad de la temática superando sesgos y limitaciones de un solo individuo y que también permite la reflexión de los participantes y la mayor comprensión a partir de diferentes perspectivas.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El análisis físico y químico que se realizó al suelo del taller de transformadores, determinó que se encuentra contaminado obteniendo un pH de 7,8; con una porosidad de 4,66% y una materia orgánica de 14,94%; sin embargo el parámetro de PCBs se encuentra en 0,12 mg/kg que sobrepasa el límite permisible de la normativa ambiental, adicionalmente se presentaron niveles elevados de aceites, grasas e hidrocarburos totales con 20104 mg/kg y 20,20 mg/kg respectivamente, por lo que se requiere una alternativa de remediación.
- El tratamiento T₃ (H₂O₂ al 40%) obtuvo mejores resultados con un volumen de 100 ml y como catalizador 10 g de sulfato ferroso heptahidratado en una muestra de 500 g, presentando una reducción del 51% de PCBs, del cual se determina que cumple con los límites permisibles y normativa ambiental, por lo que puede ser reintegrado a su origen para el uso de suelo industrial.
- Se difundió la guía para el manejo de bifenilos policlorados PCBs que es utilizada para el control de seguridad industrial y ambiental en el establecimiento que aportará en la prevención y mitigación de la contaminación en el taller de transformadores.
- Se acepta la hipótesis de investigación donde la variable PCBs demostró un efecto significativo en la reducción del contaminante en el suelo, y que por otro lado la relación de H₂O₂ 40%/ FeSO₄7H₂O funciona en la remediación de suelos contaminados con PCBs.

5.2 RECOMENDACIONES

- Evaluar diferentes dosis de catalizador y concentraciones de H₂O₂, que permitan obtener una curva de nivel del proceso de remediación.
- Considerar diferentes parámetros químicos como aceites y grasas, disponibilidad de fósforo y nitrógeno, metales pesados, así como presencia de microorganismos que permitan obtener un estudio a mayor detalle de la remediación del suelo por oxidación química.

- Realizar un análisis económico donde se pueda determinar el costo del tratamiento por peso de suelo tratado, incorporando un análisis de factibilidad con otros tratamientos.
- Aplicar la guía de manejo de bifenilos policlorados, así como su difusión y continua actualización en base a la normativa ambiental.
- Aplicar en futuras investigaciones diversos tratamientos biológicos, físicos y químicos que permitan recuperar las propiedades estándar del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agostini, M., Monterubbianesi, M., Studdert, G. y Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del suelo*, 32(82), 171-176. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/2445/INTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Studdert_GA_Metodo_simple_practico_determinacion_densidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- AGROPAL. (2016). *El pH del suelo en la agricultura*. Consultado el 24 de julio de 2021. [http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/#:~:text=En%20general%2C%20el%20pH%20%20C3%B3ptimo,\(Figuras%201%20y%202\).](http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/#:~:text=En%20general%2C%20el%20pH%20%20C3%B3ptimo,(Figuras%201%20y%202).)
- Alba, G. (2011). *Estudio comparativo de tres diferentes métodos de remediación de suelo tipo gleysol contaminado con hidrocarburo*. [tesis de maestría, Centro de investigación y Desarrollo tecnológico en Electroquímica]. Repositorio institucional CIDETEQ. https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/221/1/Comparaci%C3%B3n%20de%20la%20Electrorremediaci%C3%B3n%20de%20Suelo%20Tipo%20Gleysol%20Contaminado%20con%20Hidrocarburo%20con%20el%20m%C3%A9todo%20de%20lavado%20con%20Trit%C3%B3n%20X-114%20y%20la%20Biorremediaci%C3%B3n%20con%20Cultivo%20S%C3%B3lido_reees.pdf
- Aname. (2022). *Análisis de textura y analizadores de textura*. Consultado el 28 de septiembre de 2022. <https://www.analisisdetextura.com/index.php/es/tecnica-analisis-de-textura/preguntas-frecuentes-textura?jjj=1664891708877>
- Añazco, A. (2013). *Implementación de un plan de manejo ambiental para la manipulación de transformadores en el área de concesión de la CNEL regional El Oro*. [tesis de maestría, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/12025>
- Arbeli, Z. (2009). Biodegradación de compuestos orgánicos persistentes (COP): I. El caso de los bifenilos policlorados (PCB). *Acta Biológica Colombiana*, 14(1), 57-88. <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v14n1/v14n1a04.pdf>
- Beltrán, O., Berrío, L., Agudelo, E. y Cardona, S. (2013). Tecnologías de tratamiento para la tierra fuller contaminada con aceite dieléctrico. *Revista EIA*, 10(19), 33–48. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n19/n19a04.pdf>
- Cairo, P. (1995). *La Fertilidad Física del suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico*. UNA - Managua, Nicaragua. 228p.
- Calduch, R. (2014). *Métodos y técnicas de investigación internacional*. Consultado el 07 de septiembre de 2021. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/835-2018-03-01->

Metodos%20y%20Tecnicas%20de%20Investigacion%20Internacional%20v2.pdf

- Carpio, N. (2017). Reducción de la materia orgánica disuelta, mediante el peróxido de hidrógeno como tratamiento independiente, después de cada proceso del tratamiento (físico - químico) de aguas industriales provenientes de la actividad petrolera hacia la empresa Plusambiente S.A.". [tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11138/1/236T0440.pdf>
- Campos, C. (2016). Plan de negocios para la creación y comercialización de una app destinada a talleres automotrices, lubricadoras y lavadoras de vehículos en la ciudad de Quito. [tesis de pregrado, Universidad de las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/5810/1/UDLA-EC-TIC-2016-77.pdf>
- Castillo, C. (2015). Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá el Tuma - La Dalia Matagalpa, 2005. [tesis de grado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/1094/1/tnp35c352.pdf>
- Centro de Estudios de Formación Profesional Oficial. (2015). *De penetrometros y resistencia del terreno*. Consultado el 24 de noviembre de 2022. <https://www.ceac.es/blog/de-penetrometros-y-resistencia-del-terreno#:~:text=En%20primer%20lugar%2C%20dejemos%20claro,ser%20punzonado%20a%20diferentes%20profundidades.>
- Constitución del Ecuador (2008). Publicada en Registro Oficial No. 445 de 20 de octubre del 2008.
- Convenio de Basilea. (1994, 4 mayo). *Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación*. Suiza.
- Convenio de Estocolmo. (2004, 17 mayo). *Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)*. Suecia.
- Convenio de Estocolmo. (2009). *Sobre contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)*. Consultado el 01 de octubre de 2022. https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/stockholm_sp.pdf
- D'Agostino, C. (2015). *PCB en transformadores, ¿un contaminante sin rumbo?* Consultado el 28 de agosto de 2021. <https://www.revistaei.cl/columnas/pcb-en-transformadores-un-contaminantesin-rumbo/#>
- Delgado, M. y Vidal, D. (2021). *Aprovechamiento del residuo del cultivo de banano (musa paradisiaca, musa sapientum y musa acuminata) en la producción artesanal de fibra textil*. [tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí]. Repositorio institucional ESPAM.

- Domènech, X., Jardim, W. y Litter, M. (2004). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. *Academia*, 7-34. https://www.researchgate.net/publication/237764122_Procesos_avanzados_de_oxidacion_para_la_eliminacion_de_contaminantes
- Duran, M. y Contreras, N. (2006). Alternativa de tratamiento para tierras fuller contaminadas con aceite dieléctrico. *Scientia et Technica*, 3(32), 419-424. <https://doi.org/10.22517/23447214.6329>
- Espín, S. y Tufiño, V. (2015). *Caracterización y propuesta de remediación de suelo contaminado con bifenilos policlorados (pcbs) ubicado en la bodega de materiales en la Empresa Eléctrica Quito-Cumbayá*. [tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/7706>
- Estrada, R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, J., Navarro, H. y Etchevers, J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813–831. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextpid=S1405-31952017000800813
- FAO. (1996). *Ecología y enseñanza rural*. <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage>
- Fadda, G. (2017). *Morfología del suelo*. Consultado el 10 de marzo de 2021. <https://www.edafologia.org/app/download/7953429476/Morfologia+2017.pdf?t=1587690300>
- Figueroa, H. (2017). *Estudio de suelos para cimentaciones*. Consultado el 24 de noviembre de 2022. <https://cursos-edu.blogspot.com/2017/03/estudio-de-suelos-para-cimentaciones.html>
- Figueroa, R. (2020). *Evaluación de la eficacia de un consorcio bacteriano para la biorremediación de suelos contaminados por aceites dieléctricos*. [tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional UG. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/49878/1/tesis%20Ray%20aprobada%20por%20revisor%2012.10.2020.pdf>
- García, A., Medina, A., Pinedo, J., Rosales, N. y Molina, A. (2018). Determinación de Bifenilos policlorados (PCB's) en trabajadores de una empresa del sector eléctrico. Barranquilla - Atlántico, 2017. *Revista de la Universidad Industrial de Santander*, 51(1), 23-32. <https://www.redalyc.org/journal/3438/343860354003/html/>
- García, I. y Dorronsoro, C. (2021). *Contaminación del suelo*. Consultado el 24 de julio de 2021. <http://www.edafologia.net/conta/tema19/metodos.htm>
- Garrido, M. (1993). Interpretación de análisis de suelos. Consultado el 3 de noviembre de 2021. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- Goi, T. (2005). *Advanced Oxidation Processes For Water Purification And Soil Remediation.*, . Thesis on Chemistry and Chemical Engineering, Faculty

of Chemical and Materials Technology, Department of Chemical Engineering, Tallinn University of Technology.

- González de Celis, G., De Barcia, E., Sulbaran, Y., y Ucar, R. (2014). Determinación del parámetro de resistencia, ángulo de fricción Interna (ϕ) y su relación con los parámetros densidad relativa (D_r) y relación de vacíos (e) en suelos granulares. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 35(3), 135-146. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/cing/v35n3/art03.pdf>
- González, C. (2019). *Desarrollo de una propuesta de factibilidad económica para tecnologías de tratamiento y/o eliminación de aceites dieléctricos contaminados con PCB en el Ecuador*. [tesis de maestría, Universidad de las fuerzas armadas]. Repositorio institucional ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15833>
- González, J., González, G. y Chávez, E. (2012). Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 21-32. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n1/v3n1a2.pdf>
- Gutiérrez, H., y De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. 2da ed. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Hernández, E. (2013). *Degradación de la materia orgánica de un lixiviado de RSU mediante el proceso CO/PMS/UV en reactor BATCH*. [tesis de grado, Instituto politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16999/25-1-16564.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- HGIC. (2012). *Cambiando el pH del suelo*. Home y Garden Information Center. <https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-ph-delsuelo/#:~:text=El%20pH%20del%20suelo%20afecta,mayores%20a%207%20indican%20alcalinidad>.
- Horowitz, A. y Walling, D. (2005). Sediment Budgets. *International Association of Hydrological Sciences IAHS Press*. 292 (2). 262-270.
- Huling, S. y Pivetz, B. (2006). In-Situ Chemical Oxidation. *Engineering Issue*. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=156513
- INTAGRI. (2017). *Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas*. Consultado el 09 de septiembre de 2022. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.
- Keller, T. y Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154, 398-406.
- Lopera, E y Aguirre, J. (2006). Purificación de aceites aislantes contaminados con Bifenilos Policlorados (PCB s). *Dyna*, 73(150), 75-88. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v73n150/a07v73n150.pdf>

- Malíková, P., Hajduková, J., y Nezvalová, L. (2009). Oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons by fenton reaction oxidace polycyklických aromatických uhlovodíků fentonovou reakcí. *23 GeoScience Engineering*, 67(4). <http://gse.vsb.cz>
- Martínez, V. y López, F. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Revista Tierra latinoamericana*, 19(1), 9-17. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319102.pdf>
- Méndez, J. (2014). *¿Qué es el Método Delphi y para qué se utiliza?* Consultado el 30 de septiembre de 2022. <https://www.gocnetworking.com/que-es-el-metodo-delphi-y-para-que-se-utiliza/#:~:text=%C2%ABE%20m%C3%A9todo%20Delphi%20es%20un,contienen%20cuestiones%20referidas%20al%20futuro.%C2%BB>
- Méndez, R., Pietrogiovanna, J., Santos, B., Sauri, M., Giacomán, G., y Castillo, E. (2010). Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton-Adsorción. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 26(3), 211-220. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000300004
- Méndez, C. (2016). *Diseño de experimento de un factor*. Consultado el 19 de octubre de 2021. <https://prezi.com/4qlebkifm3k2/disen%C3%B3-de-experimento-de-un-factor/>
- Mendoza, R y Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para muestreo de suelos. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Ministerio del Ambiente (2015). *Guía técnica para la gestión ambientalmente racional de PCB*. Consultado el 10 febrero de 2021. <https://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/library/poverty/guia-tecnica-para-la-gestion-ambientalmente-racional-de-pcb.html>
- Ministerio del Ambiente (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A. Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria*. Registro Oficial N°387
- Ministerio del Ambiente (2016). *Acuerdo Ministerial N°146. Expídanse los procedimientos para la gestión integral y ambientalmente racional de los bifenilos policlorados (PCB) en el Ecuador*. Registro oficial N°456.
- Ministerio del Ambiente (2016). *Caracterización ambiental de sitios contaminados con PCB*. Consultado el 3 octubre de 2022. <https://www.ambiente.gob.ec/la-recoleccion-de-desechos-peligrosos-continua-en-las-empresas-electricas-del-ecuador/>
- Ministerio del Ambiente de Perú. (2014). *Guía para muestreo de suelo*. Consultado el 16 agosto de 2021 <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- Miller, C., Sánchez, I., Mucio, S., Sotelo, J. y León, M. (2009). Los contaminantes ambientales bifenilos policlorinados (PCB) y sus efectos sobre el Sistema

- Nervioso y la salud. *Salud mental*, 32(4), 335-346. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33252009000400009
- Molina, L (2020). *Avance del inventario definitivo de equipos y aceites dieléctricos contaminados con PCBs*. [manuscrito no publicado]. Departamento de Responsabilidad social, seguridad industrial y salud ocupacional. CNEL Manabí.
- Morales, M., Reyes, B., Carabajo, S. y Alarcón, M. (2017). Determinación de PCBs en transformadores de distribución en Machala. *Revista Dominio de las ciencias*, 3(3), 445-469. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/486>
- Muñoz, J. (2019). Tratamiento por dechlorinación in situ de bifenilos policlorados (PCBs), para control de riesgos de salud de los trabajadores y el medio ambiente en el sector minero del departamento de Pasco. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(1), 58-68. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810634X2019000100007&script=sci_abstract
- Neira, J. y Cano, Y. (2021). *Bioacumulación de bifenilos policlorados en personal de mantenimiento de transformadores de distribución*. Editorial grupo compas. https://www.uteq.edu.ec/doc/investigacion/libros/LB_2021_032%20LIBRO.pdf
- Ojeda M, y Juárez, I. (2019). Biorremediación mejorada con preoxidación química de suelos. *Revista Journal of basic sciences*, 5(15), 82-93. <https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs/article/view/3570/2726>
- Pacheco, M. (2020). *Remediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante los métodos de oxidación química y lavado de suelo*. [tesis de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio UNAM. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/17272/3/Tesis.pdf>
- Páez, M. (2019). *Evaluación del método Fenton aplicado a suelos contaminados con hidrocarburos procedentes de pasivos ambientales del bloque 61*. [tesis de grado, Universidad internacional SEK]. Repositorio institucional uisek. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3473>
- Prieto, B. (2017). *El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales*. Colombia: ORCID.
- Reguant, M. y Torrado, M. (2016). El método Delphi. *REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 9(1), 87-102. DOI: 10.1344/reire2016.9.1916
- Repsol. (2014). *Aceites dieléctricos*. Consultado el 28 de octubre de 2020. <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/lubricantes/industria/gama-dielectricos/index.cshtml>

- Rovelo, C. (2010). *Determinación de la densidad aparente del suelo*. Consultado el 28 de septiembre de 2022. <https://es.slideshare.net/kryzdfragg/densidad-real-y-aparente>
- Simbaña, C. (2016). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de la parroquia Taracoa en Francisco de Orellana, mediante el hongo pleurotus ostreatus*. [tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4916/1/236T0192.pdf>
- Soto, C. (2005) *Guía teórica práctica para la tenencia y eliminación de aceites dieléctricos contaminados PCBs*. Biblioteca USACA. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0553_EA.pdf
- Suarez, R. (2013). *Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Unilibre. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10607/TRABAJO%20FINAL%20cd.pdf?sequence=1>
- The Appraisal of Guidelines for research and Evaluation [AGREE], (2021). *Evaluación de guías de práctica clínica*. Consultado el 29 septiembre de 2022. https://www.agreetrust.org/wp-content/uploads/2013/06/AGREE_Instrument_Spanish.pdf
- Torres, R. y Reyes, R. (2021). *Manejo de aceites lubricantes usados y criterios de calidad química del suelo de lavadora & lubricadora Vélez del cantón Chone*. [tesis de grado, Escuela Superior politécnica agropecuaria de Manabí]. Repositorio institucional ESPAM.
- Tusso, J. y Valero, S. (2018). *Exposición a Bifenilos policlorados: efectos en la salud y en ambiente. Revisión de la literatura, 2000 a 2017*. <http://repository.urosario.edu.co/handle/10336/14237>
- Van Deuren, J., Wang, Z. y Ledbetter, J. Remediation (1997) Technologies Screening Matrix and Reference Guide. *Technology Innovation*.
- Vázquez, L. (2011). *“Incidencia de los instrumentos de evaluación en el desarrollo de las competencias metacognitivas de los estudiantes del primer año de la facultad de pedagogía, psicología y educación de la Universidad Católica de Cuenca en el tercer trimestre del año lectivo 2009-2010”*. [tesis de posgrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2493/1/t_ma_dyc_822.pdf
- Villalba, N. (2013). *Remediación de suelos contaminados con fenantreno por oxidación química*. [tesis de maestría, Universidad Nacional de Asunción]. Repositorio institucional. <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/TES-BN-004.pdf>
- Villalba, N., Peluffo, M., Martin. M., y Mora, V. (2014). *Remediación de suelo contaminado con fenantreno empleando reactivo fenton*. *Revista Reportes científicos*, 5(1), 29-37.

https://www.researchgate.net/publication/326812434_Remediacion_de_Suelo_contaminado_con_Fenantreno_empleando_Reactivo_Fenton

- Villacreces, L. (2012). Evaluación a nivel de laboratorio de oxidación química asistida con detergente para tratar suelos contaminados con petróleo. *Revista ciencia*. <http://ciencia.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2013/05/VID62.pdf>
- Villacreces, L. (2013). Aplicación de oxidación química tipo fenton asistida con detergente para tratamiento de suelos contaminados con petróleo [tesis de Máster, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio institucional ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7802/1/T-ESPE-047460.pdf>
- Villaseñor, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físico morfológicos de suelos. Consultado el 28 de agosto de 2022. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS%20Y%20PROCEDIMIENTOS.pdf>
- Villagómez, J. y Vásconez, L. (2021). *Propuesta de biorremediación con bacterias en suelos contaminados con hidrocarburos y pcb's en la subestación eléctrica en el cantón Baba y Babahoyo - Provincia de los Ríos* [tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio institucional UAGRARIA. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VASCONEZ%20\(1\).pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VASCONEZ%20(1).pdf)
- Weinberg, J. (2009). *Guía para las ONG sobre los compuestos orgánicos persistentes*. Consultado el 28 de abril de 2021. https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo_guide_pops-es.pdf
- Zorilla, M., Velazco, P., Villanueva, G. y Vanlangehove, H., (2010). Caracterización y alternativa de tratamiento para bifenilos policlorados (Sovtol-10) presentes en aceites de transformadores. *Afinidad LXVII*, 67(550), 455-461. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269639>

ANEXOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Anexo 1 .- Determinación de propiedades físico químicas del suelo del taller de transformadores de CNEL EP Manabí



Fotografía 1.- Vista frontal patio taller de transformadores



Fotografía 2.- Recolección de muestra de suelo 1



Fotografía 3.- Recolección de muestra de suelo 2



Fotografía 4.- Punto de muestreo

Anexo 1.1 Análisis físico químicos suelo taller de transformadores



AMBIENLAB SERVICIOS AMBIENTALES Y LABORALES Cía. Ltda.
 Dirección: Juan González N38 26 y Juan Pablo Sarz - Edificio Torre Vizcaya, Torre Norte, Piso 2, Oficina 20.
 Correo electrónico: info@ambienlab.com.ec / proyectos@ambienlab.com.ec
 Teléfono: (02) 2446 257 Quito, Ecuador

Formato de Informe: RA-S-01 Fecha de aprobación del formato: 2021-10-27

REPORTE DE RESULTADOS - ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO EN MUESTRAS DE SUELO

Reporte de resultados No.: RTR/AS/CNEL EPIBODEGA MIRAFLORES/S-1351/001
 Fecha de emisión: 15/08/2022

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Cliente:	CNEL EP		
Dirección:	Calle Jipijapa Y Calle Efraim Alava Llor		
Actividad Productiva:	Operación de Sistemas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.		
Contacto:	Ing. Israel Telo	Correo electrónico:	israel.telo@cnel.gob.ec
		Teléfono:	0996137074

INFORMACIÓN DEL MUESTREO

Sitio de muestreo: Taller de Transformadores Bodega Miraflores	Fecha de muestreo:	2022-07-07	Hora: 15:00
Fotografía o mapa del sitio de muestreo	Fecha de Ingreso de la muestra:	2022-07-12	
	Fecha de análisis de la muestra	Desde: 2022-07-12 Hasta: 2022-08-15	
 	Condiciones ambientales del muestreo	Temp. Amb. 28,0 Humedad 51 °C: (%)	
	Matriz / Tipo de muestra	Suelo / Muestra Compuesta	
	No. Cadena de custodia / Código muestra	481 / S2	
	Procedimiento de toma de muestra:	PR-TM	
	Responsable del muestreo:	Ing. Lenin Paspue	
Coordenadas: UTM WG884 Zona 17 8 Longitud (X): 631028 Latitud (Y): 8894048			

INFORMACIÓN GENERAL

Tipo de descarga:	N/A
Cuerpo receptor:	N/A
masa de muestra tomada:	2 000 g
Caudal promedio (lit):	N/A
Condiciones de preservación:	Hielo
² Horas de descarga al día:	N/A
² Tipo de tratamiento:	N/A
² Horas de funcionamiento del tratamiento:	N/A
² Dias que se realiza el tratamiento:	N/A

REVISADO Y AUTORIZADO POR



Empleo autorizado por:
 JESSICA
 CAROLINA
 VILANEZ SUERTAS

Ing. Jessica Vilañez
 TÉCNICO DE LABORATORIO

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO DE REFERENCIA / MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO	± U (k=2)	L.M.P ⁶	CUMPLIMIENTO ⁵
Aceites y grasas ^a	EPA 413,2, 1978/ PRS-04	mg/kg	20 104	N/A	<4000	NO CUMPLE
Mercurio	EPA 7471 B: 2007 / PRS-10	mg/kg	<0,1	N/A	10	SI CUMPLE
PCB's	Method: 8082A - Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography	mg/kg	<0,12	N/A	33	SI CUMPLE
Hidrocarburos Totales de Petróleo ^a	EPA 418,1-2011 / PRS-05	mg/kg	20 202	N/A	620	NO CUMPLE

Referencias y Observaciones

(a) Obtenido del Acuerdo Ministerial 007-A, Libro VI, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Anexo 2, Tabla 2: Criterios de Remedación

(*) Resultado fuera del alcance de acreditación

(**) Parámetro subcontratado con acreditación ANAB-L2471

(b) Regla de decisión: El laboratorio envía como documento adjunto la regla de decisión aplicada para la declaración de conformidad.

N/A: No aplica

L.M.P: Límite máximo permisible

El laboratorio no expresa opiniones o interpretaciones de los resultados obtenidos y proporciona declaraciones de conformidad solo si ha sido acordado previamente con el cliente.

Los resultados de los análisis corresponden únicamente a las muestras debidamente y codificadas en el presente informe.

El laboratorio declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados en el reporte de resultados, los cuales se relacionan solamente con la muestra identificada.

El análisis de las muestras identificadas en este informe fueron realizadas en las instalaciones del laboratorio.

Salvo en su totalidad, este reporte no debe ser reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio.

Sin la firma de autorización, este reporte no tiene validez

Anexo 2. Identificación de peróxido de hidrogeno

Fotografía 5.- Distribución de los tratamientos de acuerdo al DCA



Fotografía 6.- Reacción de tratamiento por oxidación química



Fotografía 7.- Reposo del tratamiento 4 días



Fotografía 8.- Muestras enviadas al laboratorio

Anexo 2.1 Resultados característicos físico químicas suelos tratados

Nro.	CODIGO	DEN. REAL	DEN. APARENTE	POROSIDAD	RESISTENCIA	PH	MATERIA O.	PCB
1	T1F1	0,94	0,88	5,69	0,8312	7,25	13,64	0,600
2	T1F2	0,94	0,86	8,16	1,4158	7,36	14,94	0,640
3	T1F2(2)	1,02	0,94	8,16	0,2005	7,32	9,89	0,580
4	T1F3	1,12	1,02	8,86	0,4913	7,29	17,64	0,490
5	T2F1	0,87	0,83	5,21	0,8808	7,30	11,11	0,790
6	T2F1(2)	1,01	0,96	4,54	0,9897	7,20	12,36	0,840
7	T2F2	1,01	0,92	8,89	1,7897	7,31	16,28	0,690
8	T2F3	0,93	0,86	7,42	0,5333	7,35	16,28	0,720
9	T3F1	0,93	0,89	3,83	0,6471	7,26	14,94	0,060
10	T3F2	0,94	0,89	5,10	1,1098	7,17	17,65	0,058
11	T3F3	1,06	0,99	6,45	1,5023	7,56	13,64	0,059
12	T3F3(2)	1,10	1,01	8,07	2,5593	7,20	14,58	0,059
13	CONTROL	0,95	0,91	4,66	1,4929	7,93	14,94	0,12



Fotografía 9.- Método ignición determinación de materia orgánica



Fotografía 10.- Texturómetro medición de resistencia



Fotografía 11.- Determinación de densidad



























Fotografía 12.- Determinación de pH








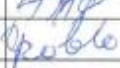
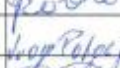













Anexo 3. Socialización de guía de manejo de bifenilos policlorados

	
Fotografía 13.- Exposición de Guía para manejo de PCBs -1	Fotografía 14.- Exposición de Guía para manejo de PCBs -2
	
Fotografía 15.- Personal técnico de CNEL EP Manabí	Fotografía 16.- Exposición de guía para manejo de PCBs-3

Anexo 3.1 Registro de asistencia

CÓDIGO:					
N°:					
 CNEL EP – Unidad de Negocio Manabi					
CHARLA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL, SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL					
LUGAR: MANTA	CNEL, EP.: SI / NO	FECHA	21	07	22
FACILITADOR: Dra. Angelica Luzardo / Ing. Israel Tello	CONTRATISTA:	Págs: 1/3			
TEMA PRINCIPAL: Socialización de procedimientos del área de RS SI SO					
TEMAS COMPLEMENTARIOS:					
Guía de manejo de bifelinos policlorados PCBs					
Procedimiento de actuación en caso de emergencia y primeros auxilios					
Nº	NOMBRE	CARGO	FIRMA		
1	Roberto Carlos Alvar Males	Tecnico #2			
2	Yamir Wilson Paz Ponce	Tecnico # 2			
3	Santos Suetes Pineda	Prof. de Mantenimiento			
4	JHANE ALEXANDRA SANCHEZ UGARTE	Tecnico 2			
5	David A. Cealvar Bravo	Tecnico 2			
6	Thomay Paloma Cedeno	Tecnico 2			
7	GRACIELA ALEJANDRO ORMAZA LOPEZ	TECNICO			
8	Carlos Alberto Zambreno Morano	Profesional Mont.			
9	Waltera Baganza Rojas	Tecnico 1			
10	Luis ALBERTO POSLIGUA GILER	TECNICO 2			
11	Rosa Dora Gonzalez Chavez	PROF. MANTENIMIENTO			
12	Ibiss Arteaga Vaca	Prof. Mantenimiento			
13	Manuel Alfaro Suarez Moros	Tecnico			
14	Roberto Archundia Delgado	Prof. MANT			
15	Palma Mejia Anthony Escal	Profesional			
16	Walter Delgado Gomez	Prof. Mantenimiento			
18	Geibat Bernillo Hernandez	Tecnico 1			
20	Genner Vera Mangina	tecnico 2			
21	Polina Valero Toso Rana	Profesional			
FACILITADOR:		LIDER RS SI SO:	 RS, SI, SO U.N. MANABI FIRMA AUTORIZADA		

		CÓDIGO:	
CNEL EP – Unidad de Negocio Manabí		N°:	
CHARLA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL, SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL			
LUGAR: MANTA	CNEL, EP.: SI / NO	FECHA	21 07 22
FACILITADOR: Dra. Angelica Luzardo / Ing. Israel Tello	CONTRATISTA:	Págs: 2/3	
TEMA PRINCIPAL: Socialización de procedimientos del área de RS SI SO			
TEMAS COMPLEMENTARIOS:			
Guía de manejo de bifenilos policlorados PCBs			
Procedimiento de actuación en caso de emergencia y primeros auxilios			
Nº	NOMBRE	CARGO	FIRMA
1	Lopez Thiburnio Yugo Eloy	Técnico	
2	Leon Jimbo Mendoza	Prof. mantent	
3	Rosant Mercedes Pardo	Técnico Operativa	
4	MARIO COBENA ALAON	Prof MANTO 5/6	
5	José Parra Atienza	Técnico 1+3	
6	Zelky Dely José Higuera	Técnico 1+2	
7	Mariano Juanita Blum Geller	Técnico	
8	Edwin A. De la Cruz Briones	Co. Operativa de Limpieza	
9	Lucio Julio Duran Ballesteros	Técnico Auxiliar	
10	José ESPINOZA MACIAS	Técnico 1	
11	LUIS MORA LINDA GARCIA	Prof. DE MANT. DE MANTEN	
12	CARLOS VILLAVIEJA HELWAN	Técnico # 2	
13	ROGERO ANTONIO LEON MORENO	Prof de Mantenimiento	
14	LUIS URRUTIA MORENO	Técnico # 2	
15	Francisco Alexander Barberán Cruzotti	Técnico # 1	
16	JULIO YIGORAC SIMONAZ	Técnico # 2	
18	Camilo Antonio Ramos Herra	Prof. Mantenimiento	
20	Adrián Fabián Catalano Sobez	Prof. Mant	
21	MARIO COBENA ALAON	Técnico 1	
FACILITADOR: 		LIDER RS SI SO: 	

		CÓDIGO:	
		N°:	
CNEL EP – Unidad de Negocio Manabí CHARLA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL, SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL			
LUGAR: MANTA	CNEL, EP.: SI / NO	FECHA	21 07 22
FACILITADOR: Dra. Angelica Luzardo / Ing. Israel Tello	CONTRATISTA:	Págs: 3/3	
TEMA PRINCIPAL: Socialización de procedimientos del área de RS SI SO			
TEMAS COMPLEMENTARIOS:			
Guía de manejo de bifelinos policlorados PCBs			
Procedimiento de actuación en caso de emergencia y primeros auxilios			
N°	NOMBRE	CARGO	FIRMA
1	Ramon Augusto Gualtero Mendez	Tecnico	
2	Juan Pineda Lopez Parra	Tecnico 1	
3	CIENS DOUKET YAMIL UZONOV	prof. PNO. APDSTRAS	
4	Henry Adalid Alcazar Mijes	Tecnico #3	
5	Wilson Ruedera Nunez	Tecnico #2	
6	Eduardo Gomez Liza Mueler	Tecnico 1	
7	Juan Carlos Alcazar	Tecnico #3	
8	Rubén Osvaldo Garcia Infante	Tecnico #1	
9	Juan Elias Palacios Suarez	Tecnico #2	
10	Juan Pablo Jimenez Mena	Tecnico #2	
11	ADRIAN DIXON VERA MUJICA	PROF DE MATE.	
12	Leovardo Marcelo Lombardo Gomez	Dist. de Mantenimiento	
13	Palacios Trujillo Sosa Leonel	Tecnico 1	
14	Shony Burgos Sabando	Tecnico 2	
15	JOSFE ARCENTALES V	TECNICO	
16	SEGURA ESPINOZA COLLIN	#3	
18	Juan Madonna Castro	Prof. Mat 12 C.F.	
20	Victor Ruedera Jome	Tecnico	
21	Ruben Lopez Rivas	Tecnico	
FACILITADOR: 		LIDER RS SI SO:	 <small>CNEL EP - RS, SI, SO UN. MANABI</small> <small>FIRMA AUTORIZADA</small>

Anexo 3.2 Criterio de valoración individual por expertos

OBJETIVO Y ALCANCE						
Participantes	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	TOTAL		
Evaluador 1	4	4	4	12		
Evaluador 2	4	4	4	12	Máxima posible	60
Evaluador 3	3	4	4	11	Mínima posible	15
Evaluador 4	4	4	4	12		
Evaluador 5	4	3	4	11	Resultado	0,96
TOTAL	19	19	20	58	Porcentaje	96

DEFINICIONES Y NORMATIVA						
Participantes	Ítem 1	Ítem 2		TOTAL		
Evaluador 1	4	3		7		
Evaluador 2	4	4		8	Máxima posible	40
Evaluador 3	4	4		8	Mínima posible	10
Evaluador 4	4	4		8		
Evaluador 5	4	3		7	Resultado	0,93
TOTAL	20	18		38	Porcentaje	93

BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES							
Participantes	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	TOTAL		
Evaluador 1	4	4	4	4	16		
Evaluador 2	4	4	4	4	16	Máxima posible	80
Evaluador 3	4	4	4	4	16	Mínima posible	20
Evaluador 4	4	4	4	4	16		
Evaluador 5	4	4	4	3	15	Resultado	0,98
TOTAL	20	20	20	19	79	Porcentaje	98

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y BIBLIOGRAFÍA						
Participantes	Ítem 1	Ítem 2		TOTAL		
Evaluador 1	3	3		6		
Evaluador 2	4	4		8	Máxima posible	40
Evaluador 3	4	4		8	Mínima posible	10
Evaluador 4	4	4		8		
Evaluador 5	4	3		7	Resultado	0,9
TOTAL	19	18		37	Porcentaje	90

ANEXO 4. Guía para el manejo de bifenilos policlorados (PCBs)



GUÍA PARA EL MANEJO DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBS)

Taller de transformadores de CNEL Manabí



AGOSTO DE 2022

Responsabilidad social, seguridad industrial y
salud ocupacional

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	56
2. OBJETIVO	57
3. ALCANCE	57
4. ÁMBITO DE APLICACIÓN	57
5. GLOSARIO Y DEFINICIONES	57
6. NORMATIVA LEGAL	58
7. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DEL TALLER DE TRANSFORMADORES	63
7.1 Recepción de equipos eléctricos	63
7.2 Equipo de pruebas	63
7.3 Reparación y mantenimiento de transformadores	63
7.4 Área de secado	63
7.5 Cambio de aceite dieléctrico	63
7.3 Despacho	64
8. BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES	64
8.1 INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES	64
8.2 MANEJO DE ACEITE CON BIFENILOS POLICLORADOS	65
8.3 ALMACENAMIENTO DE BIFENILOS POLICLORADOS	65
8.4 BODEGA DE ALMACENAMIENTO DE PCBS	66
8.5 DISPOSICIÓN FINAL DE BIFENILOS POLICLORADOS	66
8.6 ACCIONES EN CASO DE EMERGENCIA O ACCIDENTES	67
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
10. BIBLIOGRAFÍA	69

1. INTRODUCCIÓN

Los bifenilos policlorados (PCBs) son sustancias químicas orgánicas cloradas de alta toxicidad y persistentes en el medio ambiente, fueron utilizados ampliamente desde 1929 hasta 1978, así como también en la fabricación de pinturas, plásticos e insecticidas, debido a que son muy resistentes a la degradación han ocasionado contaminación al ambiente y en la salud de las personas (Arbeli, 2009).

Pertenecen a un grupo de los organoclorados y sus principales características son: constante dieléctrica baja, baja volatilidad, resistencia al fuego, baja solubilidad en agua, alta solubilidad en solventes orgánicos, alta resistencia al envejecimiento, no se deterioran durante el uso. Por estas características resultaron ser ideales como fluidos dieléctricos por lo que fueron ampliamente utilizados en la industria eléctrica en transformadores, capacitadores, interruptores, reguladores de voltaje, disyuntores, así como en balastos de lámparas fluorescentes.

Sin embargo, estas sustancias no son biodegradables, pueden transportarse largas distancias a través de los elementos naturales, son persistentes y poseen poder de bioacumulación y biomagnificación, lo cual les confiere características de peligrosidad y de riesgo para los seres vivos y el ambiente. (Montoya, 2018)

Ecuador sufrió el 16 de abril del 2016, un evento telúrico de 7,8 grados de magnitud en la escala abierta de Richter, con epicentro cercano a la ciudad de Pedernales, que originó daños materiales y pérdidas humanas en el litoral ecuatoriano. Este siniestro afectó gravemente el sistema de distribución eléctrica ocasionando que transformadores dañados fueran almacenados en el “Taller de Transformadores” el cual se encuentra emplazado en la zona comercial de la ciudad de Manta, en el barrio Miraflores.

2. OBJETIVO

Establecer lineamientos y prácticas ambientales que permitirán mejorar el manejo, control, almacenamiento y disposición final de los Bifenilos Policlorados PCBs, así como establecer acciones preventivas y/o correctivas que contribuyan a mitigar y reducir la contaminación ambiental en los suelos del Patio de transformadores de CNEL EP Manabí en cumplimiento a la normativa ambiental vigente.

3. ALCANCE

La presente Guía de Buenas Prácticas Ambientales tiene un alcance que va desde la entrega del transformador con o sin PCBs al taller de transformadores de CNEL EP MANABÍ en la ciudad de Manta hasta su disposición final.

4. ÁMBITO DE APLICACIÓN

A través de la siguiente guía se busca minimizar las afectaciones de los PCBs al ambiente especialmente en el suelo debido a las actividades realizadas en el taller de transformadores, razón por la cual el presente documento se constituye un requisito y protocolo ambiental que deberá ser aplicado en el establecimiento.

5. GLOSARIO Y DEFINICIONES

Aceite dieléctrico: Aceite mineral que se compone principalmente de carbono e hidrógeno en moléculas que presentan diferentes estructuras, estable a altas temperaturas que tiene propiedades aislantes eléctricas

PCBs: Los bifenilos policlorados (PCBs) son compuestos orgánicos clorados constituidos por dos anillos de benceno y unidos por un enlace simple de carbono-carbono (estructura bifenilo); cada uno de los 10 átomos de hidrogeno del bifenilo pueden ser sustituidos por un átomo de cloro, lo que le permite formar una serie de hasta 209 congéneres. La fórmula química de los PCB es $C_{12}(10-n)Cl_n$.

Desechos peligrosos: Son aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas, que represente un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.

Kit colorimétrico: Kit Especial para muestreo de Transformadores e Instrumento portable de campo para prueba de Detección de contaminantes de PCBs en aceites basado en Análisis de Cloro Mediante Método Colorimétrico

Prueba de cromatografía de gases: Técnica cromatográfica en laboratorio para determinar con precisión las concentraciones de ciertos contaminantes en muestras líquidas y sólidas.

Buenas prácticas ambientales: Se define como todas aquellas acciones que priorizan la minimización y reducción de impactos ambientales negativos a causa de actividades y procesos en las organizaciones.

Seguridad y salud ocupacional: área multidisciplinaria que busca prevenir riesgos que se relacionan con la seguridad y la calidad de vida de las personas dentro de un ambiente laboral, así como la protección de todos los involucrados dentro de un ambiente ocupacional.

Impacto ambiental: Es un cambio o una alteración en el ambiente, debido a una causa o efecto en las actividades naturales o antropogénicas.

6. NORMATIVA LEGAL

- **Constitución de la República del Ecuador. (Registro Oficial N° 449, 20 de octubre de 2008)**

La Constitución del Estado establece responsabilidades ambientales para garantizar la conservación de los recursos y su apropiado aprovechamiento por parte de las comunidades.

Artículo 14 Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Artículo 15 El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Artículo 71 La naturaleza o Pacha Mama, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

- **Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (Registro Oficial N° 381, del 20 de julio de 2004)**

En el convenio se reconoce que los contaminantes orgánicos persistentes tienen propiedades tóxicas, son resistentes a la degradación, se bioacumulan y son transportados por el aire, el agua y las especies migratorias a través de las fronteras internacionales y depositados lejos del lugar de su liberación, acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos. Conscientes de los problemas de salud, especialmente en los países en desarrollo, resultantes de la exposición local a los contaminantes orgánicos persistentes, en especial los efectos en las mujeres y, a través de ellas, en las futuras generaciones.

- **Convenio de Basilea (Registro Oficial N° 432, del 3 de mayo de 1994)**

La Convención de Basilea es el tratado multilateral de medio ambiente que se ocupa más exhaustivamente de los desechos peligrosos y otros desechos; su objetivo es proteger el ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos derivados de la generación, el manejo, los movimientos transfronterizos y la eliminación de los desechos peligrosos.

- **Convenio de Rotterdam (Registro Oficial N° 425, del 21 septiembre 2004)**

El Convenio de Rotterdam Sobre Procedimiento De Consentimiento Fundamentado Previo Para Ciertos Productos Químicos Peligrosos Objeto Del Comercio Internacional fue aprobado el 11 de septiembre de 1998, para proteger la salud humana y el medioambiente mediante la regulación y control de las importaciones y exportaciones de productos químicos y plaguicidas considerados como peligrosos; entró en vigor el 24 de febrero de 2004, y Ecuador lo ratificó el 4 de mayo de 2004.

- **Código Orgánico del Ambiente COA**

El Código Orgánico del Ambiente publicado en el Registro Oficial Suplemento 983 del 12 de abril del 2017, que tiene como objetivo garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o Sumak Kawsay.

- **Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (Publicada mediante Tercer Suplemento del Registro Oficial Nro. 418 del 16 de enero del 2015)**

Artículo 78.- Protección al ambiente. - Corresponde a las empresas eléctricas, y todos los participantes del sector eléctrico, cumplir con las políticas, normativa y procedimientos aplicables según la categorización establecida por la Autoridad Ambiental nacional, para la prevención, control, mitigación, reparación y seguimiento de impactos ambientales en las etapas de construcción, operación y retiro.

Artículo 80.- Impactos ambientales. - Las empresas eléctricas tendrán la obligación de prevenir, mitigar, remediar y/o compensar según fuere el caso, los impactos negativos que se produzcan sobre el ambiente, por el desarrollo de sus actividades de construcción, operación y mantenimiento.

- **Código Orgánico Integral Penal (Publicado en el Registro Oficial No. 180 de 10 de febrero del 2014)**

Recientes reformas al Código Penal Ecuatoriano, configuraron e introdujeron en la legislación nacional el concepto de los delitos ambientales, los que son relevantes para la gestión a ser ejecutada por el proyecto, en el ámbito de su actividad, pues su inobservancia determina la responsabilidad de carácter penal para los funcionarios que por actos de acción u omisión, contravinieren las disposiciones del mismo, sujetándolos a penas privativas de la libertad, que posteriormente se relacionan con la posibilidad de establecer demandas de indemnización por los daños y perjuicios ocasionados en materia civil.

La Ley establece pena de prisión de 3 a 5 años a quien infringiere las normas sobre protección del ambiente, vertiendo residuos de cualquier naturaleza, por encima de los límites fijados por la Ley. Se impondrá el máximo de la pena si la infracción es perpetrada en un espacio del Sistema Nacional de Áreas Protegidas o si la infracción es perpetrada con ánimo de lucro o con métodos, instrumentos o medios que resulten en daños extensos y permanentes.

- **Reglamento Al Código Orgánico del Ambiente (Registro Oficial Suplemento 983 de 12 abril de 2017)**

Art. 7.- Deberes comunes del Estado y las personas. Son de interés público y por lo tanto deberes del Estado y de todas las personas, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades y colectivos, los siguientes:

1. Respetar los derechos de la naturaleza y utilizar los recursos naturales, los bienes tangibles e intangibles asociados a ellos, de modo racional y sostenible;
2. Proteger, conservar y restaurar el patrimonio natural nacional, los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país;
3. Crear y fortalecer las condiciones para la implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

- **Texto unificado de legislación ambiental**

Normativa de cumplimiento a nivel nacional para emisiones al aire, calidad de aire ambiente, niveles de ruido, residuos sólidos.

- **Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. 2393**

Las disposiciones de este Reglamento se aplican a toda actividad laboral y en todo centro de trabajo, teniendo como objetivo la prevención, disminución o eliminación de los riesgos de trabajo y el mejoramiento del ambiente de trabajo.

- **Acuerdo Ministerial 142. Listados Nacionales de Sustancias Químicas Peligrosas, Desechos Peligrosos y Especiales (Registro Oficial Nº 856, del 21 de diciembre de 2012)**

El acuerdo presenta un listado actualizado de las sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales, de acuerdo a los Anexos A, B y C. Los artículos de aplicación describen:

Art. 1. Serán consideradas sustancias químicas peligrosas, las establecidas en el Anexo A del presente acuerdo.

Art. 2.- Serán considerados desechos peligrosos, los establecidos en el Anexo B del presente acuerdo.

Art. 3. Serán considerados desechos especiales los establecidos en los Anexo C del presente acuerdo.

- **Acuerdo Ministerial N° 146 Procedimiento para la gestión de PCBs**

El Acuerdo Ministerial 146 sobre los “Procedimientos para la Gestión Integrada y Ambientalmente Racional de los Bifenilos Policlorados (PCBs) en el Ecuador”, se publicó en el Registro Oficial el 5 de enero del 2016 y actualmente se encuentra en vigencia tanto en el área continental como en la región insular del Ecuador.

Este Acuerdo tiene como objetivo establecer los procedimientos para la gestión integrada y ambientalmente racional de los PCBs con el fin de prevenir y evitar riesgos al ambiente y a la salud humana, tiene aplicación a todas las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, nacionales o extranjeras

- **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3864; Símbolos Gráficos, Colores de Seguridad y Señales de Seguridad.**

Esta norma de aplicación voluntaria, establece los colores, señales y símbolos de seguridad, con el propósito de prevenir accidentes y peligros para la integridad física y salud, así como hacer frente a ciertas emergencias. Esta norma no intenta la sustitución, mediante colores o símbolos de las medidas de protección y prevención apropiadas para cada caso; el uso de colores de seguridad solamente debe facilitar la rápida identificación de condiciones inseguras; así como la localización de dispositivos importantes para salvaguardar la seguridad.

- **Norma INEN 2266:2013 Norma de Transporte, Almacenamiento y Manejo de Productos Químicos Peligrosos.**

Requisitos. Esta norma establece los requisitos que se deben cumplir para el transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos.

Aplicación. Esta norma se aplica a las actividades de producción, comercialización, transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos.

7. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DEL TALLER DE TRANSFORMADORES

7.1 Recepción de equipos eléctricos

Durante este proceso se receptan todos los equipos eléctricos que han sido retirados del sistema de distribución debido a una inspección visual realizada por el personal técnico en la cual determinará si los equipos requieran algún tipo de reparación o manteniendo, los equipos que se receptan en el taller son transformadores de distribución de 5 a 75 kilovoltios y capacitadores. Durante este proceso se recepta el equipo y se verifica las condiciones físicas en que se entrega así mismo se deja constancia en la bitácora los datos de la placa del equipo y si cuenta con sello de verificación del aceite sin PCBs.

7.2 Equipo de pruebas

Una vez receptado el transformador se lo ingresa en un equipo de pruebas para identificar la resistencia, sobrecarga y funcionalidad de los componentes eléctricos. También durante este proceso se realiza una prueba rápida por colorimetría para la identificación de PCBs en el aceite dieléctrico, este paso es uno de los más importantes donde se determinará si el transformador se encuentra o no contaminado.

7.3 Reparación y mantenimiento de transformadores

Durante esta fase se realiza la reparación física y técnica del equipo que ha sido evaluado anteriormente, se realizan cambio o reemplazo de componentes en caso que se amerite, calibración de equipos y pintura.

7.4 Área de secado

El área de secado consta de un horno el cual permite secar todas las partes húmedas del equipo eléctrico, también se utiliza para secar al horno la pintura del transformador,

7.5 Cambio de aceite dieléctrico

Este procedimiento se realiza siempre y cuando se haya determinado mediante el proceso de pruebas que el aceite no cumple con las condiciones dieléctricas es decir que ya cumplió su vida útil en términos generales un aceite puede ser cambiado cada 2 o 3 años, este aceite es indispensable para el correcto funcionamiento del transformado, el cambio del aceite se lo realiza de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

7.3 Despacho

Una vez que el transformador ha sido reparado este se deriva al área de despacho donde se almacenan temporalmente hasta ser instalados y reincorporados al sistema de distribución de energía siempre y cuando haya pasado y aprobado el protocolo de pruebas.

8. BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

8.1 INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES

La infraestructura e instalaciones del taller de transformadores debe de cumplir con ciertas normas técnicas para desempeñar un correcto funcionamiento de las actividades por esta razón se proponen las siguientes medidas de seguridad y ambiente.

- El piso del patio del transformador debe ser de un material liso e impermeable como cemento y pintura epóxica con el objetivo de evitar infiltraciones directas al suelo.
- Se deberá instalar o diseñar un sistema de canaletas conectadas a una cisterna de aceite con su respectiva trampa de grasa. Esto con la finalidad que en el caso de un derrame el aceite sea direccionado a una fuente recolectora y no se sobre el suelo.
- El área donde se almacenan los transformadores debe de contar con cubierta y techo.
- Se deberá instalar un sistema contra incendio de acuerdo a la normativa técnica del cual deberá tener los siguientes equipos mínimos: cajetín contra incendio con manguera de 25 metros, llave spinner, hacha y extintor de 20 libras tipo PQS.
- Se deberá tener un lugar específico para el cambio de aceite con PCBs el mismo que contará con claraboyas que permitan el paso de luz y ventilación natural.
- Tener un lugar para el almacenamiento temporal de desechos peligrosos que cuente con piso impermeable, techo, muros de contención, señalización,

extintor, equipos antiderrames y además el área debe tener un acceso restringido con cerco perimetral.

8.2 MANEJO DE ACEITE CON BIFENILOS POLICLORADOS

El manejo de aceite dieléctrico es una de las prácticas más importantes en esta guía por lo que se deberá tener el mayor cuidado para evitar algún tipo de derrame o accidentes. Para lo cual se describen las siguientes medidas.

- El manejo de aceite con bifenilos policlorados debe ser realizado por personal calificado y capacitado en manejo de sustancias peligrosas.
- Utilizar el equipo de protección personal adecuado, el equipo mínimo a utilizar será un overol o traje para manejar sustancias químicas, guantes de nitrilo, guantes de látex, botas de seguridad, gafas de seguridad y mascarilla con filtro para gases.
- Utilizar materiales y equipos apropiados para el trasvase del aceite como son bombas manuales de succión, bombas de eléctricas de aceite con la adaptación de una manguera para la fácil recolección, embudos y recipientes de plástico resistentes suficientemente grandes y de agarre para una correcta manipulación
- No mezclar los materiales equipos o recipientes que han sido utilizados en aceite con PCBs en aceites libres, con el fin de evitar la contaminación cruzada.
- Disponer de un kit antiderrame con los siguientes materiales mínimos; paños absorbentes, aserrín o mus absorbente, pala, bolsas plásticas, cinta de peligro, guantes, gafas y mascarilla.

8.3 ALMACENAMIENTO DE BIFENILOS POLICLORADOS

- Se recomienda utilizar contenedores de plástico para el almacenamiento de aceites, ya que los tanques de metal tienden a deteriorarse y oxidarse.
- Llenar los contenedores hasta el 80% de su capacidad.
- Se deberá verificar que todos los contenedores se encuentren sellados con el fin de evitar cualquier fuga o goteo.
- Todos los transformadores y contenedores deben estar almacenados sobre pallets o cubetos.
- No se permitirá el almacenamiento de tanques a dos niveles, es decir uno encima de otro.

- Todos los contenedores deberán contener una etiqueta de material resistente y adherida al recipiente.
- Todos los contenedores y transformadores deberán estar etiquetados de acuerdo a la normativa INEN 2288.

8.4 BODEGA DE ALMACENAMIENTO DE PCBS

La bodega debe cumplir, por lo menos lo siguiente:

- No estar cerca a ningún cuerpo hídrico a más de (100 m) ni cercano a ninguna, escuela, hospital, expendio de alimentos, sistemas de tratamiento de agua potable.
- No debe estar ubicado en zonas inundables.
- El piso debe estar sobre una base sólida e impermeable.
- Estar sobre techo, que sobrepase el área de la bodega.
- Debe estar contenido con un dique de protección contra derrames o canaletas.
- Los equipos y recipientes que contengan los PBCs, deben estar sobre estibas de apoyo.
- La bodega debe estar debidamente identificada, con señalética de información, prohibición y advertencia que se requiera.
- La bodega debe poseer sistemas contra incendios y alarmas.
- La bodega debe tener sus áreas de almacenamientos delimitadas y señalizadas.
- Se deberá tener un plan de contingencias

8.5 DISPOSICIÓN FINAL DE BIFENILOS POLICLORADOS

En base a la normativa ambiental Acuerdo Ministerial N°146 del Ministerio del Ambiente del Ecuador, la disposición final de estos desechos se deberá realizar con tecnologías y/o tratamientos apropiados para su eliminación, sin embargo, actualmente en el Ecuador no existe un gestor ambiental autorizado con una tecnología aprobada y validada para dar una disposición final a estos desechos, por lo que se creó un Plan de Gestión de PCBs en Ecuador 2018 – 2025 en el que siguiendo los lineamientos internacionales del convenio de Basilea y los requerimientos de embalaje y etiquetado de desechos dado por las Naciones Unidas con sus recomendaciones para el transporte de mercancías peligrosas y la Organización Marítima Internacional (OMI) con su Código Internacional Marítimo para Transporte de Mercancía Peligrosa (IMDG).

Los desechos contaminados con PCBs serán exportados a la ciudad de Drachten en Holanda en la planta de eliminación de desechos peligrosos Orion B.V. Los aceites y desechos contaminados con PCBs serán incinerados y los equipos serán limpiados con solventes para una posterior revalorización.

Para iniciar este proceso el Ministerio del Ambiente junto con los generadores (empresas eléctricas) de estos desechos peligrosos, deberán tener inventariado al 100% existencia de PCBs en sus equipos hasta el año 2023.

8.6 ACCIONES EN CASO DE EMERGENCIA O ACCIDENTES

Para el caso de emergencias y/o accidentes que puedan suceder en el movimiento y manipulación de aceites dieléctricos se seguirá como recomendación el Plan de emergencia y contingencia de la Bodega Miraflores. Como medidas generales se deberá tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

6.3.1 En caso de derrame

- El personal que labora en el área debe estar capacitado para actuar ante una emergencia.
- Todo trabajador que participa en labores de atenuación debe utilizar elementos de protección personal adecuados
- Tener en un lugar visible las Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) de los químicos que se tengan almacenados
- Tener un kit antiderrame disponible con material absorbente en la bodega para el caso de derrames; y, depositar el material empapado en tambores para su posterior disposición.
- El líder de Responsabilidad Social, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional junto con los Profesionales Socio Ambientales y personal involucrado, deberán reunirse para un análisis del accidente y las medidas preventivas y/o correctivas.

6.3.2 En caso de incendio

- El personal que labora en el área debe estar capacitado para actuar ante una emergencia.
- Disponer el área con sistemas contra incendios y extintores
- Disponer de señalización y puntos de encuentro
- Activar el plan de llamada (ECU911) en caso de no ser posible controlar el fuego

- El líder de Responsabilidad Social, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional junto con los profesionales de seguridad industrial y personal involucrado, deberán reunirse para un análisis del accidente y las medidas preventivas y/o correctivas.

6.3.3 En caso de sismo y terremotos

- El personal que labora en el área debe estar capacitado para actuar ante una emergencia
- Disponer de señalización de evacuación y puntos de encuentro
- Mantener disponible un botiquín de primeros auxilios
- El líder de Responsabilidad Social, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional junto con los Profesionales de seguridad industrial, deberán reunirse para un análisis del accidente y las medidas preventivas y/o correctivas.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

- Esta guía para el manejo de bifenilos policlorados (PCBs) permitirá al taller de transformadores de CNEL Manabí realizar un buen manejo de los lineamientos y prácticas ambientales que permitirán mejorar la administración, control, almacenamiento y disposición final con el fin de evitar que estos desechos puedan ocasionar afectaciones a los recursos naturales.
- Todo lo anteriormente expuesto brinda información referente a la parte legal y ambiental que se debe conocer para tener actualizados los protocolos a seguir en caso que así se requiera.

9.2 RECOMENDACIONES

- Durante las operaciones de mantenimiento, los transformadores de aceite mineral u otro tipo de aceite dieléctrico, pueden contaminarse con PCBs en niveles bajos, debido al uso de las mangueras, máquinas de filtración, bombas, etc., que previamente han estado en contacto con equipos que contienen o que están contaminados con PCBs, situación que exigiría su gestión bajo los lineamientos de esta guía.

- Se recomienda que se den capacitaciones sobre el manejo y disposición de los bifenilos policlorados (PCBS), así mismo sobre las buenas prácticas y normativa ambiental.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Constitución del Ecuador (2008). Publicada en Registro Oficial No. 445 de 20 de octubre del 2008.
- Ministerio del Ambiente (2008). • Acuerdo Ministerial N°026. Expídase los procedimientos para Registro de generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos.
- Ministerio del Ambiente (2015). Código Orgánico Ambiental – Registro oficial suplemento 983 de 12 de abril del 2017
- Ministerio del Ambiente (2015). *Guía técnica para la gestión ambientalmente racional de PCB*. Consultado el 10 febrero de 2021. <https://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/library/poverty/guia-tecnica-para-la-gestion-ambientalmente-racional-de-pcb.html>
- Ministerio del Ambiente (2016). *Acuerdo Ministerial N°146. Expídase los procedimientos para la gestión integral y ambientalmente racional de los bifenilos policlorados (PCB) en el Ecuador*. Registro oficial N°456.
- Ministerio del Ambiente (2016). *Acuerdo Ministerial N° Expídase. los procedimientos para la gestión integral y ambientalmente racional de los bifenilos policlorados (PCB) en el Ecuador*. Registro oficial N°456.
- Ministerio de salud (2017). *Proyecto “Manejo y disposición ambientalmente racional de bifenilos policlorados”*. Consultado el 02 marzo de 2022. <http://www.digesa.minsa.gob.pe/DCOVI/GUIA-PCB.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas (2020). *Guía metodológica para la elaboración del plan de gestión ambiental de bifenilos policlorados (PGAPCB) aplicable a la actividad eléctrica*. Consultado el 04 marzo de 2022. <https://minpetel.com/wp-content/uploads/2021/01/Guia-Metodologica-para-la-elaboracion-del-Plan-de-Gestion-Ambiental-de-Bifenilos-Policlorados-PGAPCB.pdf>
- INEN (2013). Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2266:2013 de transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos
- SEAL (2021). *Plan de gestión ambiental de bifenilos policlorados (PCB) – SEAL*. Consultado el 04 marzo de 2022. [https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/ARCHIVO_6859093_compressed%20\(1\)-1-400\(2\).pdf](https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/ARCHIVO_6859093_compressed%20(1)-1-400(2).pdf)