

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Exposición y riesgos por bifenilos policlorados en
Cachimayo, Cusco

Tesis para obtener el grado académico de Maestra en Desarrollo
Ambiental que presenta:

María de Jesús Figueroa Mendoza

Asesor

Dr. Vladimir Roberto Gil Ramón

Lima, 2025

Informe de Similitud

Yo, Dr. Vladimir Roberto Gil Ramón, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú y asesor de la tesis titulada “Exposición y riesgos por bifenilos policlorados en Cachimayo, Cusco”, de la autora María de Jesús Figueroa Mendoza, dejo constancia de lo siguiente:


El mencionado documento tiene un índice de similitud de 6%, según consigna el reporte de similitud emitido por el programa *Turnitin*, el 23/06/2025. El reporte fue generado por la Maestría en Desarrollo Ambiental PUCP.

He revisado dicho reporte y la tesis, y no se advierte indicios de plagio. Como asesor, me encuentro exento de cualquier responsabilidad o reclamo por el contenido de la tesis, los cuales recaen exclusivamente en su autora.

Las citas a otros autores, y sus respectivas referencias, aparentemente cumplen con las pautas académicas seguidas por la autora.

Lugar y fecha:

Lima, 23 de junio de 2025.

Apellidos y nombres del asesor: Dr. Vladimir Roberto Gil Ramón	
DNI: 09399364	Firma 
ORCID: 0000-0002-8477-2280	

Resumen

Los bifenilos policlorados representan una seria amenaza ambiental y para la salud. A pesar de su prohibición hace décadas, esta amenaza persiste debido a la deficiente gestión de sus residuos y existencias, así como a la posibilidad de liberaciones inadvertidas. Si bien existen lineamientos y normativas para su manejo adecuado, la falta de un inventario nacional actualizado y exhaustivo, así como de mecanismos de supervisión y fiscalización ambiental dificulta el manejo y la eliminación efectiva de estos compuestos tóxicos. En consecuencia, la presente investigación discute hasta qué punto los indicios de contaminación por bifenilos policlorados en un almacén representarían una amenaza para el ecosistema y la salud de los habitantes del centro poblado de Cachimayo, en el departamento de Cusco, Perú. Inicialmente, se analiza la evidencia científica general sobre la utilización, producción y prohibición de los bifenilos policlorados. Se muestran las consecuencias de los bifenilos policlorados en el ambiente, la salud humana y la gestión ambiental. Luego, con el fin de determinar el riesgo de cáncer y la peligrosidad por exposición a estos compuestos tóxicos, se reseñan las pautas de calidad ambiental, límites superiores de probabilidad de contraer cáncer y coeficientes de peligrosidad. Posteriormente, se detalla la metodología empleada para la caracterización socioambiental del centro poblado de Cachimayo y la investigación de la evolución del manejo del almacén de Corimarca. Además, se incluye el muestreo y análisis de reconocimiento y de identificación de suelo y sedimentos, así como la valoración del riesgo a la salud asociado a la exposición a bifenilos policlorados en niños y adultos del centro poblado. Los resultados de la investigación indican que, en un principio, el almacén de Corimarca carecía de las condiciones adecuadas para el almacenamiento de sustancias contaminantes, como los bifenilos policlorados. En 2016, la supervisión al almacén por parte del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, adscrito al Ministerio del Ambiente, fue limitada. Esto se debe a que este organismo solo observó el incumplimiento de la prohibición de almacenar residuos en

terrenos abiertos y de las condiciones mínimas de un almacén. Además, solo mencionaba riesgos potenciales, sin realizar mediciones ni análisis para dimensionar los riesgos. En ese momento no había legislación específica sobre la gestión de bifenilos policlorados, la cual fue promulgada el año 2021. Tras ello, el mencionado organismo solo dictó medidas correctivas ante los incumplimientos hallados, ya que en ese momento se encontraba vigente una ley que priorizaba la corrección antes que la sanción. Según lo indicado por la empresa, esta cumplió con las medidas correctivas establecidas por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental después de la supervisión en 2016. Asimismo, se indicó que el almacén de Corimarca se encuentra acondicionado como un almacén temporal de materiales. No obstante, a la fecha la empresa no ha verificado si el almacén de Corimarca es un sitio contaminado. Posteriormente, la información de campo para la presente tesis reportó indicios de bifenilos policlorados en el suelo aledaño al almacén. Si bien los niveles de bifenilos policlorados identificados fueron bajos, fueron cuantificables (esto es, superiores al límite de cuantificación analítico), pero sin exceder los estándares de calidad ambiental para suelos. Contrariamente, los análisis de los sedimentos de la quebrada Huaynanica, colindante al almacén de Corimarca, detectaron niveles de bifenilos policlorados en concentraciones no cuantificables, es decir, por debajo del límite de cuantificación analítico. Estos valores también se encontraron por debajo de los valores de referencia canadienses de calidad ambiental para sedimentos. Posteriormente, los resultados de la investigación realizada para esta tesis sobre la evolución del manejo del almacén y los análisis de suelo llevados a cabo en áreas aledañas, permitieron catalogar el almacén como un área de potencial interés, debido a la posible presencia de bifenilos policlorados. Sin embargo, los resultados obtenidos en los análisis de las muestras recolectadas dentro del almacén no evidenciaron concentraciones de bifenilos policlorados superiores a los límites de cuantificación analítico y a los estándares de calidad ambiental para suelo. No obstante, con una perspectiva de precaución, se adoptó un enfoque conservador al asumir la posible presencia de estos compuestos en

el suelo, incluso en niveles no cuantificables, para la posterior evaluación de riesgos. Por consiguiente, al evaluar los riesgos, se calcularon las dosis estimadas de exposición cancerígena y no cancerígena por vía de ingesta, contacto dérmico e inhalación para adultos y niños. Al multiplicar estas dosis por los factores de riesgo de cáncer y las dosis de referencia correspondientes a cada vía de exposición, el estudio determinó los riesgos totales por exposición a los bifenilos policlorados para adultos y niños. Finalmente, basados en los límites superiores de probabilidad y coeficientes de peligrosidad dictados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, los niveles de riesgos de cáncer calculados resultan extremadamente bajos, tanto para residentes adultos como para niños del centro poblado de Cachimayo. Los riesgos no cancerígenos o tóxicos también resultaron ser considerablemente inferiores al coeficiente de peligrosidad establecido por las mencionadas entidades estadounidenses. El estudio permite concluir que es muy poco probable que la exposición a los bifenilos policlorados del almacén de Corimarca generen efectos adversos en la salud de la población de Cachimayo.

Abstract

Polychlorinated biphenyls represent a serious environmental and health threat. Despite their prohibition decades ago, this threat persists due to the inadequate management of their waste and existing stockpiles, as well as the possibility of inadvertent releases. Although guidelines and regulations exist for their proper handling, the lack of an updated and comprehensive national inventory, along with insufficient environmental supervision and oversight mechanisms, hinders the effective management and elimination of these toxic compounds. Consequently, the present investigation discusses the extent to which indications of polychlorinated biphenyls contamination in a warehouse could pose a threat to the ecosystem and the health of the inhabitants of Cachimayo village, in the department of Cusco, Peru. Initially, the general scientific evidence regarding the use, production, and prohibition of polychlorinated biphenyls is analyzed. The consequences of polychlorinated biphenyls on the environment, human health, and environmental management are presented. Subsequently, to determine the cancer risk and hazard associated with exposure to these toxic compounds, environmental quality guidelines, upper-bound probability limits for contracting cancer, and hazard quotients are reviewed. Following this, the methodology employed for the socio-environmental characterization of Cachimayo village and the investigation into the evolution of the Corimarca warehouse's management are detailed. Furthermore, the sampling and analysis for recognition and identification of soil and sediments are included, as well as the health risk assessment associated with polychlorinated biphenyls exposure to children and adults of the village. The research results indicate that, initially, the Corimarca warehouse lacked adequate conditions for storing contaminating substances, such as polychlorinated biphenyls. In 2016, the supervision of the warehouse by the Environmental Assessment and Enforcement Agency, an entity under the Ministry of Environment, was limited. This was because the Environmental Assessment and Enforcement Agency only observed non-compliance with the prohibition of storing waste

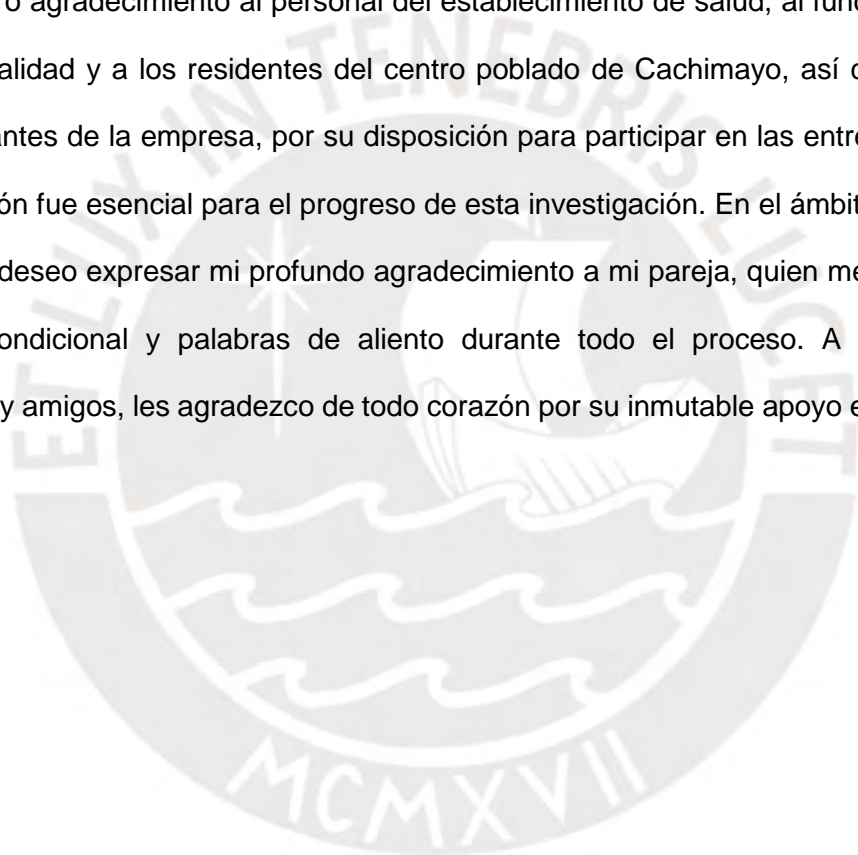
in open areas and with minimum warehouse conditions. Moreover, it only mentioned potential risks without conducting measurements or analyses to quantify them. At that time, there was no specific legislation on polychlorinated biphenyls management, which was promulgated in 2021. Consequently, the agency only dictated corrective measures for the detected non-compliances, as a law prioritizing correction over sanction was in force at that time. According to the company, it complied with the corrective measures established by the Environmental Assessment and Enforcement Agency after the 2016 supervision. Likewise, it was indicated that the Corimarca warehouse is currently adapted as a temporary materials storage facility. However, to date, the company has not verified whether the Corimarca warehouse is a contaminated site. Subsequently, the field information for this thesis reported indications of polychlorinated biphenyls in the soil adjacent to the warehouse. Although the identified polychlorinated biphenyls levels were low, they were quantifiable (i.e., above the analytical quantification limit) but did not exceed the environmental quality standards for soils. Conversely, analyses of sediments from the Huaynanica creek, adjacent to the Corimarca warehouse, detected non-quantifiable polychlorinated biphenyls levels, meaning they were below the analytical quantification limit. These values were also below Canadian environmental quality reference values for sediments. Following the results of the investigation into the evolution of the warehouse's management and the soil analyses in surrounding areas, the warehouse was categorized as an area of potential concern due to the possible presence of polychlorinated biphenyls. However, the results obtained from the analyses of samples collected inside the warehouse did not show polychlorinated biphenyls concentrations exceeding the analytical quantification limits or the environmental quality standards for soil. Similarly, even though the detected polychlorinated biphenyls levels were below the quantification limit, a conservative approach has been adopted, assuming the possibility that these compounds are present in the soil. Therefore, when evaluating the risks, estimated carcinogenic and non-carcinogenic exposure doses were calculated via ingestion, dermal contact, and inhalation for adults and children. By

multiplying these doses by the cancer risk factors and reference doses corresponding to each exposure pathway, the study determined the total risks from polychlorinated biphenyls exposure for adults and children. Finally, based on the upper-bound probability limits and hazard quotients stipulated by the United States Environmental Protection Agency and the American Society for Testing and Materials, the calculated cancer risk levels are extremely low for both adult residents and children of Cachimayo village. Non-carcinogenic or toxic risks also proved to be considerably lower than the hazard quotient established by the U.S. entities. The study concludes that it is highly unlikely that exposure to polychlorinated biphenyls from the Corimarca warehouse would generate adverse health effects in the population of Cachimayo.



Agradecimientos

Agradezco a mi asesor de tesis, por su soporte, conocimientos, experiencia, contribuciones y paciencia, que ayudaron a culminar esta investigación. Asimismo, hago extensivo mi agradecimiento a mis colegas y compañeros de trabajo, quienes brindaron un apoyo invaluable durante la visita de campo y el proceso de muestreo. Su valiosa colaboración y su amplia experiencia en temas de bifenilos policlorados y evaluación de riesgos fueron fundamentales para el éxito de la investigación. También, extendo mi más sincero agradecimiento al personal del establecimiento de salud, al funcionario de la municipalidad y a los residentes del centro poblado de Cachimayo, así como a los representantes de la empresa, por su disposición para participar en las entrevistas. Su colaboración fue esencial para el progreso de esta investigación. En el ámbito personal y familiar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a mi pareja, quien me brindó su apoyo incondicional y palabras de aliento durante todo el proceso. A mi madre, hermanas y amigos, les agradezco de todo corazón por su inmutable apoyo emocional.



Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Marco teórico	4
1.1 Utilización, producción y prohibición de los bifenilos policlorados	9
1.2 Efectos de la exposición a bifenilos policlorados en la salud y ambiente	11
1.3 Gestión ambiental de bifenilos policlorados	16
Capítulo 2. Contexto socioambiental del centro poblado de Cachimayo.....	24
2.1 Contexto ambiental del centro poblado de Cachimayo	24
2.2 Contexto social del centro poblado de Cachimayo	27
Capítulo 3. Metodología.....	33
3.1 Caracterización socioambiental del centro poblado de Cachimayo	33
3.2 Investigación de la evolución del manejo del sitio posiblemente contaminado	34
3.3 Muestreo y análisis de bifenilos policlorados	35
3.3.1 Muestreo y análisis de reconocimiento.....	36
3.3.2 Muestreo y análisis de identificación	41
3.4 Modelo conceptual del sitio	47
3.5 Estimación del nivel del riesgo a la salud humana.....	48
3.5.1 Determinación del problema.....	48
3.5.2 Evaluación de la toxicidad	50
3.5.3 Evaluación de la exposición	51
3.5.4 Caracterización del riesgo a la salud humana.....	54
Capítulo 4. Resultados.....	57
4.1 Evolución del manejo del almacén de Corimarca	57
4.2 Bifenilos policlorados en áreas aledañas y dentro del almacén de Corimarca	68
4.2.1 Resultados analíticos del muestreo de reconocimiento en áreas aledañas al almacén de Corimarca	68
4.2.2 Resultados analíticos del muestreo de identificación dentro del almacén de Corimarca.....	72
4.3 Modelo conceptual del sitio	75

4.4	Estimación del nivel de riesgo por exposición a bifenilos policlorados	77
4.4.1	Determinación del problema.....	77
4.4.2	Evaluación de la toxicidad	77
4.4.3	Evaluación de la exposición	78
4.4.4	Caracterización del riesgo a la salud humana	80
Capítulo 5. Discusión.....		86
Conclusiones		95
Bibliografía.....		99
Anexos.....		119



Índice de figuras

Figura 1 Estructura general de los Bifenilos policlorados (PCB)	12
Figura 2 Estructura química de heptaclorobifenilo	12
Figura 3 Vista del centro poblado de Cachimayo	26
Figura 4 Cobertura vegetal del centro poblado de Cachimayo	27
Figura 5 Tipo de vivienda del centro poblado de Cachimayo.....	28
Figura 6 Puesto de salud de Cachimayo	29
Figura 7 Vista panorámica de centro poblado de Cachimayo, Industrias Cachimayo y subestación eléctrica.....	30
Figura 8 Vista de la municipalidad de Cachimayo	31
Figura 9 Muestreo de reconocimientos de suelos, 2021.....	38
Figura 10 Muestreo de reconocimientos de sedimentos en la quebrada Huaynanica, 2021	39
Figura 11 Muestreo de reconocimientos de sedimentos en la quebrada Huaynanica, 2024	40
Figura 12 Muestreo de identificación de suelos a una profundidad de 10 cm, 2023 ...	44
Figura 13 Muestreo de identificación de suelos a una profundidad de 35 cm, 2023 ...	45
Figura 14 Ejemplo de un modelo conceptual de un sitio contaminado.....	48
Figura 15 Central hidroeléctrica de Corimarca, 1914.....	58
Figura 16 Área colindante a la central con transformadores, 2010	60
Figura 17 Existencias en área colindante a la central eléctrica, 2015.....	61
Figura 18 El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) registró la presencia de transformadores y residuos encima de suelo natural, sin protección, 2016	62
Figura 19 Almacén de Corimarca, 2021	63
Figura 20 Almacén de Corimarca, 2023	67
Figura 21 Modelo conceptual del área de estudio	75

Índice de mapas

Mapa 1 Centro poblado Cachimayo.....	25
Mapa 2 Puntos de muestreo de reconocimiento de suelo	37
Mapa 3 Puntos de muestreo de reconocimiento de sedimento	39
Mapa 4 Puntos de muestreo de identificación en el área de potencial interés (API): almacén de Corimarca.....	43
Mapa 5 Ubicación del almacén de Corimarca.....	58



Índice de tablas

Tabla 1 Cantidad mínima de muestras para el muestreo de identificación	42
Tabla 2 Clasificación de las sustancias cancerígenas	50
Tabla 3 Comparación de resultados de análisis de bifenilos policlorados (PCB) del 2021 con estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo	68
Tabla 4 Comparación de resultados de análisis de PCB del 2021 con las Pautas Canadienses de Calidad Ambiental (CEQG) para sedimentos.....	69
Tabla 5 Comparación de resultados de análisis de PCB del 2024 con las CEQG para sedimentos	71
Tabla 6 Comparación de resultados de análisis de PCB de muestras a una profundidad de 10 cm con ECA para suelo	72
Tabla 7 Comparación de resultados de análisis de PCB de muestras a una profundidad de 35cm con ECA para suelo	74
Tabla 8 Propiedades toxicológicas de los PCB.....	78
Tabla 9 Parámetros de exposición.....	78
Tabla 10 Cálculo de la dosis de exposición a suelo del almacén de Corimarca	79
Tabla 11 Índice de riesgo (cancerígeno) por exposición a suelo – residente adulto	81
Tabla 12 Índice de riesgo (cancerígeno) por exposición a suelo – residente niño	82
Tabla 13 Índice de peligrosidad (no cancerígeno) por exposición a suelo – residente adulto.....	84
Tabla 14 Índice de peligrosidad (no cancerígeno) por exposición a suelo – residente niño.....	85

Índice de anexos

Anexo 1 Cartas de presentación para entrevistas y trabajos de campo.....	120
Anexo 2 Registro y formato de entrevistas	124
Anexo 3 Guías de entrevistas	125
Anexo 4 Informes de análisis del muestreo de reconocimiento de suelo del 2021.....	127
Anexo 5 Informes de análisis del muestreo de reconocimiento de sedimentos del 2021	132
Anexo 6 Informes de análisis del muestreo de reconocimiento de sedimentos del 2024.....	137
Anexo 7 Informes de análisis del muestreo de identificación de suelos del 2023	141
Anexo 8 Propiedades toxicológicas de los bifenilos policlorados (PCB) de la base de datos del programa de Acciones Correctivas Basadas en el Riesgo (Risk based corrective action - RBCA)	147
Anexo 9 Datos de exposición considerado en el programa RBCA para adultos y niños	148
Anexo 10 Cálculos en el programa RBCA de la evaluación de riesgos por exposición a PCB para adultos	152
Anexo 11 Cálculos en el programa RBCA de la evaluación de riesgos por exposición a PCB para niños	157

Siglas y Acrónimos

API	Área de Potencial Interés
ASTM	American Society for Testing and Materials / Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
AT	Tiempo promedio para compuestos no cancerígenos
ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
BW	Peso del cuerpo
C	Contaminante
CEQG	Canadian Environmental Quality Guidelines / Pautas Canadienses de Calidad Ambiental para Sedimentos
CERPER	Certificación del Perú
CMAOT	Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, de la Junta de Andalucía
CONAM	Consejo Nacional del Ambiente
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
CP	Contaminante de preocupación
DdR o RfD	Dosis de Referencia
DdR _{DER}	Dosis de Referencia por contacto dérmico
DdR _{ING}	Dosis de Referencia por ingestión
DdR _{INH}	Dosis de Referencia por inhalación
DE	Dosis de exposición resultante de la exposición al contaminante a través de la vía
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
DuE	Duración de la Exposición
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
ED	Duración de la exposición
EF	Frecuencia de la exposición
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
EPA	Environmental Protection Agency / Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.
ERSA	Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente
ESSALUD	Seguro Social de Salud del Perú
FBD	Tasa de Absorción Gastrointestinal del Contaminante
FC	Factor Volumétrico de Conversión
FPC	Factor de pendiente de cáncer
FrE	Frecuencia de exposición
FRU	Factor de riesgo unitario
IARC	International Agency for Research on Cancer / Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer
IDH	Índice de Desarrollo Humano
INACAL	Instituto Nacional de Calidad
INC	Instituto Nacional de Cultura
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INGEMMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
IP	Índice de peligrosidad, resultante del contaminante (i) para la j-ésima vía de exposición

IP _T	índice de peligrosidad total
IR	Tasa de ingestión de suelo
IR _{ij}	Índice de riesgo resultante del contaminante (i) para la j-ésima vía de exposición
IRIS	Integrated Risk Information System / El Sistema Integrado de Información de Riesgos
IRT	índice de riesgo de todos los contaminantes cancerígenos y todas las vías de exposición
ISQG	Interim Sediment Quality Guidelines / Directrices de Calidad de Sedimentos provisionales
LDA	límites de detección analíticos
M	Factor de adherencia del suelo a la piel
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINCUL	Ministerio de Cultura
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MINSA	Ministerio de Salud
NTP	National Toxicology Program
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
OSINERG	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía
PAS	Procedimiento Administrativo Sancionador
PC	Peso Corporal
PCB	Bifenilos Policlorados
PEL	Probable Effect Level / Nivel de Efecto Probable
PLANEFA	Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PTE	Periodo de Tiempo Durante la Exposición fue Promediado
R.M.	Resolución Ministerial
RAF	Factor de absorción relativa para contacto dérmico del suelo
RBAF	Factor de biodisponibilidad relativa
RBCA	Risk Based Corrective Action / Acciones Correctivas Basadas en el Riesgo
RECV	Riesgo Extra de Cáncer por Vida
RfC	Concentración de referencia
RfD _o	Dosis de referencia oral crónica
RIC	Riesgo Incremental de Cáncer
SA	Superficie de la piel para el contacto dérmico del suelo
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SF	Slope Factors / Factor de pendiente
SF _o	Factor de pendiente oral
^{ss} RBSL	Nivel de referencia para suelo basado en el riesgo
THQ	Coeficiente de peligro objetivo
TI	Tasa de ingestión
TR	Riesgo objetivo

UCL95	Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95 % de la media aritmética
UNEP	United Nations Environment Programme / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
URF	Factor de unidad de riesgo
USEPA	U.S. Environmental Protection Agency /Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
UTM	Universal Transverse Mercator / Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator
VF_{samb}	Factor de volatilización desde el suelo al aire exterior
WGS84	World Geodetic System 1984 / Sistema Geodésico Mundial 1984



Introducción

Los bifenilos policlorados (PCB) son sustancias químicas creados por el ser humano y se usaron extensamente en una diversidad de aplicaciones industriales y comerciales a lo largo de la segunda mitad del siglo XX. No obstante, dada su persistencia en el ambiente y debido a sus efectos nocivos para la salud humana, la producción y utilización fue prohibida hacia fines de la década de 1970.

La problemática ambiental actual sobre los PCB está centrada en su gestión, falta de un inventario nacional actualizado y posible liberación inadvertida. Aunque se prohibió su fabricación, uso y comercialización, y existen lineamientos y normativa para la gestión adecuada, los PCB aún pueden liberarse como consecuencia del inadecuado manejo o eliminación. Además, la falta de mecanismos de supervisión y fiscalización ambiental para los PCB se suma como obstáculo para alcanzar el objetivo de reducir y eliminar su liberación, con el propósito de salvaguardar la salud y ambiente de los PCB. Entonces es relevante el analizar cuál es la exposición y riesgos que podría tener una población aledaña por posible contaminación de PCB.

La autora inició su interés en los PCB durante la elaboración de su tesis de pregrado. En este trabajo de investigación, propuso un plan de negocios para comercializar un *kit* utilizado para determinar la presencia de PCB en diferentes matrices, como parte de un proyecto desarrollado para la empresa donde trabajaba (Figueroa 2015). Actualmente la empresa comercializa este *kit* de descarte y a su vez realiza labores de consultoría ambiental especializada en la gestión de PCB. A partir de esas experiencias, la autora desarrolló un interés en la gestión y manejo de PCB en las empresas que los puedan portar. Por ello, su interés se enfocó en comprender los procesos de identificación, eliminación y gestión de estos compuestos de acuerdo con la normativa, todo ello con la finalidad de resguardar la salud y ambiente.

La experiencia adquirida en la consultora despertó en la autora un interés en explorar la problemática de los PCB, enfocada en la importancia de gestionar adecuadamente este contaminante para prevenir posibles riesgos al ambiente y la salud. Durante su búsqueda la autora se encontró con el caso del almacén de Corimarca, administrada por una empresa eléctrica, la cual estuvo bajo la supervisión del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) en 2016. Esta supervisión señaló el inadecuado manejo de transformadores y el incumplimiento del acondicionamiento del almacén de residuos y existencias.

Una vez identificado al almacén de Corimarca, la autora encontró un video del Ministerio de Cultura (2015) titulado *Qorimarca: 100 años de electricidad en el Cusco* que narra cómo la llegada de la electricidad impulsó el crecimiento económico e industrial regional, trayendo consigo innumerables beneficios para la población. Además, exponía cómo con la construcción de la primera hidroeléctrica, Corimarca, que suministró energía eléctrica al Cusco, liberándola de la oscuridad y sentando las bases para su industrialización y progreso. Al analizar el video, la autora identificó una contradicción. Mientras se destacaba el papel de la tecnología como avances que impulsan el bienestar humano, había imágenes de la antigua hidroeléctrica y algunas tomas mostraban a los transformadores dispuestos en el suelo de los alrededores. Esta aparente incongruencia provocó su atención sobre un posible problema inadvertido.

Esta investigación busca determinar hasta qué punto los posibles indicios de contaminación por PCB representan riesgos ambientales y a la salud humana de una población aledaña. Con este fin, se seleccionó un sitio con indicios de contaminación por PCB. Así, resulta relevante la supervisión realizada por el OEFA en el 2016 al almacén de Corimarca propiedad de una empresa privada eléctrica peruana Electro Sur Este S.A.A. La empresa tenía 96 transformadores en desuso, además de otras existencias y residuos producto de su actividad (OEFA 2016). Asimismo, para evaluar la exposición y riesgo por PCB como receptor, se seleccionó al centro poblado de

Cachimayo en Cusco, como población aledaña, el cual se encuentra al sur (río abajo) del almacén de Corimarca.

Para entender qué son los PCB, así como y qué sucede cuando entran al ambiente, en lo que sigue (capítulo 1) se señala la evidencia científica sobre la utilización, producción y prohibición de los PCB; los efectos de la exposición a los PCB sobre la salud y ambiente; así como la gestión ambiental de los PCB en Perú y el mundo. Además, se reseña las pautas de calidad ambiental, límites superiores de probabilidad y coeficiente de peligrosidad de comparación para determinar si existe riesgo de cáncer y peligrosidad por exposición a sustancias tóxicas. En el capítulo 2 dedicado al área de estudio, se describen elementos del contexto socioambiental del centro poblado de Cachimayo. Posteriormente, en la sección metodológica (capítulo 3) se explican los pasos del estudio: la caracterización socioambiental del centro poblado de Cachimayo y el registro de la investigación de la evolución del manejo del almacén de Corimarca. También, el muestreo y análisis de reconocimiento y de identificación, al igual que la evaluación del riesgo por exposición a PCB. La sección de resultados (capítulo 4) presenta la información de la investigación de la evolución del manejo del almacén de Corimarca como sitio contaminado; además se expone los resultados obtenidos del muestreo y análisis de reconocimiento y de identificación de PCB. Asimismo, se evalúa el grado de riesgo que representan los PCB para la salud de los habitantes de Cachimayo. Finalmente, la discusión (capítulo 5) contrasta lo esperado teóricamente frente a los hallazgos encontrados.

Capítulo 1. Marco teórico

El presente capítulo ofrece una revisión de la literatura científica de la producción, uso, prohibición, así como sus efectos nocivos de los PCB en la salud humana y ambiente. Asimismo, se analiza las normativas y estrategias de gestión de PCB implementadas en Perú y a nivel internacional, con especial énfasis en las normas de calidad ambiental, límites superiores de probabilidad y coeficiente de peligrosidad para evaluar los riesgos asociados a la exposición a estos compuestos tóxicos.

La industrialización, el desarrollo tecnológico y el crecimiento demográfico han acarreado que la contaminación de origen antrópico se agrave considerablemente desde mediados del siglo XX, dada la creciente producción y utilización de diversas sustancias químicas, consumo de energía, y extracción de recursos. Muchas sustancias se liberaron al ambiente y han rebasado o anulado mecanismos naturales de transformación y degradación, afectando la salud ambiental humana (Albert 2002).

Holdgate (1979) describe a la contaminación como la incorporación antrópica al ambiente de elementos susceptibles a causar peligros para la salud, sistemas ecológicos y daños a los recursos. Alloway y Ayres (1997) resaltan que la contaminación causa mayor interés, a diferencia de otros problemas ambientales, debido a que la gente percibe que la contaminación afecta la salud, los suministros de alimentos y degrada los ecosistemas. Además, resalta que la contaminación ambiental es insidiosa debido a que los efectos nocivos se hacen presentes después de largos periodos de exposición.

Dado que la contaminación por la liberación de sustancias tóxicas al ambiente ocasiona diversos riesgos para la salud (e.g., cáncer, desórdenes reproductivos, y perturbaciones en el sistema inmunitario y nervioso) y daños al ambiente (e.g. biomagnificación, alteración de ecosistemas por la persistencia, y bioacumulación), la comunidad científica y encargados de políticas ambientales aplicaron medidas para su manejo, control, prohibición, y eliminación (Weinberg 2009). Debido a esto los gobiernos

establecen normalmente regulaciones que determinan concentraciones máximas permisibles y estándares ambientales con el fin de prevenir, vigilar y minimizar riesgos para la salud y ambiente.

Sin embargo, frecuentemente los mecanismos políticos o regulatorios no eliminan o minimizan los riesgos que afectan a la salud y ambiente. Según el sociólogo Beck (2002) la sociedad industrial enfrenta riesgos crecientes que las instituciones no pueden controlar. Asimismo, el antropólogo Gil Ramón (2020) muestra que el cumplimiento normativo (e.g., concentraciones máximas permisibles y estándares de calidad) ocasionalmente no es percibido como ausencia de contaminación. Igualmente, diversos grupos sociales pueden tener perspectivas diferentes sobre qué significa riesgo y contaminación.

Respecto a la contaminación por sustancias químicas creadas como mejoras tecnológicas usadas como productos para diversos procesos industriales, los problemas ambientales y sanitarios asociados a la exposición se hicieron evidentes en muchas sustancias, tales como los PCB. Los PCB fueron utilizados globalmente en varias aplicaciones industriales, especialmente en aceites dieléctricos contenidos en transformadores, condensadores, y capacitores usados para la generación y distribución eléctrica. Según expertos del Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), la producción a escala industrial de PCB se restringe al periodo entre 1929 y 1983, luego se prohibió la producción (DIGESA 2017). Durante ese periodo, este grupo de expertos antes mencionados estimó que se produjeron alrededor de dos mil millones de toneladas de PCB, y aproximadamente doscientos millones de toneladas fueron liberadas al ambiente, acumulándose en diferentes reservorios ambientales.

Por sus excelentes propiedades (e.g., estabilidad térmica piro resistente y aislante eléctrico de difícil oxidación), los PCB se emplearon masivamente en diversas aplicaciones industriales y de consumo. Por ejemplo, se utilizaron como fluidos

dieléctricos en condensadores, transformadores y sistemas hidráulicos. Además, los PCB se utilizaban en tintas, material aislante, y pintura plastificante. Se prohibió su producción y uso al comprobar que ocasionaban problemas ambientales y sanitarios. Acciones a nivel internacional concluyeron con un tratado en Estocolmo, en 2001, para regular los Contaminantes Orgánicos Persistentes, cuando incluyeron a los PCB, además de otros contaminantes, en una lista con el objetivo de reducir y eliminar su liberación, para salvaguardar la salud biológica y ambiental (SCE 2020; Varsavsky y Fernández 2021).

La presencia de PCB en el ambiente refleja las elevadas cantidades producidas durante el tiempo permitido. Asimismo, considerando las características fisicoquímicas de los PCB, y su empleo como fluidos dieléctricos hacen del sector eléctrico el principal portador de PCB, donde equipos como condensadores y transformadores, fabricados con fluidos dieléctricos de significativa concentración de PCB, son abundantes. A pesar de que la fabricación de estos equipos fue prohibida en Estados Unidos en 1979 y en Europa Occidental en 1983, equipos que contienen PCB continúan en funcionamiento o almacenados en Perú y el mundo. Además, existen equipos fabricados después de 1983, contaminados inadvertidamente con PCB, debido a la contaminación cruzada que se produce al entrar en contacto con materiales, herramientas o mezclas contaminadas con PCB durante su mantenimiento, reparación u operación (Lopera y Aguirre 2006). Pese a las prohibiciones decretadas a la producción de PCB en numerosos países industrializados, estos compuestos continúan contaminando al ambiente debido a su uso previo, disposición inadecuada y fugas accidentales de existencias y residuos (Martínez 2014). La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR 2000) señala que los PCB pueden ser liberados desde sitios de residuos mal manejados mediante descargas y escape de transformadores viejos con PCB.

El inadecuado manejo de existencias y residuos de PCB en botaderos o terraplenados causan impactos negativos a la salud socioambiental, contaminando el

suelo, aire y cuerpos de agua. El PCB se esparce en el ambiente trasladándose largas distancias, llegando hasta reservorios, como sedimentos de ríos y aguas litorales, para acumularse en pequeños organismos. Además, la biomagnificación intensifica su presencia en los niveles tróficos superiores, acumulándose en tejidos grasos y órganos vitales de organismos (Beyer y Biziuk 2009). La salud humana resulta dañada por la exposición de PCB, causando alteraciones en el sistema inmunológico, reproductivo y endocrino, así como efectos dermatológicos, enfermedades del hígado, e incremento de riesgo de cáncer (Longnecker et al. 1997), además de alteraciones en el sistema nervioso y retrasos en el desarrollo neurológico fetal (Miller 2009). Actualmente, la exposición a PCB podría ser reconocida como un problema de salud pública en más del 60% de los países (Valero y Tusso 2018).

La evidencia sobre los riesgos de los PCB para la salud y ambiente era escasa y poco difundida en Latinoamérica y el Caribe. Esto ha ido cambiando desde la vigencia del Convenio de Estocolmo en 2004, cuando cada país miembro que ratificó el convenio implementó un Plan Nacional de Aplicación. En 2005, en Perú se tomaron medidas sobre los PCB a partir de la ratificación del mencionado acuerdo. Mendoza (2013) estima que podrían existir 10 510 toneladas de PCB en base al Plan Nacional de Implementación.

Asimismo, el inventario nacional de PCB del 2006, obtenido a través de una encuesta dirigida a distintos sectores, tuvo un nivel de respuesta del 33% (156 empresas) (CONAM et al. 2006). Dicho inventario mostró que el sector industrial concentra la mayor cantidad de equipos contaminados con PCB (64%) (se considera contaminado con PCB si tiene una concentración mayor o igual a 50 ppm de PCB), seguido del minero (14,7%), pesquero (12,8%), transportes y comunicaciones (4,6%) e hidrocarburos (3,7%) de un total de 109 equipos declarados. El sector industrial es el que tiene la mayor cantidad de equipos (73,5%) posiblemente contaminados seguido del sector hidrocarburos (11,9%), pesquero (8%), minero (6,5%) y transporte y

comunicaciones (0,1%) de un total de 1 583 equipos declarados (CONAM at al. 2006). Respecto al sector eléctrico, no se obtuvo los datos mediante la encuesta debido a que OSINERG brindó un inventario realizado en 2004 (CONAM at al. 2006).

El inventario de equipos eléctricos realizado por OSINERG en 2004, que incluyó a 39 empresas del sector, reportó un total de 44 839 equipos. Aunque el 97,6% de estos equipos pertenecían a empresas de distribución eléctrica, el 99,6% de ellos aún no había sido clasificado en cuanto a su posible contenido de PCB. El inventario concluye definiendo que el sector eléctrico debe ser priorizado desarrollando estrategias apoyadas de normativa para asegurar el manejo de PCB. También identifica la falta de difusión y capacidades para que los otros sectores se comprometan a priorizar a los PCB en su gestión ambiental privada y la agenda ambiental de gobierno (CONAM at al. 2006).

En Perú los intentos de gestión de PCB se han beneficiado del apoyo de la cooperación internacional, la cual proporcionó capacidades técnicas a entidades gubernamentales y a algunas empresas voluntarias para la gestión ambiental (Rosado 2019). Del 2011 al 2016 diversas empresas participaron en el proyecto “Manejo y disposición ambientalmente racional de Bifenilos Policlorados”, a cargo de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), donde uno de los sectores priorizados, el eléctrico, solo había examinado la presencia de PCB en aproximadamente 25% del sector (ONUDI 2017).

Según Mendoza (2013), la ausencia de normativa específica sobre la gestión de PCB permite que los propietarios o administradores no estén obligados a gestionar y eliminar los PCB. Así promueven riesgos de contaminación por derrame o liberación de PCB al ambiente, dada la falta de obligatoriedad en aplicar medidas preventivas y de protección durante el manejo, gestión y eliminación (Mendoza 2013). Recientemente, en el 2021, el sector eléctrico, priorizado por el MINAM, aprobó una normativa específica

sobre la gestión de PCB, posibilitando generar obligaciones y responsabilidades legales (MINAM 2021).

Asimismo, dicha normativa debe acompañarse de supervisión y fiscalización ambiental para verificar el cumplimiento normativo y compromisos ambientales sobre la gestión de PCB, y de ser el caso, imponer medidas administrativas y sanciones por incumplimiento de estos por los administrados. Sin embargo, a la fecha no se identifica un mecanismo de supervisión del manejo de inventarios de PCB en todo el país, ni todas las actividades relacionadas (Mendoza 2013).

1.1 Utilización, producción y prohibición de los bifenilos policlorados

Los PCB forman parte de un grupo de sustancias químicas orgánicas sintéticas. Su consistencia es líquida aceitosa o sólida y su color varía de incoloro a amarillo claro (ATSDR 2000). Los PCB son difícilmente oxidables, resisten altas temperaturas, son buenos aislantes eléctricos, y son relativamente insolubles en agua. Debido a estas cualidades, los PCB son particularmente útiles como lubricantes, fluidos de transferencia de calor, y fluidos aislantes resistentes al fuego (Carey 2021). Asimismo, los PCB se mezclan con otros productos químicos (e.g., retardadores de fuego, plastificantes y material de petróleo para asfalto) y se han utilizado en un sinnúmero de productos (e.g., masillas, adhesivos, plásticos, y papel de autocopiado).

Entre 1929 y 1983, Estados Unidos dominó la producción mundial de PCB, fabricando casi la mitad del total a través de Monsanto y Geneva Industries. Europa occidental, con empresas como Bayer AG, Prodelec, Caffaro y la propia Monsanto, contribuyó con un 31,7%. El resto se dividió entre Europa oriental, Rusia, Japón (Kanegafuchi, Mitsubishi, Electrochemical Company) y China (Xi'an) (Breivik et al. 2002). Según Mitchell y Kaley (2010), los PCB se utilizaron con mayor preponderancia en equipos eléctricos como capacitores y transformadores, lo cual hizo que fueran reconocidos por su rendimiento y seguridad de funcionamiento. Estos aparatos han sido

usados por empresas de generación o distribución eléctrica, industrias, refinerías de petróleo, mineras y hospitales, entre otros. Según Breivik et al. (2002), la producción global acumulada de PCB entre 1930 y 1993 fue de 1 325 000 toneladas. Asimismo, estimaron que el 90% de PCB producido fue utilizado en el hemisferio norte. Latinoamérica solo importó PCB. No se ha determinado cuánto PCB ha ingresado a cada país latinoamericano. Previo a 1983, cuando se establecieron las prohibiciones sobre los PCB, era una práctica común donar equipos con PCB a naciones en vías de desarrollo (Wagner 2010).

Perú fue uno de los países que obtuvo equipos con PCB producto de donaciones no declaradas ni registradas, a lo largo de los regímenes militares de Juan Velasco Alvarado y Francisco Morales Bermúdez (Mendoza 2013). La producción de PCB se prohibió progresivamente en las décadas de 1980 y 1990. El enfoque se trasladó hacia el uso y manejo de existencias y residuos con PCB. Éstas se tornaron en una preocupación importante para los países, tratando de establecer inventarios de PCB y medidas de gestión y eliminación (PNUMA 2010), y según Barra et al (2002), menciona que hay escasa información sobre el destino de las existencias de PCB en el Perú.

La prohibición de PCB a nivel mundial reflejaba la evidencia científica de consecuencias perjudiciales en la salud y ambiente, incluyendo animales. La primera mención de la presencia de PCB en el ambiente se halla en la revista *New Scientist* en 1966 (Jensen 1966). La primera detección de PCB en aves en Estados Unidos fue publicada en la revista *Nature*, en 1968 (Risebrough et al. 1968). Varios incidentes reforzaron dicha evidencia. En 1968, en Yusho, al oeste de Japón, aceite de transferencia de calor que contenía PCB se filtró en aceite de arroz durante su procesamiento. Dicho arroz fue consumido por los residentes, quienes manifestaron extraños síntomas y enfermedades (Masuda et al. 1985).

Estados Unidos, un actor principal en la producción de PCB, cesó su producción en 1977 a raíz de evidencia sobre acumulación en el ambiente, e impactos adversos

sobre la salud (Erickson y Kaley 2010). En 1979 la EPA (Environmental Protection Agency) emitió reglamentos que prohibían la fabricación y uso de PCB (Erickson y Kaley 2010). Sin embargo, la fabricación de PCB en varios países europeos y asiáticos continuó hasta entrada la década de 1980. En 1985 se restringió la utilización y comercialización de PCB en la Comunidad Europea. Para 2001 la producción, comercialización y utilización de los PCB quedó totalmente prohibida a nivel mundial (Klocke et al. 2020). En 2004 se hizo efectivo el Convenio de Estocolmo sobre los Compuestos Orgánicos Persistentes que incluyó a los PCB en una lista de contaminantes a eliminarse, buscando proteger la salud biológica y ambiental.

1.2 Efectos de la exposición a bifenilos policlorados en la salud y ambiente

Durante su producción y uso, los PCB fueron encontrados en aire, suelo y agua. Los residuos que contenían PCB entonces eran desechados o incinerados en vertederos industriales y municipales (ATSDR 2000). Según Kocan et al. (2001), veinticinco años de fabricación de PCB al este de Eslovaquia produjeron una gran contaminación ambiental del área. Al parecer, los PCB fueron liberados a través del canal de efluentes y depósitos, contaminando aire, suelo, aguas superficiales, vida silvestre y sedimentos de ríos.

Actualmente, los PCB pueden ser liberados al ambiente desde sitios de residuos peligrosos mal manejados, donde se descargan existencias y residuos de manera inapropiada e ilícita. Este es el caso, por ejemplo, de escapes de líquidos de transformadores viejos y liberaciones de transformadores o capacitores, con presencia o contaminados con PCB, y están dispuestos en sitios no diseñados ni implementados para contenerlos (ATSDR 2000).

Una vez en el ambiente, los PCB persisten por largo tiempo y pueden pasar al suelo, agua y aire, a largas distancias de la fuente (Montory et al. 2008). El

comportamiento de los PCB en el ambiente se da en función a las propiedades fisicoquímicas de sus 209 congéneres que varían en estructura química y grado de cloración (Muñoz 2019). En general, mientras menos clorado el PCB, más lejos pueden ser transportados los congéneres y, mientras más clorados, su degradación sería más lenta (ATSDR 2000).

La estructura química de los PCB es la siguiente:

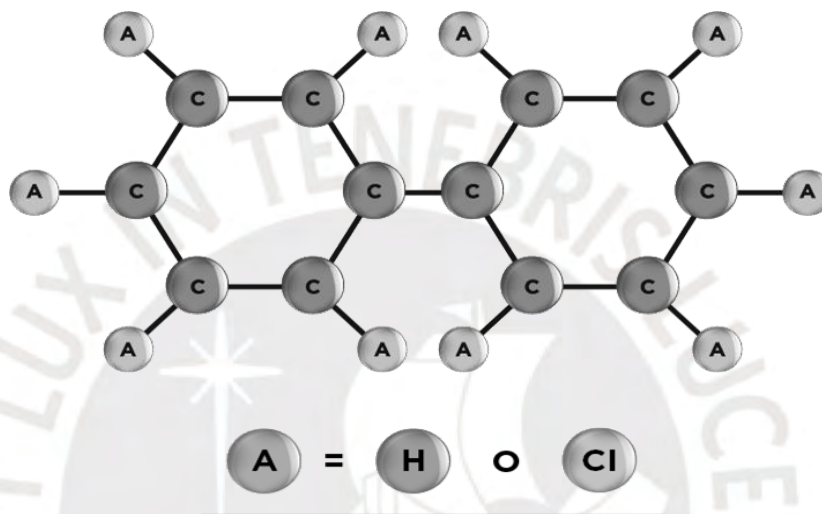


Figura 1 Estructura general de los bifenilos policlorados (PCB) $C_{12}H_{10-n}Cl_n$. Fuente: GECOP (2018:1)

Donde n representa la cantidad de átomos de cloro que varía de 1 a 10. Lo que quiere decir que 1 a 10 átomos de hidrógeno son sustituibles por átomos de cloro. Es así como existen 209 isómeros y congéneres de PCB con diferentes números y posiciones de átomos de cloro.

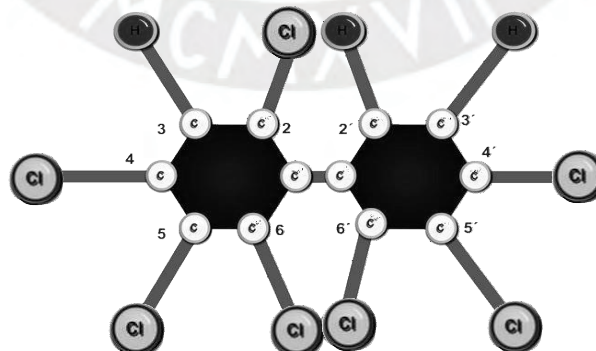


Figura 2 Estructura química de heptaclorobifenilo: $C_{12}H_3Cl_7$. Fuente: Elaboración propia

Las propiedades del suelo y las características químicas de los PCB interactúan, determinando el comportamiento de estos compuestos en el suelo. Streck y Weber (1982) refieren que los PCB poseen una alta afinidad o atracción por el suelo, pero no se lixivian significativamente. Aunque existe más movilidad de PCB en suelos húmedos, las cantidades de PCB lixiviado a través del suelo son extremadamente bajas. Los PCB más clorados, dependiendo de su estructura química, son generalmente menos móviles y se adhieren más fácilmente, quedándose retenidos en la superficie. La absorción de los PCB por el suelo se ve influenciada por su contenido de materia orgánica. Tucker et al. (1975) encontraron que los PCB menos clorados lixivian más que los PCB más clorados en condiciones similares, probablemente debido a una mayor solubilidad en agua.

Estudios en plantas superiores indican que el contenido de materia orgánica del suelo influye en la biodisponibilidad de los PCB (Streck y Weber 1982). Los PCB menos clorados parecen ser trasladados en mayores cantidades por las plantas. Los efectos de los PCB en el crecimiento de las plantas pueden manifestarse en reducciones en altura, peso y absorción de agua. Sin embargo, la absorción de PCB de las plantas ha sido generalmente baja (Streck y Weber 1982).

El estudio de Webber et al. (1994), donde el maíz, el repollo y la zanahoria fueron usados para absorber y translocar PCB a partir de lodos de aguas residuales contaminadas, identificó que las zanahorias tenían la mayor concentración de PCB en la planta, seguidas por la col y el maíz. Sin embargo, con excepción de la capa de la cáscara de las zanahorias, estas concentraciones eran muy pequeñas y no mostraban correlación alguna con los niveles de contaminación del suelo con PCB.

En sedimentos, los PCB tienden a adherirse a partículas suspendidas en la columna de agua, debido a que son lipofílicos, para después depositarse en el fondo del cuerpo de agua. Así, estos contaminantes se concentran principalmente en los sedimentos (Hippelein y Mc Lachlan 1998). Asimismo, el contenido de materia orgánica

en los sedimentos influye en los niveles de PCB encontrados. Respecto a la movilidad de los PCB en sedimentos superficiales, según Montory et al. (2008), los PCB menos clorados indicaron una mayor contribución de fuentes lejanas.

Mediante evaporación, los PCB pueden estar presentes en el aire y pueden llegar a depositarse en la tierra, agua y cobertura vegetal cuando llueve o nieva, y se adhieren a partículas de polvo (Faroon et al. 2003). Kocan et al. (2001) observaron niveles más altos de PCB en ciudades, probablemente influidas por tráfico más intenso, provocando mayor presencia de partículas de polvo con PCB. En agua, los PCB son trasladados por la corriente y pueden adherirse a sedimentos y materia orgánica, manteniéndose enterrados en sedimentos por largo tiempo, liberándose lentamente (ATSDR 2000).

En animales, los PCB dentro del organismo pueden acumularse principalmente en el tejido adiposo y biomagnificarse a lo largo de la cadena alimenticia, llegando hasta los humanos por la alimentación (Faroon et al. 2003). Según Zaranko et al. (2009), la biomagnificación es el aumento de la concentración de PCB a medida que se asciende la cadena alimenticia, encontrándose mayores concentraciones en organismos mayores.

Las características de los PCB mencionadas representan efectos perjudiciales para la salud de animales y humanos. Desde la salud pública, es necesario conocer y regular sus posibles efectos, particularmente en poblaciones cercanas a reservorios de PCB (Grimm et al. 2015). La evaluación de exposición directa de PCB se realiza principalmente a través de la sangre, tejido adiposo e ingesta. También se puede medir el nivel de PCB en el suelo, sedimento, aire, agua y alimentos para estimar el potencial de PCB acumulado en humanos (Faroon y Ruíz 2016).

Los modos y vías de exposición de los PCB pueden ser por ingestión, inhalación y absorción cutánea (Feinberg et al. 2011). Según Lauby-Secretan et al. (2013), los PCB

absorbidos se distribuyen en el organismo y se acumulan en el tejido adiposo del organismo. Según Saktrakulkla (2020), las concentraciones más altas de PCB, encontradas en alimentos, fueron en pescado. Dietas ricas en pescado de aguas contaminadas pueden aumentar la ingesta de PCB. Asimismo, los bebés amamantados por madres con dieta rica en pescado pueden tener un riesgo de mayor presencia de PCB.

Los PCB ingeridos, al ingresar al cuerpo, se difunden a través de las barreras celulares y penetran en la circulación sanguínea y linfática. Los PCB más clorados tienden a acumularse en tejido adiposo del hígado, cerebro y piel. Los PCB menos clorados, dependiendo de su estructura, pueden excretarse por la orina o heces. Asimismo, los PCB pueden transformarse en metabolitos, que en algunos casos pueden ser tan perjudiciales como los PCB no transformados. Estos últimos luego pueden acumularse en ciertos tejidos o pueden excretarse (Faroon et al. 2003).

Según Miller et al. (2009), los PCB alteran el funcionamiento de los sistemas endocrino, inmunológico y nervioso. Además, estudios epidemiológicos indican la carcinogenicidad de los PCB en humanos (Lauby-Secretan et al. 2013). Los PCB afectan a la reproducción, aún en niveles bajos de exposición. Pruebas en ratas demuestran que los PCB son inhibidores de testosterona. Asimismo, aumentan la mortalidad de las crías y la pérdida fetal. Vasiliu et al. (2006) encontraron asociaciones entre incidencia de diabetes mellitus tipo 2 y exposición a los PCB en humanos.

Respecto al sistema inmunológico, Heilman et al. (2006) indica que la exposición a los PCB en recién nacidos aumenta la probabilidad de desarrollo inmunológico deficiente y afecta negativamente a las respuestas inmunitarias a vacunas infantiles. Asimismo, las exposiciones a PCB de grupos vulnerables infantiles (fetos, bebés, y niños) afecta el desarrollo cerebral debido a su mayor sensibilidad durante este período (Faroon y Ruiz 2016).

En el periodo perinatal en humanos y animales, la exposición a los PCB altera el crecimiento y desarrollo cerebral, interfiriendo además en sus funciones, conduciendo ocasionalmente a la pérdida fetal (Miller et al. 2009). Fitzgerald et al. (2008) descubrieron deficiencias en la cognición, el estado afectivo, la función motora y la función olfatoria de personas que vivían cerca de un río contaminado con PCB. Asimismo, los PCB probablemente tiene un efecto sobre las enfermedades neurodegenerativas en mujeres (Faroon y Ruiz 2016).

Según Carpenter (2006), estudios en trabajadores que han estado en contacto con PCB reportaron un aumento de distintos tipos de cáncer, como piel (principalmente melanomas malignos), hígado, vesícula, tracto biliar, gastrointestinal, pulmón, linfomas Non-Hodgkin's, páncreas y cerebro. En otros estudios donde los ratones eran expuestos a PCB se observaron mutaciones en los genes (NTP 2006).

Los PCB fueron clasificados como carcinógenos de categoría 1-A para humanos, en base a pruebas conducidas por la International Agency for Research on Cancer (IARC), dado que se ha establecido un claro vínculo causal entre la exposición a dicha sustancia y el desarrollo de cáncer en personas, respaldada por sólidas evidencias tanto en animales como en humanos (IARC 2019:2). Los PCB funcionan como potenciadores de la acción cancerígena de otras sustancias cancerígenas.

1.3 Gestión ambiental de bifenilos policlorados

Con la prohibición de los PCB y cuando se hizo efectivo el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) en 2004, han creado mecanismos que comprometen a todos los países miembros a realizar la sensibilización, gestión adecuada y eliminación de los PCB, buscando salvaguardar la salud y el ambiente.

El Convenio de Estocolmo sobre COP obliga a los países miembros al retiro gradual de los PCB de sus existencias, hasta el 2025, y a la eliminación, en su totalidad, hasta el 2028. Se deberán hacer esfuerzos para la gestión ambiental de residuos y

existencias contaminadas con PCB a niveles superiores o iguales a 50 ppm o cuya superficie con concentraciones de PCB de 10 µg/100 cm² o más (UNEP 2016). Aquellos elementos (e.g., existencias y residuos) que estén por debajo de una concentración de 50 ppm podrán ser considerados y manejados como cualquier material o residuo peligroso. Los receptores que estén por encima de la concentración permitida deberán ser tratados para que se elimine el PCB o al menos estén dentro de los valores máximos permitidos (MINEM 2020). Los materiales y residuos peligrosos o no peligrosos deben ser manejados bajo un enfoque preventivo para reducir sus impactos al ambiente y salud (ONU 2019).

Un primer paso para la gestión ambiental de PCB es la identificación para generar inventarios de PCB. Estos inventarios registrarán los datos de cada existencia y residuo contaminado que previamente hayan pasado por un descarte y análisis de PCB (MINEM 2020). Los inventarios de PCB revelarían condición y ubicación, propietario, y cuántos equipos y residuos tienen PCB (Varsavsky y Fernández 2021).

Una vez realizados los inventarios de existencias y residuos con PCB, la gestión ambiental se centrará en prevenir la exposición, la contaminación cruzada de equipos y la contaminación ambiental, y la progresiva eliminación de PCB (MINAM 2015). De acuerdo con el MINEM (2020), la gestión ambiental de PCB implica un adecuado manejo en la manipulación que evite fugas, derrames y exposición, así como la atención de contingencias; transporte, que cumpla protocolos para el retiro de equipos con PCB. Además, traslado a almacenes temporales y traslados a almacenes para su exportación; almacenamiento en condiciones controladas para la no liberación de PCB al ambiente; y finalmente su eliminación ambientalmente racional.

Respecto a las características que debe tener un almacén de PCB son: área preparada y techada para proteger de la intemperie, área con buena ventilación, pisos revestidos, impermeables y resistentes a la abrasión (se sugiere planchas de acero o geomembranas) con pendiente suficiente para dirigir cualquier derrame hacia pozas de

contención y recolección, un sistema de contención y evacuación de fluidos ante fugas. También, el área debe contar con señalización de seguridad e información sobre los PCB, un sistema contra incendios y disponer de protocolos de respuesta a emergencia ante derrames e incendios. Asimismo, estos almacenes se deben ubicar a una distancia mínima de cien metros de puntos sensibles como cuerpos de agua, mercados, colegios y centros de salud (MINEM 2020). Estos almacenes contendrán las existencias y residuos con PCB mientras se gestiona su eliminación, que tiene un plazo límite hasta el 2028 según el Convenio de Estocolmo (MINEM 2020 y PNUMA 2010).

Según el DIGESA (2017), la gestión ambientalmente racional de PCB implica adoptar medidas de manejo adecuadas aplicando procedimientos, infraestructura, acciones técnicas, financieras, administrativas, educativas y de planeación; coherentes con la identificación, manipulación, transporte, almacenamiento, seguimiento y monitoreo, para prevenir la exposición, la contaminación cruzada de equipos, su liberación al ambiente y los riesgos para la salud.

El Perú, cuenta con otros mecanismos de gestión ambiental, como los estándares de calidad ambiental (ECA). Estos son usados para controlar, prevenir y determinar si es necesario tomar acciones que aseguren la calidad ambiental en relación con sustancias, como los PCB, que pueden poner en riesgo la salud y el ambiente.

Los estándares de calidad ambiental son mecanismos y herramientas legales que buscan controlar, resguardar, y prevenir la incidencia de cambios o impactos en nuestros ecosistemas, para proteger la salud de los seres vivos (Jaksic y Ojeda 1993). Gracias a las pautas de calidad ambiental se puede determinar si existen riesgos de exposición. Los estándares establecen niveles o rangos de concentración de elementos o sustancias en el ambiente, por debajo de los cuales no se considera que exista un riesgo significativo para la salud o el entorno (MINAM 2019). Según Rodríguez y Espinoza (2002:178), los estándares establecen los niveles máximos de concentración de contaminantes, sean estos de origen natural o humano, necesarios para proteger la

salud y el ambiente. Los estándares ambientales ofrecen buscar calidad ambiental en beneficio de los humanos y otros organismos. Martin y Mekel (2014) definen los estándares o valores guía como la cantidad máxima de una sustancia química en un medio físico (e.g., agua, suelo, sedimento, aire, y alimento) que se considera segura para la exposición humana a largo plazo.

De acuerdo con Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (2000), los PCB llegan al suelo, aire, agua y sedimentos mediante derrames, escapes y accidentes durante su manufactura, uso, transporte y almacenamiento. Por lo tanto, para evaluar la calidad ambiental se adoptó los referentes normativos peruanos como la canadiense. A continuación, se detallan:

Los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo establecen niveles seguros de concentración de sustancias en el suelo, por debajo de los cuales se considera que no hay riesgo para la salud humana o el ecosistema (MINAM 2017). Los estándares de PCB para cada tipo de suelo, definidos en el Decreto Supremo 011-2017-MINAM, contra los cuales se evaluarán los resultados de las muestras, son los siguientes:

1. Suelo agrícola: estándar de PCB de 0,5 mg/kg, suelo utilizado para la agricultura, producción de alimentos y forrajera. También es aquel suelo utilizado para el desarrollo de la ganadería y a su vez a la conservación de la flora y fauna nativa, además de especies permanentes y transitorias, como las áreas naturales protegidas (MINAM 2017:14).
2. Suelo residencial o parques: estándar de PCB de 1,3 mg/kg para suelo utilizado por la población para la construcción de viviendas, equipamiento urbano y áreas verdes (MINAM 2017:14).
3. Suelo comercial: estándar de PCB de 33 mg/kg para suelo donde se concentran las actividades económicas comerciales y de servicios (MINAM 2017:14).

4. Suelo industrial/extractivo: estándar de PCB de 33 mg/kg para suelo o áreas donde predominan las actividades económicas vinculadas a la explotación de recursos naturales (minería, hidrocarburos, entre otros) y a los procesos industriales de transformación, producción y construcción. (MINAM 2017:14).

Las Pautas Canadienses de Calidad Ambiental (CEQGs) para sedimentos de agua dulce sirven como referencia para evaluar la calidad de los sedimentos, comparando los resultados de las muestras con los valores establecidos. Estas directrices proporcionan parámetros científicos para la calidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Dichas pautas canadienses tienen dos valores límite para PCB en sedimentos, con el fin de salvaguardar la vida acuática en agua dulce:

- Directrices de calidad de sedimentos provisionales (ISQG): indica el nivel inferior a partir del cual no se anticipan efectos biológicos perjudiciales. El límite establecido para el parámetro de PCB es de 34,1 µg/kg (peso seco) (CCME 2001).
- Nivel de efecto probable (PEL): indica el nivel a partir del cual se anticipa una alta incidencia de efectos adversos. El límite establecido para el parámetro de PCB es de 277 µg/kg (peso seco) (CCME 2001).

También, la evaluación de riesgo por exposición a PCB permite determinar si existe un riesgo significativo para la salud y el ambiente. Esto mediante el cálculo de índices de riesgo cancerígeno (IR) e índices de peligrosidad no cancerígeno (IP) que se comparó con los límites superiores de probabilidad y coeficientes de peligrosidad establecidos por la EPA y la Guía estándar para acciones correctivas basadas en riesgos (Standard Guide for Risk-Based Corrective Action) (MINAM 2015:48,51 y Peña et al. 2001:126), los cuales son los siguientes:

- Riesgos cancerígenos: Riesgo Extra de Cáncer por Vida (RECV) establecido en 1×10^{-5} . Este es el límite superior de la probabilidad de que una persona

contraiga cáncer durante su vida. En el contexto de evaluación de riesgos valores $\leq 1 \times 10^{-5}$ son considerados como aceptables. Valores entre 1×10^{-5} y 1×10^{-4} son aceptados en casos excepcionales. Valores $> 1 \times 10^{-4}$ no son aceptables (EPA 2005 y ASTM 2000).

- La EPA establece que un riesgo es demasiado pequeño para ser de preocupación o para gestionarlo y controlarlo si tiene un valor de 1×10^{-6} . “Este riesgo de cáncer es considerado sin significado biológico ni estadístico” (EPA 2005).
- Riesgos no cancerígenos: Coeficiente de peligrosidad establecido en 1. Si este coeficiente no es superado representa un riesgo aceptable, mientras que, si se supera, deberá tratarse por ser una exposición elevada y riesgosa. En el caso que el coeficiente de peligrosidad sea superado hasta un valor de 10, se deberá tomar medidas correctivas inmediatas para los receptores (EPA 2005 y ASTM 2015).

La gestión de PCB en Perú se rige por un marco normativo internacional (convenios de Basilea y de Estocolmo), así como leyes nacionales como la ley general del ambiente (Ley 28611 - 2005), ley general de residuos sólidos (Ley 27314 - 2000), ley de transporte terrestre de material y residuos peligrosos y el reglamento de protección ambiental en las actividades eléctricas (D.S.29-94-EM - 1994), entre otras regulaciones (Mendoza 2013). Según Mendoza (2013), los vacíos normativos sobre la gestión ambiental de PCB permiten que los propietarios o administradores no estén obligados a contar con un inventario actualizado de PCB, ni sean responsables de su gestión (identificación, manipulación y almacenamiento), o disposición final (eliminación).

Al no haber normativa específica, existen riesgos derivados, así como la deficiencia en: medidas de protección, prevención y desconocimiento de la localización, cantidad y concentración de los PCB, promoviendo contaminación de equipos, ambiente

y salud. Un caso grave sería el de equipos como transformadores fuera de servicio, almacenados al aire libre, sin manejo, produciendo liberaciones de PCB al ambiente (Mendoza 2013).

Asimismo, según Figueroa (2015), un obstáculo importante para el cumplimiento del objetivo de gestionar y eliminar los PCB es la deficiente información y el marco regulatorio insuficiente sobre la gestión ambiental de PCB. Esto dificulta que las autoridades y empresas inicien los procesos de gestión de PCB mediante su descarte adecuado.

Contar con inventarios contribuye a determinar cantidades y tipos de equipos con PCB para aplicar medidas de protección. Por ejemplo, podría habilitarse un sistema de impermeabilización y contención de derrames al suelo, ventilación, señalización, así como acondicionamiento y techado de áreas (MINEM 2020). Esto debería mitigar y evitar riesgos de contaminación. Todo esto además de incluir buenas prácticas para la manipulación, traslado, tratamiento y disposición final de existencias y residuos con PCB.

En Perú, el tema de PCB ha contado con apoyo de organismos internacionales. Entre el 2011 y 2017, el proyecto “Manejo y disposición ambientalmente racional de Bifenilos Policlorados” brindó capacidades técnicas a entidades gubernamentales y a algunas empresas voluntarias sobre la gestión ambiental de PCB. Asimismo, contribuyeron en la formulación de políticas para la gestión de PCB buscando alcanzar los objetivos del convenio de Estocolmo (Rosado 2019). Respecto a esto último, existen avances para la aprobación de normativa específica que genera responsabilidades a las empresas dueñas de equipos con PCB. La supervisión será crucial para garantizar el acatamiento íntegro de la normativa y el registro preciso de todas las existencias y residuos hasta el 2025. Así, para el 2028 deberían estar eliminados. No todos los sectores productivos cuentan con normas específicas. Existen dificultades para alcanzar dichos objetivos, incluyendo temas de logística y costos por la gestión de PCB.

En 2021 el gobierno aprobó una normativa específica sobre la gestión de PCB, donde establece una guía metodológica para elaborar un Plan de Gestión Ambiental de PCB aplicable a la actividad eléctrica y la guía para realizar el inventario de existencias y residuos para identificación de PCB (MINAM 2021:4).¹ Esto posibilita generar obligaciones y responsabilidades específicas legales sobre el manejo de los PCB en sectores priorizados como el eléctrico. No obstante, la gestión de PCB en algunos sectores, como el industrial, aún no cuenta con normativa específica, por lo que no existen obligaciones específicas en estos sectores sobre plazos y objetivos del convenio de Estocolmo (MINAM 2021:4). Asimismo, la normativa debe ser acompañada de la supervisión y fiscalización ambiental para garantizar el acatamiento de los compromisos ambientales. De acuerdo con Gamarra (2019), si dichos mecanismos normativos no son cumplidos, los objetivos o bienes que se busca alcanzar o proteger difícilmente serán concretados. Asimismo, Gamarra (2019) menciona que algunas normas deben modificarse para poner en conocimiento que las medidas correctivas son una suma a la sanción y todo el procedimiento de supervisión. Por ello es necesario construir mecanismos que lleven a adoptar efectivamente los mandatos requeridos. Mendoza (2013) sostiene que no se cuenta con mecanismos que permitan la supervisión de manejo y gestión e inventarios de PCB en Perú.

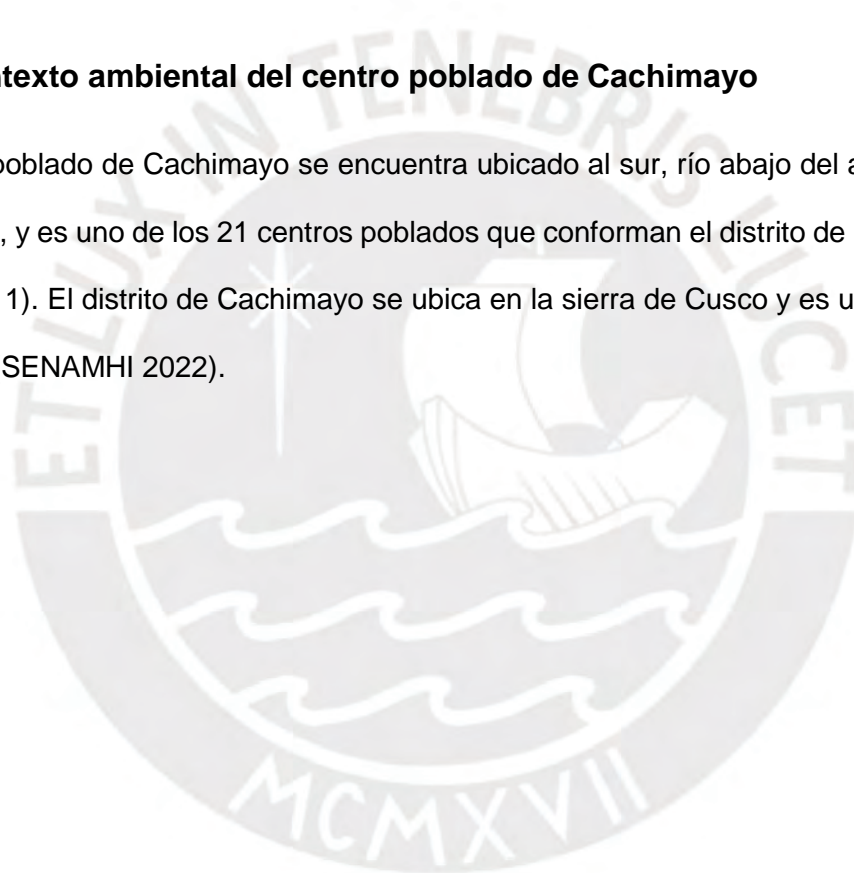
¹Resolución Ministerial N°002-2021-MINEM/DM. [Aprobación de la "Guía Metodológica para la elaboración del Plan de Gestión Ambiental de Bifenilos Policlorados aplicable a la actividad eléctrica" y la "Guía Metodológica para el Inventario de Existencias y Residuos para identificación de Bifenilos Policlorados (PCB)"]

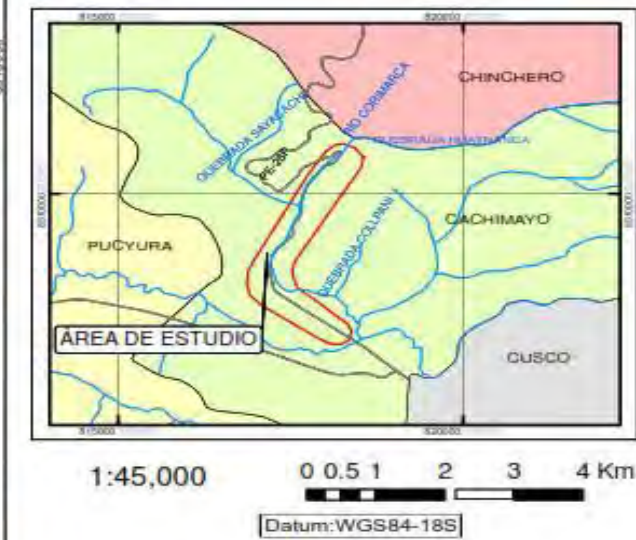
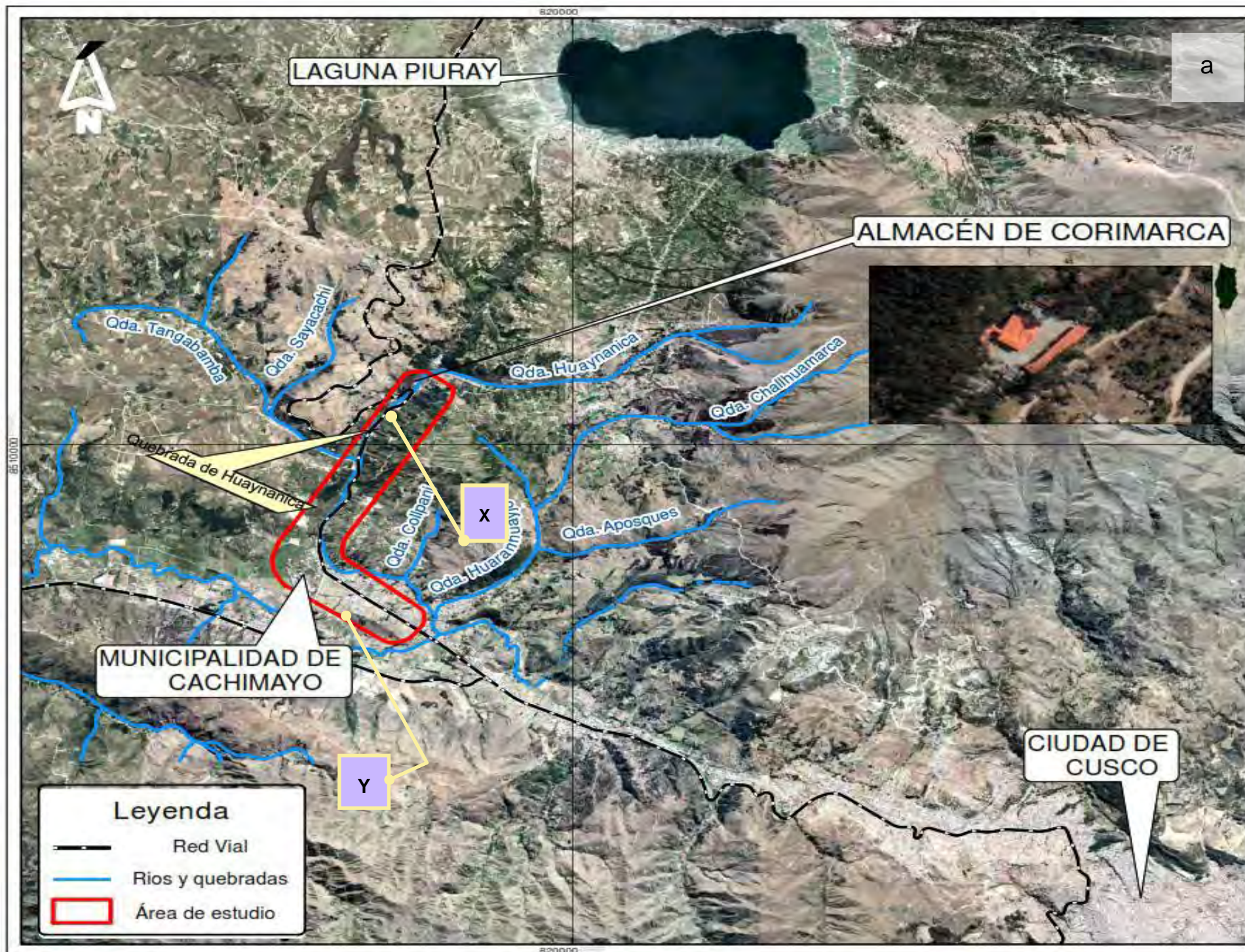
Capítulo 2. Contexto socioambiental del centro poblado de Cachimayo

La presente sección ofrece una caracterización socioambiental del centro poblado de Cachimayo, ubicado en el distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento del Cusco. Esta caracterización permite conocer aspectos demográficos, de salud, vivienda, educación y economía, así como una descripción del medio físico y biológico, y de los principales problemas ambientales de la zona. Además, se incluye la percepción de la población respecto al almacén de Corimarca.

2.1 Contexto ambiental del centro poblado de Cachimayo

El centro poblado de Cachimayo se encuentra ubicado al sur, río abajo del almacén de Corimarca, y es uno de los 21 centros poblados que conforman el distrito de Cachimayo (ver mapa 1). El distrito de Cachimayo se ubica en la sierra de Cusco y es una zona de clima frío (SENAMHI 2022).





c. Perfil de Elevación:

- X : Almacén – Quebrada Huaynanica
- Y : Centro Poblado Corimarca – Quebrada Huaynanica



Mapa 1 Centro poblado de Cachimayo: (a, izquierda) Ubicación del almacén al norte del centro poblado de Cachimayo, la red vial, ríos y quebradas, (b, arriba derecha) ubicación del departamento de Cusco en el Perú y distritos colindantes respecto al área de estudio y (c, abajo) Perfil de elevación a lo largo de la quebrada Huaynanica respecto al almacén de Corimarca y Centro poblado de Cachimayo. Elaborado en base a Google Earth (2022)

INGEMMET (2022:12) señala que el relieve provincial, moderadamente escarpado, se caracteriza por una cadena montañosa baja y erosionada, con pendientes pronunciadas y valles aluviales. Estos últimos son el hogar de la mayoría de los asentamientos dedicados a la agricultura, ganadería y comercio.



Figura 3 Vista del centro poblado de Cachimayo, 2023. Fotografía de la autora

La zona de vida de bosque húmedo-montano subtropical alberga los ecosistemas del distrito de Cachimayo, entre 2800 y 3800 m.s.n.m. El relieve es accidentado y está conformado por colinas altas, valles fluviales y mesetas de flancos de suave pendiente (Municipalidad distrital de Cachimayo 2019). La quebrada de Huaynanica pertenece a la cuenca del río Vilcanota. La tipología de la cuenca es de drenaje angulado debido a las juntas o sistemas de fallas en la roca, en concordancia con el relieve de la zona (Municipalidad distrital de Cachimayo 2019). Los suelos presentan condiciones favorables para el cultivo de tuberosas nativas y forraje y también para la ganadería debido a que son suelos de tipo franco arenosos. El uso del suelo en las laderas es mayormente utilizado para cultivos de papa amarga, papa dulce y otras tuberosas andinas (e.g., olluco, oca y mashua), además de habas y cebada (Municipalidad distrital de Cachimayo 2019). En la zona baja la mayoría de los suelos cuentan con riego y son usados especialmente para cultivos de habas, papa, maíz hortaliza y forrajera, que después son comercializadas. Esto alternado con el pastoreo

de ganado bovino tras la recolección de los cultivos (Municipalidad distrital de Cachimayo 2019).

La fauna típica es fácil de apreciar con ejemplares como el zorzal gris y huipcho. Además, en los ríos y riachuelos se encuentran sapos, y ranas y peces como *ch'iñi challwua*. Algunos de estos animales se encuentran en peligro de extinción a causa del uso inadecuado de agroquímicos (Anaya 2015). En laderas cercanas moran perdices, cuyes silvestres o porongos, además de dos especies de mamíferos, como el zorro andino (*lycalopex culpaeus*) y zorrillo (*conepatus chinga*) (Anaya 2015).



Figura 4 Cobertura vegetal del centro poblado de Cachimayo, 2021. Fotografía de la autora

2.2 Contexto social del centro poblado de Cachimayo

Según el último censo nacional (INEI 2017), el distrito de Cachimayo está habitado por 2 341 personas, la mayoría (71%) viven en el centro poblado de Cachimayo. La mayoría son mujeres (51%). A su vez, la población se encuentra distribuida entre niños de 1 a 15 años (24%), jóvenes adultos de 15 a 29 años (25%) y adultos 30 a 64 años (38%) y adultos mayores 65 a más (13%) (INEI 2017). De las 443 viviendas del centro poblado de Cachimayo, la mayoría es de adobe (75%), y tienen pisos de tierra (47%), seguidas por viviendas de ladrillo y cemento (25%) (INEI 2017) (ver figura 5). Solo la mitad de las viviendas del distrito cuenta con red de agua pública dentro de la vivienda. El 34% se abastece de agua con fuentes fuera de la vivienda, el 8% se abastece de un pozo (agua

subterránea), y un 4% se abastece de un puquio, río o acequia. Asimismo, el 85% de las viviendas del distrito cuenta con alumbrado eléctrico (INEI 2017).



Figura 5 Tipo de vivienda del centro poblado de Cachimayo, 2021. Fotografía de la autora

En el distrito, el 39 % de la población tiene educación secundaria, el 22 % primaria, y el 14 % ha cursado estudios superiores universitarios o los ha completado. Un alto porcentaje de habitantes (90 %) sabe leer y escribir. Además, el 42 % de la población tiene como lengua materna el quechua, y el 56 %, el castellano (INEI 2017).

Respecto a la salud humana a nivel distrital, la mayoría (46%) cuenta con Seguro Integral de Salud (SIS), y 23% está bajo el sistema nacional (gratuito) de salud o Seguro Social de Salud del Perú (Essalud). El 27% de habitantes no cuenta con seguro (INEI 2017). Cerca del centro poblado se encuentra el puesto de salud de (categoría I-2), de atención de baja complejidad y atención básica (ver figura 6).



Figura 6 Puesto de salud de Cachimayo, 2022. Fotografía de la autora

Según el MINSA (2018), antes de la pandemia de la COVID-19, las principales causas de muerte en el departamento del Cusco fueron la influenza y la neumonía (13 %), seguidas por enfermedades del hígado (6%) y enfermedades cerebrovasculares (5%). Según la encargada del puesto de salud del centro poblado de Cachimayo y otros entrevistados, las enfermedades respiratorias y estomacales son las más recurrentes, coincidiendo con las dolencias registradas por el MINSA (2021) entre 2018 y 2021. Las enfermedades bucales, respiratorias, obesidad, enfermedades intestinales, anemias nutricionales y enfermedades del esófago, estómago y duodeno son las principales causas de morbilidad registradas (MINSA 2021).

Las principales actividades económicas son el turismo, servicios y comercio, gracias a la ruta del Valle Sagrado y, como lo reporta el censo nacional (INEI 2017) para Cachimayo, y se pudo observar en las visitas. Los servicios (turismo y restaurantes) son la principal actividad desarrollada (44%), seguidos por la actividad agrícola (23%). Los representantes de la municipalidad, centro de salud además de las personas con quienes se conversó, identificaban a Industrias Cachimayo S.A., fabricante y comerciante de nitrato de amonio, para minería y agricultura, y a las dos subestaciones eléctricas, como las actividades económicas industriales más representativas del distrito. En Cachimayo la mayoría son trabajadores independientes (46%), seguidos trabajadores dependientes (25%) y obreros (22%) (INEI 2017).



Figura 7 Vista panorámica de centro poblado de Cachimayo, Industrias Cachimayo (recuadro superior) y subestación eléctrica (recuadro inferior), 2021. Fotografía de la autora

En cuanto a los problemas ambientales que enfrenta el centro poblado de Cachimayo, Ortiz y Contreras (2011:153-156) señalaron la contaminación de los ríos y quebradas, causado por la disposición de los residuos sólidos y descarga de efluentes de desagüe en el río. También, señalaron al vertimiento de aguas residuales de Industria Cachimayo, fabricante de nitrato de amonio, que ocasiona un exceso de nutrientes (nitrógeno) en el cuerpo de agua que desequilibra el sistema acuático del río.

Asimismo, el representante de la municipalidad identificó como problemática ambiental del centro poblado a la gestión inadecuada de residuos municipales, debido a que no se realiza la segregación en fuente y se disponen los residuos en lugares no autorizados. Además, agregó que existe contaminación del aire por la actividad industrial de la zona y el parque automotor por la ruta del Valle sagrado; y la contaminación de cuerpos de agua (ríos y quebrada Huaynanica), debido a la disposición inadecuada de residuos sólidos de la población y vertimientos de fertilizantes de la agricultura. La representante del centro de salud indicó que percibe a la gestión de residuos y contaminación de cuerpos de agua, por residuos de la población y actividad agrícola, como las principales problemáticas ambientales que afectan la salud humana.

Igualmente, los cuatro vecinos con quienes se conversó coincidieron en estas apreciaciones.



Figura 8 Vista de la municipalidad de Cachimayo, 2021. Fotografía de la autora

Respecto a la percepción que se tiene del almacén de Corimarca, ubicado al norte del centro poblado, el funcionario municipal y la técnica en enfermería del centro de salud, con quienes se conversó, conocían que en el área del almacén de Corimarca se guardaba equipos y materiales de una empresa eléctrica privada local, desconociendo los elementos almacenados. Algunos vecinos entrevistados identificaban al área del almacén como una central eléctrica antigua y otros como una casona antigua, donde había una industria que entonces almacenaba materiales. Respecto a esto último, tampoco conocían qué tipo de elementos almacenaban. Además, solo tres de cinco pobladores indicaron que era propiedad de una empresa eléctrica local. Los representantes de la municipalidad y del centro de salud, además de los vecinos, desconocían los riesgos asociados al mal manejo de almacenes de materiales o residuos peligrosos, incluyendo el PCB y sus riesgos.

Adicionalmente, en la entrevista al representante de la gestión ambiental de Electro Sur Este S.A.A., se le consultó sobre la relación con el centro poblado de Cachimayo. El funcionario indicó que se cumplen con todos los compromisos de relaciones comunitarias dispuestos en sus instrumentos de gestión ambiental para todas

sus instalaciones, tales como las subestaciones, líneas de transmisión e instalaciones auxiliares (como el almacén) ubicadas en el centro poblado. Respecto a la problemática ambiental, indicó que un impacto ambiental negativo representativo, causado por sus actividades de operación, es la contaminación visual ocasionada por las líneas de transmisión. Después, respecto a derrames causados por mantenimiento, almacenamiento u otra actividad, señaló que se consideran en el análisis de impactos, pero son poco significativos, y para ellos contarían con planes de contingencia, medidas de contención y otros procedimientos.



Capítulo 3. Metodología

Con el propósito de identificar y evaluar riesgos vinculados a la presencia de contaminantes, esta sección detalla los criterios y la metodología para la caracterización socioambiental del centro poblado de Cachimayo, la investigación sobre evolución del manejo del almacén de Corimarca, muestreo y análisis de reconocimiento e identificación. También se muestra cómo se definen las fuentes, mecanismo de transporte, rutas o vías de exposición y receptores para evaluar el riesgo. Finalmente, se explica el procedimiento para determinar si la presencia de una sustancia, como el PCB, pone en riesgo la salud de los receptores (residentes de Cachimayo).

3.1 Caracterización socioambiental del centro poblado de Cachimayo

Para la caracterización del contexto socioambiental del centro poblado de Cachimayo, se procedió a describir aspectos sociales (demografía, salud, vivienda, educación y economía) y aspectos ambientales (medio físico, biológico y problemática ambiental). Para ello, la información sobre los aspectos socioambientales se recopiló y revisó de fuentes secundarias oficiales (Valles 1997).

Asimismo, se realizaron entrevistas semiestructuradas a informantes clave para obtener información complementaria sobre la dinámica socioambiental del centro poblado (Martínez 2012). Las guías de estas entrevistas se presentan en el anexo 3. Los criterios para selección de los informantes clave fueron los siguientes: conocimiento sobre el centro poblado y representatividad en la dinámica social del centro poblado o institución.

Previo a la conducción de entrevistas, se entregaron cartas de presentación oficiales, a manera de solicitud de consentimiento de entrevistas: dos cartas a entidades en Cachimayo, una carta a la empresa Electro Sur Este S.A. y cinco formatos de registro de entrevistas a pobladores de la zona. Las cartas a instituciones están en el anexo 1 y

el formato de registro de entrevista a pobladores se pueden apreciar en el anexo 2. El listado del registro de entrevistados se aprecia en el anexo 2. Las cartas a las instituciones incluían el pedido de apoyo de facilidades para el trabajo de campo. Estas cartas fueron elaboradas con el apoyo de la Maestría en Desarrollo Ambiental PUCP: fueron cartas membretadas y contaban con la firma de la dirección, además de contar con el sello oficial de la maestría. Las tres cartas debidamente firmadas y selladas con cargos de recepción, además de un correo de aceptación de los entrevistados en las instituciones, a manera de consentimiento, se pueden apreciar en el anexo 1. Asimismo, se cuenta con las firmas del formato de registro de entrevista a manera de consentimiento de los cinco pobladores y se podrían presentar si fuera requerido, siempre respetando la privacidad y el anonimato de los participantes.² En el anexo 2 se reportan detalles demográficos de los pobladores entrevistados, quienes fueron elegidos para reflejar las diferentes perspectivas sobre la dinámica socio ambiental del centro poblado.

3.2 Investigación de la evolución del manejo del sitio posiblemente contaminado

La investigación sobre la evolución del manejo del almacén sirvió para presentar el sitio y las actividades de la zona basada en fuentes primarias como visitas de campo y una entrevista al encargado ambiental de la empresa administradora del almacén. Además de fuentes secundarias oficiales. De esta manera, se recopiló la siguiente información (MINAM 2015 y 2021:68):

- Ubicación geográfica y mapa georreferenciado del sitio.

² Siguiendo la recomendación del jurado, se planteó la inclusión del consentimiento informado formulado por la Secretaría Técnica del Comité de Ética de la Investigación (CEI) PUCP. No obstante, según el CEI PUCP, al haber realizado las entrevistas entre noviembre del 2021 y 2023, no era posible solicitar este procedimiento de forma retroactiva. La CEI precisó lo siguiente: “El comité revisa proyectos de investigación en su integralidad y de manera prospectiva al recojo de información. En ese sentido, la aprobación ética que se vaya a otorgar respalda únicamente los datos que se recojan bajo el protocolo aprobado y luego de su emisión. Datos recogidos con anterioridad no pueden obtener un respaldo ni pronunciamiento del CEI” (Alicia Pérez 2024).

- Estatus de propiedad.
- Evolución de usos y ocupación del sitio. Derechos de propiedad, tipos de operaciones, competencias administrativas, licencias y otros.
- Tipo de instalación según los procesos productivos, u operaciones que ejecuta, tales como: Área de disposición de residuos, área industrial, área de extracción, área minera, área de un accidente ambiental u otros donde pueden provocar cambios negativos en el suelo (depósitos clandestinos de residuos, minería artesanal, pozos de hidrocarburos).
- Instrumentos de gestión ambiental asociados al sitio.
- Procesos que ocasionaron la contaminación del sitio y matrices afectadas por la contaminación.

Esta información ayudó a identificar un área de potencial interés (API), definida como un espacio con indicios o evidencias de contaminación. En esta API, se realizó el muestreo de identificación (MINAM 2021). Además, a partir de esta investigación se identificó el contaminante de preocupación. Esta metodología se basa en la guía de estudio de riesgos a la salud y ambiente (Martín-Olmedo, et al 2016; MINAM 2015, MINAM 2021).

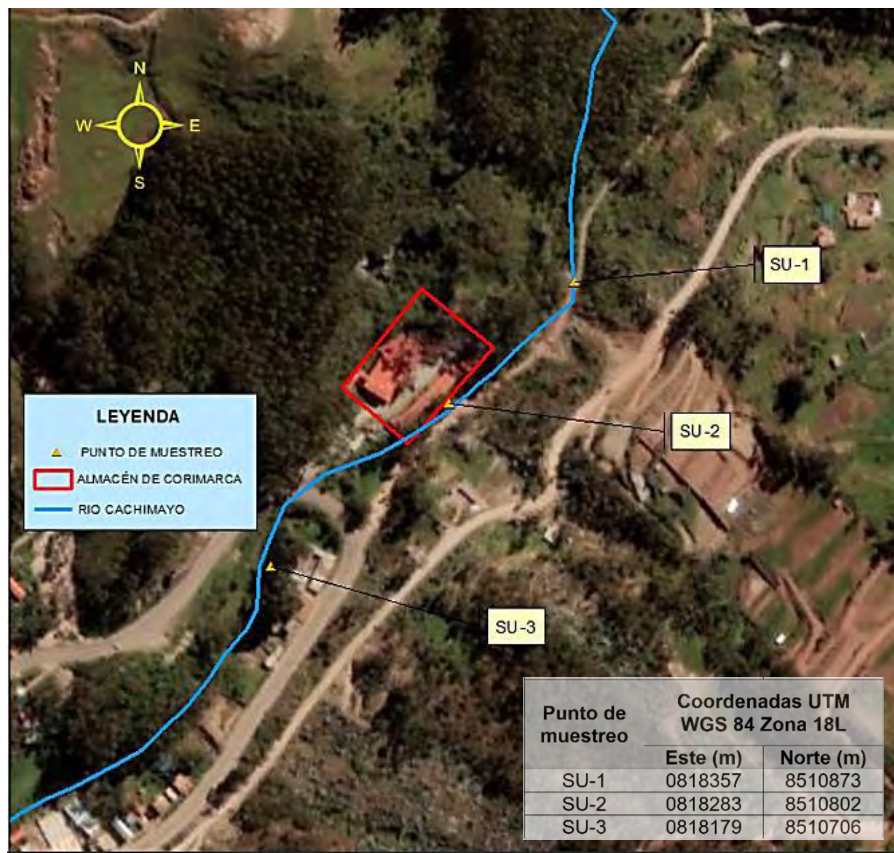
3.3 Muestreo y análisis de bifenilos policlorados

Esta sección detalla la metodología empleada para el muestreo y análisis de suelo y sedimentos en dos etapas. En la primera etapa, realizada en noviembre de 2021, se llevó a cabo un muestreo de reconocimiento y análisis de suelos y sedimentos en zonas aledañas al almacén de Corimarca. Con el fin de completar el muestreo de reconocimiento, se realizó un segundo muestreo de sedimentos en octubre de 2024. La segunda etapa del estudio se ejecutó en noviembre de 2023, enfocándose en un muestreo de identificación y análisis de suelos dentro del almacén de Corimarca.

3.3.1 Muestreo y análisis de reconocimiento

El muestreo y análisis de reconocimiento preliminar en las áreas adyacentes al almacén de Corimarca tuvo como objetivo complementar los hallazgos de la investigación de la evolución del manejo del sitio (punto 3.2.), permitiendo así la identificación de un área potencialmente contaminada (API). Para este muestreo, se empleó la metodología de nivel de fondo. En el ambiente, el nivel de fondo identifica el nivel de concentración de agentes químicos de origen antrópico, en este caso, el PCB (EPA 2022). La metodología de muestreo de nivel de fondo busca determinar las concentraciones de compuestos químicos en suelos de áreas adyacentes al foco de contaminación, provenientes de fuentes antropogénicas o naturales (MINAM 2019), además de determinar las concentraciones del contaminante en relación con estándares de calidad ambiental para suelos (MINAM 2014).

El muestreo de reconocimiento se ejecutó conforme a los lineamientos de la *Guía para muestreo de suelos* del MINAM, utilizando el método de nivel de fondo. El muestreo de suelo requirió al menos de tres puntos de toma de muestras en las áreas adyacentes al almacén de Corimarca. La muestra fue extraída a una profundidad de 10 cm considerando al rango de 0 a 30 cm. Este rango es aplicable para suelo agrícola en la profundidad de aradura, suelo residencial o de parques en la profundidad de la capa de contacto oral del contaminante, y suelo comercial, industrial o extractivo, en profundidad alcanzable por niños (MINAM 2014). Los tres puntos para el muestreo de reconocimiento de suelos fueron ubicados en relación con el almacén (ver mapa 2 e figura 9). El mapa 2 ubica los tres puntos de muestreo de las muestras de suelo respecto del almacén: al norte a 140 m (SU-1); al lado a 25 m (SU-2); y al sur 108 m (SU-3). Los puntos de muestreo se ubicaron en áreas con suelo natural, evitando zonas intervenidas como vías de acceso (por ejemplo, el área frontal y de acceso del almacén).



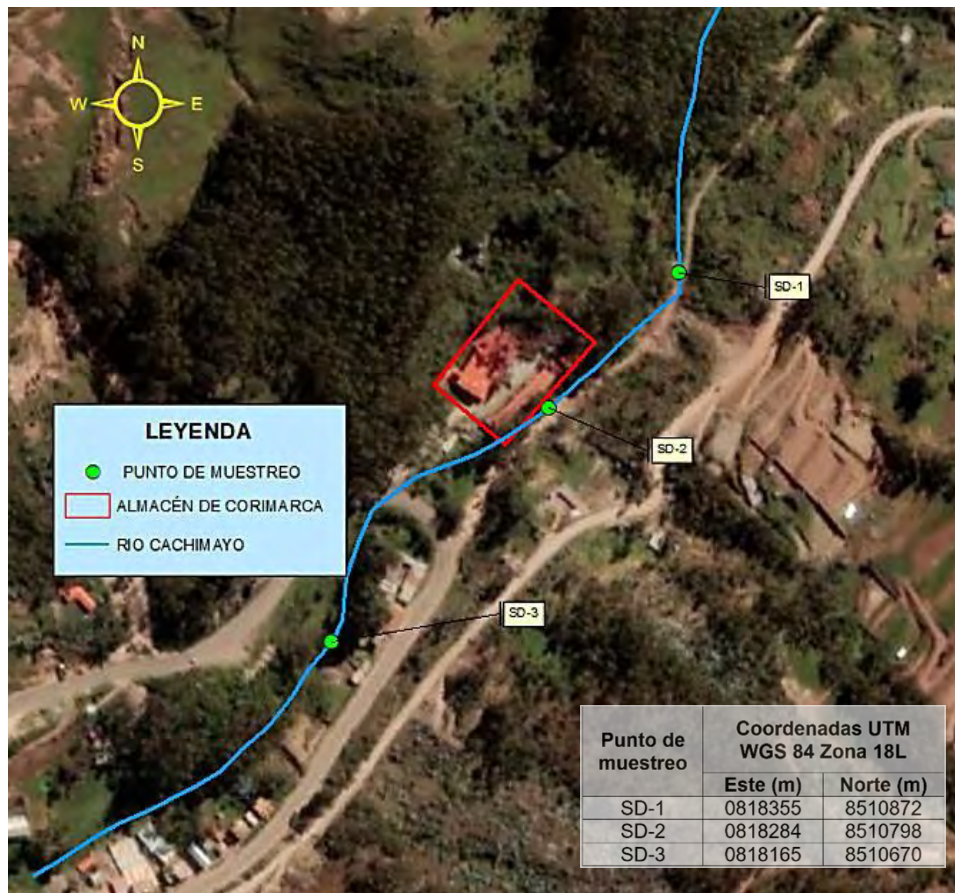
Mapa 2 Puntos de muestreo de reconocimiento de suelo. Elaborado en base a Google Earth (2022)





Figura 9 Muestreo de reconocimientos de suelos, 2021. Al norte (a, arriba izquierda), al lado (b, arriba derecha), y al sur (c, abajo) del almacén. Fotografías de la autora

También, se realizó el muestreo de reconocimiento de sedimentos, dado que los PCB son contaminantes que se acumulan en sedimentos (Miglioranza et al. 2006). Asimismo, debido a que existe un cuerpo de agua (quebrada Huaynanica) colindante a la posible área de potencial interés, se eligió dicha matriz. Así, en noviembre de 2021, se tomó muestras en dos puntos de muestreo: río arriba (SD-1) y al lado del almacén de Corimarca (SD-2), según se detalla en el mapa 3 y figura 10. Debido a las dificultades de acceso y restricciones de propiedad, no fue posible obtener una muestra río abajo en ese momento. No obstante, para complementar el estudio, se realizó un segundo muestreo en octubre de 2024, repitiendo las mediciones en los puntos SD-1 y SD-2 y añadiendo un nuevo punto de muestreo (SD-3) ubicado más distante río abajo (ver mapa 3 y figura 11).



Mapa 3 Puntos de muestreo de reconocimiento de sedimento. Elaboración basada en Google Earth (2024)



Figura 10 Muestreo de reconocimientos de sedimentos en la quebrada Huaynanica, 2021. (a, izquierda) río arriba, y (b, derecha) al lado, respecto a la posible fuente de contaminación (almacén). Fotografías de la autora



Figura 11 Muestreo de reconocimientos de sedimentos en la quebrada Huaynanica, 2024. (a, izquierda) río arriba, (b, derecha) al lado y (c, abajo) más distante río abajo, respecto a la posible fuente de contaminación (almacén). Fotografías de la autora

Los materiales y herramientas utilizados fueron: marcador indeleble, etiquetas para muestras, GPS, agua destilada, materiales de limpieza para equipos, cinta métrica, espátula para transferir muestras, bolsas para residuos, papel, envases de vidrio ámbar para las muestras, caja refrigerante y paquetes de hielo de gel para preservar las muestras. Adicionalmente, se documentaron todos los datos del muestreo en el registro de cadena de custodia. La hora de muestreo se tuvo en cuenta para la recolección de muestras de suelo en la fase sólida. Después, se despejaron los puntos de muestreo previamente identificados y se profundizó hasta las marcas antes mencionadas. Asimismo, las herramientas fueron descontaminadas posteriormente a cada punto de muestreo. Subsiguientemente, las muestras se manipularon con guantes desechables

por muestra, y el material muestreado fue transferido lo antes posible a los envases (MINAM 2014). Los residuos generados en el proceso del muestreo fueron acopiados por CERPER, quien, a través de su empresa operadora de residuos, se encarga de su manejo adecuado.

Para la preservación y el traslado de las muestras al laboratorio, se usaron envases de vidrio color ámbar, los cuales fueron almacenados en la caja refrigerante para asegurar su correcta refrigeración y transporte, en cumplimiento con el método (EPA 2007). Las muestras fueron procesadas por el laboratorio de Certificación del Perú (CERPER) 48 horas después de su extracción, cumpliendo así con las recomendaciones del método de análisis (EPA 8082 A.2007).

El análisis de los PCB en las muestras de suelo y sedimento se llevó a cabo según el método EPA 8082 A.2007, empleando cromatografía de gases. Este método de análisis propuesto por la EPA puede utilizarse para determinar las concentraciones de PCB en matrices como suelo, agua, aceite y extracto de tejidos y sólidos. El método de análisis es una norma de referencia reconocida en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo en Perú y las pautas canadienses de calidad ambiental para sedimentos Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs) para el parámetro de PCB. Asimismo, cabe señalar que las muestras fueron analizadas por CERPER, un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

3.3.2 Muestreo y análisis de identificación

En esta etapa, se propuso realizar un muestreo de suelo bajo los lineamientos de la *Guía para muestreo de suelos* del MINAM, empleando la metodología del muestreo de identificación en el almacén de Corimarca.

Para establecer los puntos de muestreo de identificación, es fundamental definir un área de potencial interés (API). Un API es una extensión de terreno donde se realiza el muestreo de identificación, la cual se establece al detectarse indicios de posible

contaminación del suelo (MINAM 2014). Por consiguiente, el objetivo del establecimiento de puntos de muestreo de identificación dentro de un API es determinar la presencia o ausencia de contaminantes en el suelo para su clasificación como contaminado o no (MINAM 2021), enfocándose, en este estudio, en la presencia de PCB.

En este sentido, considerando la investigación de la evolución del manejo del sitio posiblemente contaminado (punto 3.2) y el muestreo y análisis de reconocimiento (punto 3.3) se establece como API al almacén de Corimarca. Entonces, de acuerdo con lo indicado en la tabla 1 de la *Guía para muestreo de suelos* para una extensión de 0,1 ha, se establecieron cuatro puntos de muestreo (MINAM 2014).

Tabla 1 Cantidad mínima de muestras para el muestreo de identificación

Área de potencial interés en hectáreas	Puntos de muestreo
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Fuente: MINAM 2014.

Con base en las extensiones definidas en la tabla 1, se determinó que corresponden cuatro puntos de muestreo para el API almacén de Corimarca (MINAM 2014).

El mapa 4 ilustra la ubicación de los cuatro puntos de muestreo de identificación de suelos: MI-SU-1 (suelo del almacén), MI-SU-2 (lado superior de la entrada del almacén), MI-SU-3 (suelo del almacén), y MI-SU-4 (lado norte del almacén).



Mapa 4 Puntos de muestreo de identificación propuestos en el Área de Potencial Interés (API): almacén de Corimarca. Elaboración basada en Google Earth (2023)

Respecto al número de muestras, se extrajo dos por cada punto de muestreo (una superficial y otra a mayor profundidad), dado que se buscaba confirmar si la presencia de PCB había alcanzado mayores profundidades.

Las muestras de identificación tuvieron como objetivo detectar PCB en el suelo. Para ello, la primera muestra se recolectó a 10 cm de profundidad (uso industrial, debido al uso histórico del almacén Corimarca), y la segunda muestra entre los 30 cm y 40 cm de profundidad. Las muestras son de tipo simple. Asimismo, las muestras fueron tomadas mediante la excavación de sondeos manuales con extensiones de 50 cm (ancho), 50 cm (largo) hasta llegar a las profundidades antes mencionadas. Previamente a la excavación del punto, se realizó el despeje de piedras y maleza. Posteriormente, se procedió a profundizar hasta las marcas establecidas en cada punto de muestreo (ver figura 12 y 13).



Figura 12 Muestreo de identificación de suelos a una profundidad de 10 cm, 2023. MI-SU-1 (a, arriba izquierda), MI-SU-2 (b, arriba derecha), MI-SU-3 (c, abajo izquierda) y MI-SU-4 (d, abajo derecha). Fotografías de la autora



Figura 13 Muestreo de identificación de suelos a una profundidad de 35 cm, 2023. MI-SU-1 (a, arriba izquierda), MI-SU-2 (b, arriba derecha), MI-SU-3 (c, abajo izquierda) y MI-SU-4 (d, abajo derecha). Fotografías de la autora

Los materiales y herramientas utilizados fueron: GPS, etiquetas para las muestras, marcador indeleble, agua destilada, útiles de limpieza para las herramientas, cinta métrica, espátula de acero para trasvase de muestra, bolsa para residuos, envases de vidrio ámbar para las muestras, caja refrigerante, y paquetes de hielo de gel para preservar las muestras. Además, todos los datos del muestreo fueron incorporados al registro de cadena de custodia.

En cuanto al procedimiento de toma de muestra, se consideró la hora para tomar las muestras en la fase sólida del suelo. Después, se realizó la descontaminación de herramientas tras cada punto de muestreo de suelos. Los residuos generados fueron acopiados por CERPER para su posterior gestión a través de su empresa operadora de residuos. Además, se minimizó el tiempo de contacto de las muestras con las herramientas, desechando el suelo que haya estado en contacto con los mismos, para luego transferirlos lo antes posible al envase de vidrio. La manipulación de las muestras se realizó con guantes desechables y una espátula de acero inoxidable, cambiándose los guantes para cada muestra.

Para la conservación de las muestras, se utilizaron envases de vidrio ámbar, los cuales fueron almacenados en la caja refrigerante para asegurar su refrigeración y transporte en cumplimiento con el método (EPA 2007). Dichas muestras llegaron al laboratorio 48 horas después del día de la extracción de las muestras. Cumpliendo así con el tiempo recomendado por el método de análisis EPA (2007).

El análisis de los PCB en las muestras de suelo se llevó a cabo según el método EPA 8082 A.2007, empleando cromatografía de gases. El mencionado método analítico cumple con lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo en Perú respecto al parámetro de PCB.

3.4 Modelo conceptual del sitio

Previo a la evaluación del nivel de riesgos a la salud de las personas por exposición a suelo con presencia de PCB, resulta necesaria la sistematización de la información del sitio y la evaluación de los factores que predominan o influyen en el transporte de estas sustancias hacia los posibles receptores.

De acuerdo con el MINAM (2014), el Modelo Conceptual constituye una descripción gráfica o esquemática que muestra la relación entre la fuente de contaminación y los potenciales receptores del sitio; es decir, representa el sistema ambiental, así como los procesos físicos, químicos y biológicos que intervienen en el desplazamiento de los contaminantes desde la fuente hacia los potenciales receptores.

Los elementos que conforman al modelo conceptual son los siguientes:

- Fuentes potenciales de contaminación, proceso mediante el cual los contaminantes de interés son liberados.
- Focos potenciales (o fuentes secundarias), que constituyen las matrices ambientales afectados (suelo, agua superficial, aire, etc.).
- Mecanismos de transporte, que establece el medio por el cual los contaminantes logran desplazarse hacia los receptores potenciales.
- Rutas o vías de exposición, constituyen la vía de contacto entre el contaminante con el receptor, como ingesta, contacto dérmico e inhalación.
- Receptores, los cuales pueden ser la población local, trabajadores, animales, ecosistemas, etc.

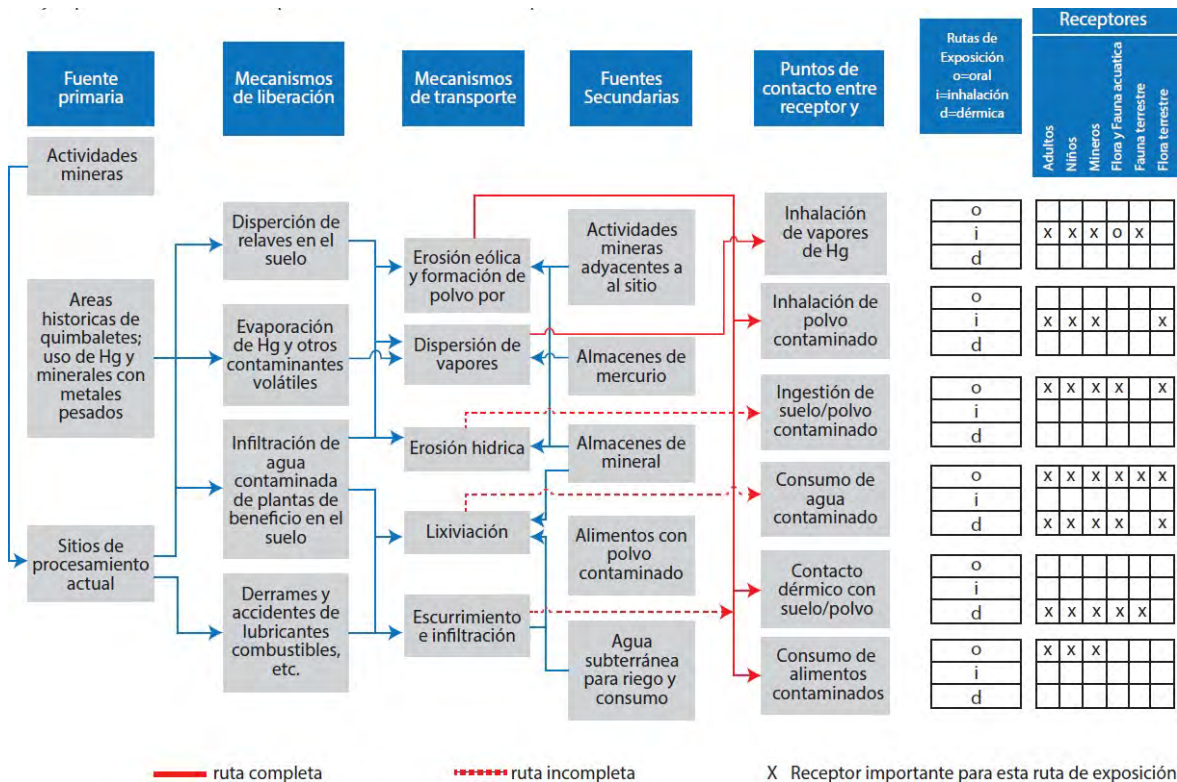


Figura 14 Ejemplo de un modelo conceptual de un sitio contaminado por minería artesanal.
 Fuente: Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) en Sitios Contaminados (MINAM 2015)

3.5 Estimación del nivel del riesgo a la salud humana

De acuerdo con el MINAM (2015), la evaluación de riesgos para la salud humana es el proceso de identificar y cuantificar la probabilidad de que las personas experimenten efectos adversos por la exposición a contaminantes, tanto en la actualidad como en el futuro. En este sentido, el proceso de evaluación de riesgos a la salud humana requiere conocer cuatro aspectos importantes: la determinación del problema (o identificación del peligro), evaluación de la toxicidad (o dosis-respuesta), evaluación de la exposición, y la caracterización del riesgo (Martín-Olmedo, et al 2016; MINAM 2015).

3.5.1 Determinación del problema

Esta etapa busca determinar los contaminantes de preocupación para la evaluación de riesgo a la salud humana (MINAM 2015); para ello, se consideran los siguientes criterios de selección:

- Las concentraciones máximas de los contaminantes en las matrices ambientales (suelo, agua superficial, etc.), se compararán con los niveles de fondo. Se descartan de la evaluación aquellos parámetros cuyas concentraciones sean menor o iguales que los niveles de fondo; caso contrario, se continúa con el proceso de selección.
- Se comparará los niveles de contaminantes con los Estándares de Calidad Ambiental y/o estándares internacionales (conforme corresponda).
- Para evaluar la exposición humana, es recomendable utilizar un estadístico que permita obtener una medida razonable y representativa que describa las concentraciones en una determinada matriz ambiental. Para ello se calcula el “Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95 % de la media aritmética” (UCL95).
- Una sustancia cancerígena se considera en la evaluación de riesgos a la salud humana, si el UCL95 se encuentra por encima del ECA y/o estándares internacionales.
- Para sustancias no cancerígenas, se considera en la evaluación si el UCL95 es igual o sobrepasa el ECA y/o estándares internacionales.
- El UCL95 solo es apto de calcular si se tiene un conjunto de datos mayores a 10 muestras; caso contrario, se recomienda utilizar la concentración más alta en reemplazo del UCL95.

Es importante tener en cuenta que muchas de las concentraciones obtenidas se puedan encontrar por debajo de los límites de detección analíticos (LDA). En este sentido, para calcular el UCL95, se recomienda reemplazar aquellos valores $< LDA$ por la mitad de dicho valor ($LDA/2$) para realizar este cálculo (MINAM 2015).

3.5.2 Evaluación de la toxicidad

De acuerdo con la ATSDR (2000), la toxicidad de los contaminantes de preocupación depende de la dosis a la que puede estar expuesto un determinado receptor por las diferentes vías (oral, inhalación, contacto dérmico); y su evaluación permitirá medir el grado de peligro que suponen las sustancias tóxicas en el área de estudio (MINAM 2015).

Existe una recopilación bibliográfica con más de 650 sustancias químicas, respaldada por múltiples estudios científicos. Cada sustancia cuenta con referencias bibliográficas que detallan sus características toxicológicas en diversas formas o especiaciones (EPA 2022).

De acuerdo con lo establecido por la IARC (2019:2), los PCB fueron clasificados como carcinógenos de categoría 1 para humanos (ver tabla 2), y actúan como potenciadores de los efectos cancerígenos de otros compuestos.

Tabla 2 Clasificación de las sustancias cancerígenas

Categoría	Descripción
1	Cancerígeno para los seres humanos: Esta clasificación se asigna a aquellas sustancias para las cuales existe una sólida base de evidencia científica que vincula su exposición con el desarrollo de cáncer en humanos.
2A	Probablemente cancerígeno para los seres humanos: Esta clasificación se asigna cuando la evidencia epidemiológica es limitada, pero la evidencia toxicológica en animales de experimentación o los datos mecanicistas son suficientes para sugerir un potencial carcinogénico, cumpliendo así los criterios de clasificación establecidos.
2B	Posiblemente cancerígeno para los seres humanos: Esta clasificación se utiliza generalmente cuando solo una de las siguientes evaluaciones ha sido realizada por el Grupo de Trabajo: <ul style="list-style-type: none">- Datos limitados sobre la carcinogenicidad en humanos- Carcinogénesis confirmada en animales de experimentación- Evidencia mecanicista robusta, que muestra que el agente presenta características clave de carcinógenos humanos
3	No clasificable en cuanto a su carcinogenicidad en humanos: No se ha podido clasificar su potencial carcinogénico en humanos debido a la insuficiencia de datos tanto en estudios epidemiológicos como en modelos animales. Los resultados obtenidos en animales experimentales sugieren un posible efecto cancerígeno, pero no son concluyentes.

Fuente: IARC (2019).

Asimismo, GSI Environmental Inc. (2007) provee información referencial sobre toxicidad, la cual ha sido recopilada en el programa RBCA ToolKit Versión 2.6. Esta

herramienta se ha utilizado para la evaluación de riesgos en el presente estudio. Las principales fuentes de información de la herramienta son las siguientes:

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).
- RIVM: National Institute for public health and the environment. Ministry of Health, Welfare and Sport. The Netherlands.
- TX 11: El Programa de Reducción de Riesgos de Texas (RG-366 TRRP-19) incluye factores de toxicidad y parámetros químicos/físicos. Los datos iniciales se publicaron en junio de 2001, y las tablas de toxicidad y propiedades físico/químicas se revisaron el 24 de mayo de 2011.
- Guía para la Evaluación de la Contaminación del Suelo de la EPA: Un documento técnico detallado (EPA/540/R-95/128) (E2) que proporciona una base técnica para la evaluación de la contaminación del suelo.
- El documento "Evaluación de la exposición dérmica: principios y aplicaciones" (EPA/600/8-91/011B) proporciona una descripción completa de los principios y procedimientos para evaluar la exposición humana a contaminantes ambientales a través de la piel.
- El Manual de Métodos de Estimación de Propiedades Químicas (1982) de W.J. Lyman (McGraw-Hill, Nueva York, ISBN -0-07-039175-0).
- Libro de referencia, Howard, Handbook of Environmental Degradation Rates, Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1989 (H).
- EPA Integrated Risk Information System (IRIS), database was last updated on March 31, 2007 (EPA-I).

3.5.3 Evaluación de la exposición

En la evaluación de la exposición, se cuantifica la intensidad, periodicidad y tiempo de contacto con los contaminantes, considerando las distintas rutas de exposición (MINAM 2015). Por lo tanto, se trata de identificar las vías por las cuales los individuos tienen

contacto con el contaminante y estimar la cantidad de sustancia a la que están expuestas. “La exposición se cuantifica como la dosis diaria de una sustancia, expresada por unidad de peso corporal, que puede atravesar las barreras de absorción del organismo (e.g. pulmones, piel, y tracto gastrointestinal)” (Olmedo et al. 2016:17 y 70 y Peña et al. 2001:41).

Para comenzar, se identifica la fuente de emisión del contaminante. Posteriormente, se evalúan los medios físicos afectados y cómo el contaminante puede migrar de la fuente al sitio donde la población podría estar expuesta. Con el medio identificado se determinan las vías de exposición relevantes. Las vías son el medio por el cual el compuesto entra al receptor, las cuales son: ingestión, inhalación y contacto dérmico (Olmedo et al. 2016).

El MINAM (2015) recomienda calcular niveles de riesgo asociados a efectos cancerígenos y no cancerígenos. Con este fin, las ecuaciones que determinan el cálculo de la dosis de exposición siguen al programa RBCA Tool Kit v2.6, las cuales son propuestas por la EPA de EE. UU. Asimismo, estas ecuaciones o fórmulas no difieren a las indicadas por MINAM (2015), sino que estas fórmulas toman como referencia a las ecuaciones propuestas por la EPA para cada una de las diferentes vías de exposición. En lo que sigue, se presentan las ecuaciones aplicadas en el cálculo de la dosis de exposición por las diferentes vías:

Vía por ingesta

$${}^{SS}RBSL_{Ingest} \text{ (no cancerígenos)} = \frac{THQ \times RfD_0 \times BW \times AT_n \times 365 \text{ días/año}}{EF \times ED \times IR_S \times RBAF \times 10^{-6} \text{ kg/mg}}$$

$${}^{SS}RBSL_{Ingest} \text{ (cancerígenos)} = \frac{TR \times BW \times AT_C \times 365 \text{ días/año}}{SF_0 \times EF \times ED \times IR_S \times RBAF \times 10^{-6} \text{ /mg}}$$

Vía por contacto dérmico

$${}^{SS}RBSL_{Dermal}(\text{no cancerígenos}) = \frac{THQ \times RfD_0 \times BW \times AT_n \times 365 \text{ días/año}}{EF \times ED \times RAF_d \times SA \times M \times 10^{-6} \text{ kg/mg}}$$

$${}^{SS}RBSL_{Dermal}(\text{cancerígenos}) = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \text{ días/año}}{SF_0 \times EF \times ED \times RAF_d \times SA \times M \times 10^{-6} \text{ kg/mg}}$$

Vía por inhalación

$${}^{SS}RBSL_{Inhal}(\text{no cancerígenos}) = \frac{THQ \times RfC \times AT_n \times 365 \text{ días/año}}{EF \times ED \times VF_{samb}}$$

$${}^{SS}RBSL_{Inhal}(\text{cancerígenos}) = \frac{TR \times AT_c \times 365 \text{ días/año}}{EF \times ED \times URF \times 1000 \text{ } \mu\text{g/mg} \times VF_{samb}}$$

Donde:

ABS_d: Factor de absorción dérmica (adimensional)

ABS_{GI}: Factor de absorción gastrointestinal (adimensional)

AT_c: Tiempo promedio para compuestos cancerígenos (años)

AT_n: Tiempo promedio para compuestos no cancerígenos (años)

BW: Peso del cuerpo (kg)

ED: Duración de la exposición (años)

EF: Frecuencia de la exposición (días/año)

IR_s: Tasa de ingestión de suelo (kg/día)

M: Factor de adherencia del suelo a la piel (mg/cm²/día)

RAF_d: Factor de absorción relativa para contacto dérmico del suelo (adimensional)

RBAF: Factor de biodisponibilidad relativa (adimensional)

^{SS}RBSL: Nivel de referencia para suelo basado en el riesgo (mg/kg)

RfD_o: Dosis de referencia oral crónica (mg/kg/día)

SA: Superficie de la piel para el contacto dérmico del suelo (cm²)

SF_o: Factor de pendiente oral (mg/kg/día)⁻¹

THQ: Coeficiente de peligro objetivo

TR: Riesgo objetivo

RfC: Concentración de referencia (mg/m^3)

URF: Factor de unidad de riesgo (mg/m^3)⁻¹

VF_{samb}: Factor de volatilización desde el suelo al aire exterior ($\text{mg}/\text{m}^3\text{-aire}$) / ($\text{mg}/\text{kg}\text{-suelo}$)

3.5.4 Caracterización del riesgo a la salud humana

La toxicidad es la capacidad de una sustancia para inducir efectos dañinos. Olmedo et al. (2016:105) sostienen que, si una sustancia tiene capacidad de producir cáncer, la evaluación de riesgo debe realizarse con base a dos aspectos. Primero, respecto a la evidencia de la probabilidad que esta sustancia sea carcinógena. Segundo, mediante un factor de dependencia cancerígena de índices de toxicidad disponibles en el sistema IRIS (Integrated Risk Information System).

De acuerdo con Peña et al. (2001:44 - 45), “para que un riesgo exista es necesario que una persona quede expuesta a una sustancia, y que esta exposición signifique un peligro para la salud”. Asimismo, los PCB son una familia de sustancias químicas con efectos cancerígenos, clasificados en el grupo 1-A por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) (véanse el Capítulo 1 y la Sección 3.5.2).

Así, para calcular el riesgo de cáncer o índice de riesgo de cáncer (IR), se utiliza la siguiente fórmula (MINAM 2015:50, Olmedo et al. 2016 y Peña et al. 2001):

$$\text{IR}_{ij} = \text{DE} \times \text{FRU (o FPC)}$$

Donde:

IR_{ij}: Índice de riesgo de cáncer (sin unidad), es la probabilidad de un individuo de desarrollar cáncer a lo largo de la vida, resultante de la exposición al contaminante (i) a través de la vía (j)

DE_{ij}: Dosis de exposición ($\text{mg}/\text{kg}\text{-día}$)

FRU_{ij}: Factor de riesgo unitario ($\text{mg}/\text{kg}\text{-día}$)⁻¹

FPC_{ij}: Factor de pendiente de cáncer (mg/kg-día)⁻¹

La evaluación del riesgo de cáncer del contaminante de preocupación (i) se realiza para todas sus rutas de exposición (j). Después, para estimar el índice de riesgo total (IR_T), se suman todos los riesgos individuales (IR_{ij}).

$$IR_T = \sum IR_{ij}$$

Donde:

IR_T: índice de riesgo (sin unidad), de todos los contaminantes cancerígenos y todas las vías de exposición

IR_{ij}: Índice de riesgo (sin unidad) resultante del contaminante (i) para la j-ésima vía de exposición

A modo de referencia, cuando se obtenga un nivel de riesgo ≤ RECV (Riesgo Extra de Cáncer de por Vida = 1x10⁻⁵), se tiene un riesgo aceptable. No obstante, si el nivel de riesgo supera el RECV, se clasifica como un riesgo inaceptable.

El MINAM (2015) establece el método para caracterizar el riesgo no cancerígeno inherente a una sustancia, utilizando el cociente de peligrosidad, de acuerdo con lo siguiente:

$$IP_{ij} = \frac{DE}{DdR}$$

Donde:

IP_{ij}: Índice de peligrosidad (sin unidad)

DE: Dosis de exposición (mg/kg-día)

DdR: Dosis de referencia (mg/kg-día)

Es importante considerar que un IP_{ij} inferior a 1 refleja un riesgo aceptable. No obstante, un IP_{ij} superior a 1 indica un riesgo preocupante; y cuando se obtiene

un valor superior a 10, se considera un riesgo muy elevado, lo que exige la toma de acciones correctivas inmediatas.

Todos los IP_{ij} se suman por cada vía de exposición para calcular el Índice de peligrosidad total (IP_T). Asimismo, un $IP_T \leq 1$ se considera un riesgo aceptable.

$$IPT = \sum IP_{ij}$$

Donde:

(IP_T): índice de peligrosidad total (sin unidad)

IP_{ij} : Índice de peligrosidad (sin unidad), resultante del contaminante (i) para la j-ésima vía de exposición



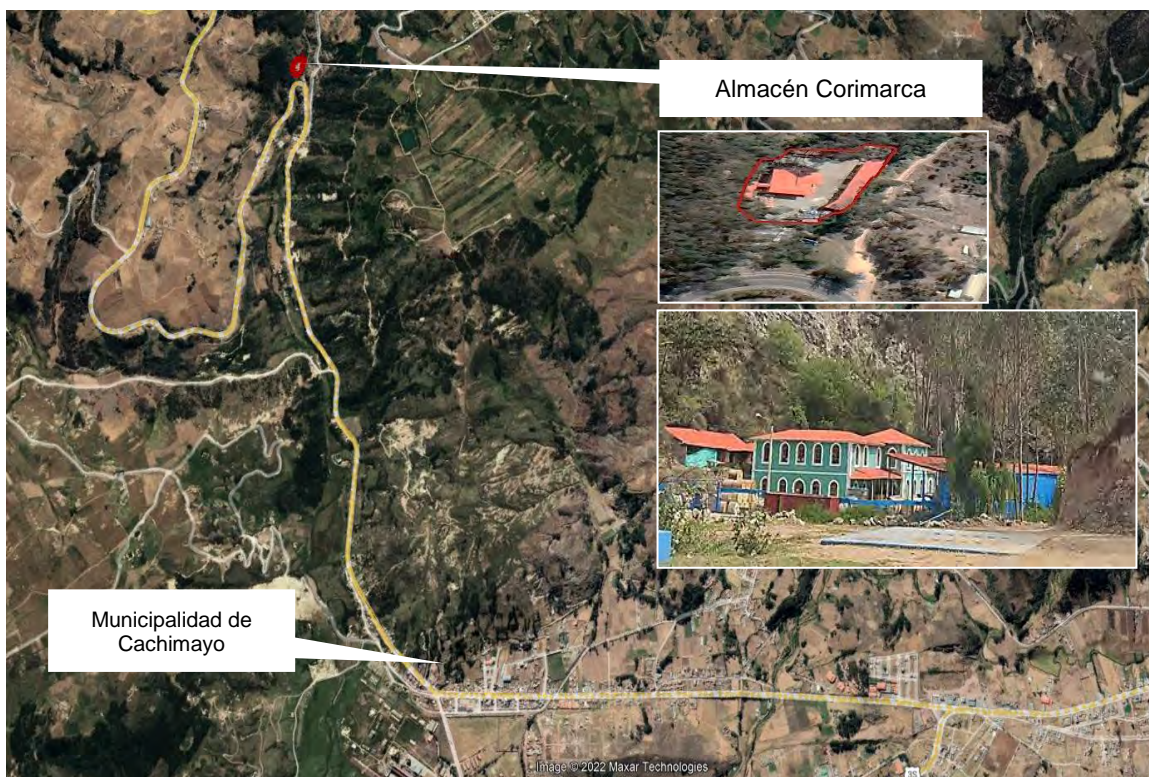
Capítulo 4.Resultados

A continuación, se describe la evolución del manejo, usos y ocupación del almacén de Corimarca. Posteriormente, se expone los resultados de los análisis del muestreo de reconocimiento y de identificación para su posterior comparación con los estándares de calidad ambiental de Perú y Canadá. En la cuarta sección, se muestra el esquema de las fuentes, mecanismos de transporte, rutas o vías de exposición y receptores para evaluar el riesgo. Finalmente, se presenta el nivel de riesgo a la salud humana por la presencia de PCB calculado y evaluado.

4.1 Evolución del manejo del almacén de Corimarca

La empresa que administra el almacén de Corimarca es Electro Sur Este S.A.A. Dicha compañía se dedica a distribuir y comercializar energía eléctrica. Su área de concesión supera los ocho mil kilómetros cuadrados en las regiones de Cusco, Apurímac, Madre de Dios, algunas provincias de Ayacucho y Arequipa, y comunidades de Puno (Electro Sur Este 2022).

El almacén de Corimarca se encuentra a los alrededores y es parte del área que ocupa la antigua central hidroeléctrica de Corimarca. Esta área forma parte del distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, departamento de Cusco, justo al límite del distrito de Cachimayo.



Mapa 5 Ubicación del almacén de Corimarca. Coordenadas geográficas UTM WGS 84: N: 8510781 y E: 818246, zona S18. Elaborado en base a Google Earth (2022)

El almacén ocupa lo que queda de la central hidroeléctrica de Corimarca, construida en 1914 por la Compañía Eléctrica Industrial Cusco. Según Ludeña (2008), fue una de las primeras centrales hidroeléctricas del Perú y la primera que suministró energía eléctrica a la ciudad de Cusco (Tamayo et al. 2016; MINCUL 2015). La central es considerada patrimonio cultural de la nación por su valor histórico, arquitectónico, tecnológico y simbólico (Neydo 2010; INC 2010).



Figura 15 Central hidroeléctrica de Corimarca, 1914. Fuente: MINCUL (2015)

En el registro fotográfico de Neydo (2010), muestra que, posiblemente desde ese entonces, la empresa eléctrica empezó a acopiar transformadores sin medidas preventivas para la protección del suelo y ambiente en los alrededores de la central. Los recuadros de la figura 16 presentan transformadores en desuso a la intemperie, encima de suelo natural. Todo esto sin protección ante derrames que podrían evitar o contener posibles liberaciones de sustancias tóxicas de residuos o existencias al ambiente.





Figura 16 (a y b) área colindante a la central con transformadores (recuadros amarillos) ubicados sobre el suelo natural, 2010. Fuente: Neydo (2010: 2)

En el año 2015, cinco años después de las fotografías de Neydo (2010), un video del Ministerio de Cultura muestra que, a diferencia de la figura 16, se implementó un cerco de lona, que delimita el perímetro como un área de almacenamiento (ver figura 17) (MINCUL 2015). Además, la figura 17 evidencia una mayor cantidad de transformadores dispuestos en áreas aledañas a la antigua central. Aproximadamente ochenta equipos estaban a la intemperie y sobre suelo natural, careciendo de protección adecuada.

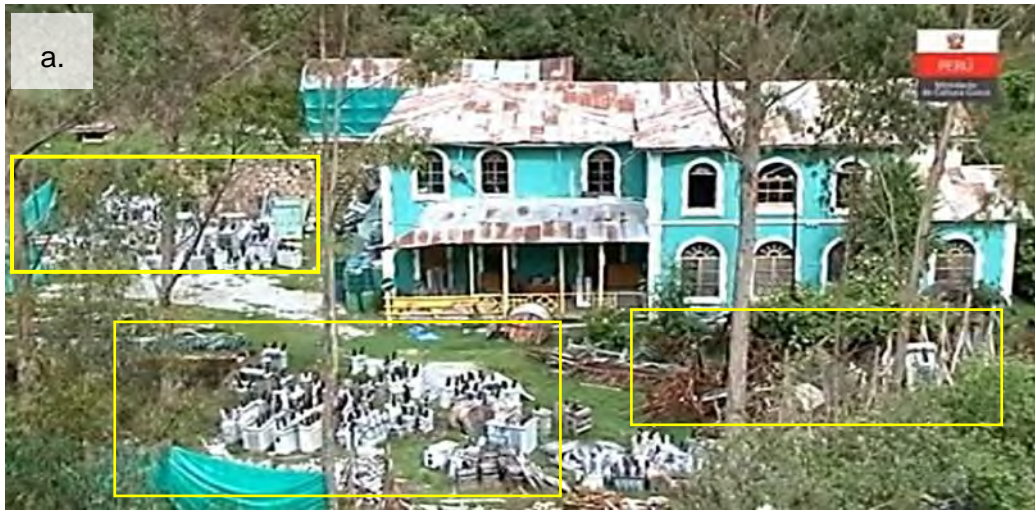


Figura 17 (a y b) Existencias (e.g., transformadores) (recuadros amarillos en a) en área colindante a la central eléctrica, 2015. Fuente: MINCUL (2015)

En 2016, el OEFA (2017) realizó una inspección al almacén de Corimarca y encontró el inadecuado manejo y acopio de noventa y seis transformadores en desuso, cilindros de aceite, cables, aisladores, chatarra y otros. Todos estos elementos se encontraban sobre el suelo, sin protección y a la intemperie. Además, el OEFA (2017) señaló que el almacén temporal de residuos peligrosos y no peligrosos no contaba con las condiciones adecuadas para su almacenamiento. OEFA señaló el incumplimiento de la prohibición de almacenar residuos en terrenos abiertos y de las condiciones mínimas requeridas para un almacén. Por ejemplo, debería tener piso de material resistente e impermeable; ante riesgos de derrame, fuga, incendio, entre otros. Asimismo, según la OEFA (2018), la empresa presentó, como parte de su descargo frente a los hechos

En 2021 tras una visita de reconocimiento se notó que había cambios en relación con el registro realizado por OEFA en 2016 y los otros registros fotográficos de Neydo (2010:2) y MINCUL (2015). Uno de ellos era que no se apreciaba transformadores acopiados encima del suelo y a la intemperie. Además, la empresa eléctrica colocó un cerco perimétrico en el almacén e implementó techos protectores en algunas áreas de almacenamiento. Por otro lado, en la parte posterior del almacén se apreció que la empresa eléctrica albergaba diversos residuos como rodetes de cables, postes, y cilindros; todos acopiados a la intemperie y en suelo desnudo. Los pisos en áreas de almacenamiento no eran de loza o material impermeable y solo había pisos de grava.



Figura 19 a y b. Almacén de Corimarca, 2021. Parte frontal (a) y posterior (b). Fotografías de la autora

Según el MINEM (2020) y MINAM (2017), un espacio destinado para almacenar residuos peligrosos y/o existencias con PCB, debe cumplir con las siguientes condiciones: área preparada y techada para protegerse de la intemperie, área con pisos

revestidos, impermeables y resistentes a la abrasión (se sugiere planchas de acero o geomembranas) con pendiente suficiente para dirigir cualquier derrame hacia pozas de contención y un mecanismo de recolección para derrames o fugas, área con buena ventilación, con un sistema contra incendio, señalización visible de seguridad y debe tener planes de contingencia. Adicionalmente, estos almacenes pueden estar ubicados a no menos de cien metros de cuerpos de agua, colegios, hospitales, centros comerciales ya que se consideran puntos sensibles.

En el año 2023 se entrevistó al encargado de la gestión ambiental de Electro Sur Este S.A.A. y se visitó el área que ocupa el almacén de Corimarca. Según el funcionario, basándose en los datos de estatus de propiedad y valor histórico, la empresa es propietaria de la hidroeléctrica Corimarca desde 1970, tras un traspaso en la época de la reforma agraria. También, indicó que los documentos de propiedad acreditan a Electro Sur Este S.A.A. como dueña de 34 ha de terreno destinadas a todas las operaciones de la hidroeléctrica Corimarca. Asimismo, el funcionario señaló que la Hidroeléctrica Corimarca fue declarada como un bien inmueble integrante del patrimonio cultural de la Nación el 24 de setiembre del 2010, mediante la Resolución directoral nacional N°2064/INC.

Respecto al tipo de operaciones o actividades que se realizan en el área, el funcionario indicó que en el terreno que ocupa la antigua hidroeléctrica Corimarca ya no se llevan operaciones de generación por su antigüedad que data de la década de 1910, pero las áreas que rodean a la casa de máquina de la antigua hidroeléctrica fueron asignadas para ser un almacén temporal de materiales. Dicha área fue asignada como almacén temporal aproximadamente desde el 2015. Asimismo, indicó que la empresa cuenta con tres almacenes de residuos peligrosos: almacén Central Cusco, almacén Puerto Maldonado y almacén Tamburco en Abancay.

Respecto a instrumentos de gestión ambiental, el mismo funcionario indicó que el almacén de Corimarca está incluido en el Programa de Adecuación de Manejo Ambiental de 1996 (aprobada por la R.D.252-96 EM/DGE). Asimismo, a raíz de una

actualización de la normativa en 2019, el almacén también se encuentra sujeto a un Plan Ambiental Detallado que está siendo evaluado. Adicionalmente, en cuanto a la gestión de sitios contaminados, el funcionario señaló que el almacén de Corimarca no cuenta con un informe de identificación de sitios contaminados. Sin embargo, afirmó que otras áreas y los tres almacenes mencionados previamente sí disponen de informes aprobados, los cuales concluyen que estas zonas no presentan contaminación.

Sobre la gestión de PCB en la empresa, el funcionario sostuvo que Electro Sur Este S.A.A. posee alrededor de once mil transformadores en funcionamiento y ochocientos en almacenes. Además, indicó que la empresa ha elaborado un Plan de Gestión Ambiental de PCB con el fin de cumplir los compromisos establecidos en dicho plan. Según el funcionario, la empresa ha analizado el 50% del total de sus equipos mediante un descarte de PCB. De este grupo analizado, el 0.1% fue identificado como contaminado por superar el valor permitido de 50 ppm de PCB. Respecto a ese 0,1% de equipos contaminados con PCB, el 85% ya fue eliminado. El porcentaje restante de equipos con PCB que aún no ha sido eliminado se encuentra en servicio. Además, el funcionario indicó que la empresa no tiene un almacén específicamente para PCB, pero sí de residuos y existencias peligrosas que son las tres nombradas líneas arriba.

Asimismo, el funcionario indicó que su Plan de Gestión Ambiental de PCB aún se encuentra en evaluación por el MINEM y que, de acuerdo con los compromisos del plan, se cumplirá con los plazos del convenio de Estocolmo. Igualmente, el funcionario señaló que el Plan de Gestión Ambiental de PCB posee procedimientos para identificar, almacenar, transportar existencias y residuos con PCB; procedimientos para el mantenimiento que evite la contaminación cruzada y finalmente tiene procedimientos para su eliminación ambientalmente racional, en caso cuenten con existencias y residuos con PCB. También agregó que la gestión y manejo de transformadores y otras existencias resulta más compleja para una empresa de distribución, debido a la gran cantidad de equipos y a su dispersión geográfica en centrales, subestaciones y líneas de transmisión a lo largo de toda su zona de concesión.

Respecto a la supervisión realizada por el OEFA en el 2016 al almacén de Corimarca, el funcionario indicó que se observó el incumplimiento de la prohibición de almacenar residuos peligrosos en terrenos abiertos y la ausencia de un acondicionamiento adecuado que mitigara los riesgos de posibles fugas. Situación que fue subsanada mediante la ejecución de la medida correctiva impuesta por la OEFA, que consistió en el retiro de los transformadores y otros residuos hacia un almacén con las medidas de seguridad correspondientes, así como en el acondicionamiento del sitio como almacén temporal de materiales. Además, el funcionario señaló que dichos transformadores fueron enviados al almacén central de Cusco. Agregó que dichas acciones fueron reportadas a la OEFA y dicho PAS fue archivado, dado que se dio cumplimiento a la medida correctiva. Asimismo, se verificó el reporte de infracciones y sanciones de la OEFA, en el cual figura "medida correctiva" como acción dictada y no se registra sanción alguna en el apartado correspondiente (OEFA 2023).

Finalmente, en la visita realizada al almacén de Corimarca en el 2023 se observó materiales nuevos, como tambores de cables, aisladores, bastones de acomedidas, entre otros. Según lo indicado en la entrevista, estos son utilizados para el mantenimiento de líneas de transmisión. Asimismo, se visualizó áreas de almacenamiento temporal de materiales techadas, equipadas con estibas para el apilamiento de materiales, iluminación y cámaras de seguridad, las cuales también contaban con ventilación. No obstante, se observó algunos cilindros de aceites vacíos; además, algunas áreas no contaban con señalización y no tenían suficientes dispositivos contra incendios. No se visualizaron transformadores almacenados. En comparación con la visita de reconocimiento de 2021, no se observaron residuos como rodetes, cables o postes dispuestos directamente sobre el suelo en la parte posterior del almacén (ver figura 20).



Figura 20 Almacén de Corimarca, 2023. Parte frontal (a), lado izquierdo posterior (b), lado derecho (c) y vista desde parte posterior del almacén (d). Fotografías de la autora

4.2 Bifenilos policlorados en áreas aledañas y dentro del almacén de Corimarca.

4.2.1 Resultados analíticos del muestreo de reconocimiento en áreas aledañas al almacén de Corimarca

Tras la toma de muestras de suelo y sedimentos en los puntos de muestreo señalados en los mapas 2 y 3, se envió las muestras al laboratorio de Certificación del Perú (CERPER), acreditado por Instituto Nacional de Calidad (INACAL), para el análisis. Los informes se adjuntan en los anexos 4, 5 y 6.

El laboratorio utilizó el método de análisis EPA 8082A bifenilos policlorados por cromatografía de gases para analizar las muestras. Los análisis de laboratorio generaron los siguientes resultados:

Tabla 3 Comparación de resultados de análisis de bifenilos policlorados (PCB) del 2021 con estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo

Parámetro	Punto de muestreo		SU-1	SU-2	SU-3
	Fecha de muestreo		2021-11-09		
	Hora de muestreo		11:30	12:03	14:53
Bifenilos policlorados	Límite de detección (µg/kg)	Límite de cuantificación (µg/kg)	Resultados (µg/kg)		
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,1145	0,4058	<0,4058	<0,4058	<0,4058
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,0719	0,2548	<0,2548	<0,2548	<0,2548
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,0609	0,2157	<0,2157	<0,2157	<0,2157
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,0549	0,1947	<0,1947	<0,1947	<0,1947
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,0590	0,2091	<0,2091	<0,2091	<0,2091
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,0786	0,2786	<0,2786	<0,2786	<0,2786
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,0355	0,1259	<0,1259	<0,1259	<0,1259
(18) 2, 2', 5 - triclorobifenil	0,0689	0,2444	<0,2444	<0,2444	<0,2444
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,0452	0,1603	<0,1603	<0,1603	1,1735
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,0331	0,1172	<0,1172	1,3337	<0,1172
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,0411	0,1456	<0,1456	<0,1456	<0,1456
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,0265	0,0938	<0,0938	<0,0938	<0,0938
(31) 2, 4', 5 - Triclorobifenil	0,0749	0,2654	<0,2654	<0,2654	<0,2654
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,0314	0,1113	<0,1113	<0,1113	<0,1113

(5) 2, 3 - Diclorobifenil	0,0448	0,1590	<0,1590	<0,1590	<0,1590
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,0929	0,3295	2,9834	<0,3295	<0,3295
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,0398	0,1410	<0,1410	<0,1410	<0,1410
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,0526	0,1865	<0,1865	<0,1865	<0,1865
PCB Totales (µg/kg)	0,0265	0,0938	2,9834	1,3337	1,1735
PCB Totales (mg/kg)	0.0000265	0,0000938	0,0029	0,0013	0,0012
ECA ⁽¹⁾ para suelo (mg/kg)			0,5⁽²⁾	33,0⁽³⁾	0,5⁽²⁾

1: ECA: Estándar de calidad ambiental.

2: ECA para suelo agrícola. D. S. 011-2017-MINAM.

3: ECA para suelo industrial. D. S. 011-2017-MINAM.

Fuente: MINAM (2017:3) y CERPER (2021).

La tabla 3 contiene los resultados del análisis de PCB por cromatografía de gases para cada punto de muestreo (SU-1, SU-2, y SU-3). Para cotejar los resultados obtenidos con el ECA peruano para suelo, se procedió a convertir las unidades de los resultados de PCB Totales de los tres puntos de muestreo de µg/kg a mg/kg. Los resultados analíticos determinaron que las concentraciones de PCB se encuentran por encima del Límite de Cuantificación Analítico (LCA) pero no sobre el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (D.S. 011-2017-MINAM) de uso Industrial (33 mg/kg) como Agrícola (0,5 mg/kg).

Respecto a las muestras de sedimento, estas fueron igualmente remitidas al laboratorio CERPER, acreditado por INACAL. Este laboratorio utilizó el método de análisis EPA 8082A bifenilos policlorados por cromatografía de gases para analizar las muestras. A continuación, se detallan los resultados obtenidos en 2021 y 2024. Las tablas 4 y 5 ilustran estos hallazgos.

Tabla 4 Comparación de resultados de análisis de PCB del 2021 con Pautas Canadienses de Calidad Ambiental (CEQG) para sedimentos

Parámetro	Punto de muestreo		SD-1	SD-2
	Fecha de muestreo		2021-11-09	
	Hora de muestreo		11:30	12:03
Bifenilos policlorados	Límite de detección (µg/kg)	Límite de cuantificación (µg/kg)	Resultados (µg/kg)	
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,1145	0,4058	<0,4058	<0,4058

(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,0719	0,2548	<0,2548	<0,2548
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,0609	0,2157	<0,2157	<0,2157
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,0549	0,1947	<0,1947	<0,1947
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,0590	0,2091	<0,2091	<0,2091
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,0786	0,2786	<0,2786	<0,2786
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,0355	0,1259	<0,1259	<0,1259
(18) 2, 2', 5 - triclorobifenil	0,0689	0,2444	<0,2444	<0,2444
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,0452	0,1603	<0,1603	<0,1603
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,0331	0,1172	<0,1172	<0,1172
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,0411	0,1456	<0,1456	<0,1456
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,0265	0,0938	<0,0938	<0,0938
(31) 2, 4', 5 - Triclorobifenil	0,0749	0,2654	<0,2654	<0,2654
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,0314	0,1113	<0,1113	<0,1113
(5) 2, 3 - Diclorobifenil	0,0448	0,1590	<0,1590	<0,1590
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,0929	0,3295	<0,3295	<0,3295
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,0398	0,1410	<0,1410	<0,1410
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,0526	0,1865	<0,1865	<0,1865
PCB Totales (µg/kg)	0,0265	0,0938	<0,0938	<0,0938
CEQG ⁽¹⁾ para sedimentos (µg/kg)		ISQG ⁽²⁾	34,1	
		PEL ⁽³⁾	277,0	

1: Canadian Environmental Quality Guidelines (Pautas Canadienses de Calidad Ambiental).

2: Interim Sediment Quality Guideline (directrices de calidad de sedimentos provisionales): Concentración debajo de la cual no se presentan efectos adversos.

3: Probable Effect Level (nivel de efecto probable): Concentración sobre la cual se espera que los efectos adversos ocurran con frecuencia.

Fuente: CCME (2001) y CERPER (2021).

La tabla 4 compara los resultados de análisis de sedimentos para PCB del 2021, con las Pautas Canadienses de Calidad Ambiental (Canadian Environmental Quality Guidelines CEQGs) para sedimentos de agua dulce. Los resultados analíticos determinaron que las concentraciones de PCB se encuentran por debajo del Límite de Cuantificación Analítico (LCA). Dado que la normativa nacional no establece un ECA para sedimentos, se procedió a comparar los resultados con los valores referenciales de la Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CSQG) de Canadá, donde tampoco se registraron excedencias.

Tabla 5 Comparación de resultados de análisis de PCB del 2024 con CEQG para sedimentos

Parámetro	Punto de muestreo		SD-1	SD-2	SD-3
	Fecha de muestreo		2024-10-22		
	Hora de muestreo		10:20	11:10	12:20
Bifenilos policlorados	Límite de detección (µg/kg)	Límite de cuantificación (µg/kg)	Resultado (µg/kg)		
(1) 2 - Clorobifenil	0,6179	1,9678	<1,9678	<1,9678	<1,9678
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,0429	0,1367	<1,9678	<1,9678	<1,9678
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,0719	0,2548	<1,9678	<1,9678	<1,9678
(118) 2, 3', 4, 4', 5 - Pentaclorobifenil	0,0501	0,1596	<0,1367	<0,1367	<0,1367
(137) 2, 2', 3, 4, 4', 5 - Hexaclorobifenil	0,0539	0,1716	<0,1367	<0,1367	<0,1367
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,0609	0,2157	<0,1367	<0,1367	<0,1367
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,0549	0,1947	<0,2548	<0,2548	<0,2548
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,0590	0,2091	<0,2548	<0,2548	<0,2548
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,0786	0,2786	<0,2548	<0,2548	<0,2548
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,0355	0,1259	<0,1596	<0,1596	<0,1596
(18) 2, 2', 5 - triclorobifenil	0,0689	0,2444	<0,1596	<0,1596	<0,1596
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,0452	0,1603	<0,1596	<0,1596	<0,1596
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,0331	0,1172	<0,1716	<0,1716	<0,1716
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,0411	0,1456	<0,1716	<0,1716	<0,1716
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,0777	0,2473	<0,1716	<0,1716	<0,1716
(28) 2, 4, 4' - Triclorobifenil	0,0337	0,1073	<0,2157	<0,2157	<0,2157
(31) 2, 4', 5 - Triclorobifenil	0,0749	0,2654	<0,2157	<0,2157	<0,2157
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,0314	0,1113	<0,2157	<0,2157	<0,2157
(5) 2, 3 - Diclorobifenil	0,0448	0,1590	<0,1947	<0,1947	<0,1947
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,0929	0,3295	<0,1947	<0,1947	<0,1947
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,1486	0,4731	<0,1947	<0,1947	<0,1947
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,0526	0,1865	<0,2091	<0,2091	<0,2091
PCB (suma de siete PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 y 180)	0,0337	0,1073	<0,1073	<0,1073	<0,1073
PCB Totales (µg/kg)	0,0314	0,1113	<0,1073	<0,1073	<0,1073
CEQG (1) para sedimentos (µg/kg)	ISQG (2)	34,1			
	PEL (3)	277,0			

1: Canadian Environmental Quality Guidelines (Pautas Canadienses de Calidad Ambiental).

2: Interim Sediment Quality Guideline (directrices de calidad de sedimentos provisionales): Concentración debajo de la cual no se presentan efectos adversos.

3: Probable Effect Level (nivel de efecto probable): Concentración sobre la cual se espera que los efectos adversos ocurran con frecuencia.

Fuente: CCME (2001:1) y CERPER (2024).

Los resultados de los análisis de sedimentos para PCB del 2024 en la tabla 5 indican que las concentraciones de este contaminante se encuentran por debajo de los Límite de Cuantificación Analítico (LCA). Al no existir estándares nacionales para sedimentos, se procedió a comparar estos resultados con los valores de las guías canadienses (CSQG); en esta comparación, tampoco se registraron niveles que excedieron los valores de referencia.

Asimismo, la comparación de los resultados de los análisis de los sedimentos SD-1 y SD-2 en ambos años (2021 y 2024) revela que no se detectaron niveles de PCB superiores al límite de cuantificación en las muestras. Estos análisis sugieren que no ha habido un aumento significativo en la concentración de PCB en la zona de muestreo entre los años 2021 y 2024.

4.2.2 Resultados analíticos del muestreo de identificación dentro del almacén de Corimarca

Realizado el muestreo de identificación de suelos en el almacén de Corimarca en los puntos señalados en el mapa 4, se envió las muestras al laboratorio de Certificación del Perú (CERPER), acreditado por Instituto Nacional de Calidad (INACAL), obteniendo los siguientes resultados (ver anexo 7):

Tabla 6 Comparación de resultados de análisis de PCB de muestras a una profundidad de 10 cm con ECA para suelo

		Punto de muestreo	MI-SU-1	MI-SU-2	MI-SU-3	MI-SU-4
		Fecha de muestreo	2023-11-11			
		Hora de muestreo	10:30	10:00	10:00	11:30
Parámetro	Límite de detección (mg/kg)	Límite de cuantificación (mg/kg)	Resultados (mg/kg)			
Bifenilos policlorados						
(1) 2 - Clorobifenil	0,000618	0,0019678	<0,0019678	<0,0019678	<0,0019678	<0,0019678
(5) 2, 3 - Diclorobifenil	0,000045	0,000159	<0,000159	<0,000159	<0,000159	<0,000159
(18) 2, 2', 5 - triclorobifenil	0,000069	0,0002444	<0,0002444	<0,0002444	<0,0002444	<0,0002444

(31) 2, 4', 5 - Triclorobifenil	0,000075	0,0002654	<0,0002654	<0,0002654	<0,0002654	<0,0002654
(28) 2, 4, 4' - Triclorobifenil	0,000034	0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,000093	0,0003295	<0,0003295	<0,0003295	<0,0003295	<0,0003295
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,000031	0,0001113	<0,0001113	<0,0001113	<0,0001113	<0,0001113
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,000149	0,0004731	<0,0004731	<0,0004731	<0,0004731	<0,0004731
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,000043	0,0001367	<0,0001367	<0,0001367	<0,0001367	<0,0001367
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,000053	0,0001865	<0,0001865	<0,0001865	<0,0001865	<0,0001865
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,000072	0,0002548	<0,0002548	<0,0002548	<0,0002548	<0,0002548
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,000059	0,0002091	<0,0002091	<0,0002091	<0,0002091	<0,0002091
(118) 2, 3', 4, 4', 5 - Pentaclorobifenil	0,000050	0,0001596	<0,0001596	<0,0001596	<0,0001596	<0,0001596
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,000079	0,0002786	<0,0002786	<0,0002786	<0,0002786	<0,0002786
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,000055	0,0001947	<0,0001947	<0,0001947	<0,0001947	<0,0001947
(137) 2, 2', 3, 4, 4', 5 - Hexaclorobifenil	0,000054	0,0001716	<0,0001716	<0,0001716	<0,0001716	<0,0001716
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,000061	0,0002157	<0,0002157	<0,0002157	<0,0002157	<0,0002157
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,000041	0,0001456	<0,0001456	<0,0001456	<0,0001456	<0,0001456
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,000033	0,0001172	<0,0001172	<0,0001172	<0,0001172	<0,0001172
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,000045	0,0001603	<0,0001603	<0,0001603	<0,0001603	<0,0001603
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,000036	0,0001259	<0,0001259	<0,0001259	<0,0001259	<0,0001259
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,000078	0,0002473	<0,0002473	<0,0002473	<0,0002473	<0,0002473
PCB Totales (28, 52, 101, 118, 138, 153 y 180) (mg/kg)	0,000031	0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073
ECA para suelo – Industrial ⁽¹⁾ (mg/kg)	33					

1: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo industrial. D. S. 011-2017-MINAM.
Fuente: MINAM (2017:3) y CERPER (2021).

De los resultados obtenidos (tabla 6) para las muestras MI-SU-1, MI-SU-2, MI-SU-3 y MI-SU-4 tomadas a una profundidad de 10 cm, se tiene que todas las concentraciones de PCB se encuentran por debajo del Límite de Cuantificación Analítico

(LCA) del laboratorio (<0,0001073); y, por consiguiente, también se encuentran debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo Industrial (33 mg/kg).

Tabla 7 Comparación de resultados de análisis de PCB de muestras a una profundidad de 35cm con ECA para suelo

		Punto de muestreo	MI-SU-1	MI-SU-2	MI-SU-3	MI-SU-4
		Fecha de muestreo	2023-11-11			
		Hora de muestreo	13:30	12:30	14:30	15:30
Parámetro	Límite de detección (mg/kg)	Límite de cuantificación (mg/kg)	Resultado (mg/kg)			
Bifenilos policlorados						
(1) 2 - Clorobifenil	0,000618	0,0019678	<0,0019678	<0,0019678	<0,0019678	<0,0019678
(5) 2, 3 - Diclorobifenil	0,000045	0,000159	<0,000159	<0,000159	<0,000159	<0,000159
(18) 2, 2', 5 - triclorobifenil	0,000069	0,0002444	<0,0002444	<0,0002444	<0,0002444	<0,0002444
(31) 2, 4', 5 - Triclorobifenil	0,000075	0,0002654	<0,0002654	<0,0002654	<0,0002654	<0,0002654
(28) 2, 4, 4' - Triclorobifenil	0,000034	0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,000093	0,0003295	<0,0003295	<0,0003295	<0,0003295	<0,0003295
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,000031	0,0001113	<0,0001113	<0,0001113	<0,0001113	<0,0001113
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,000149	0,0004731	<0,0004731	<0,0004731	<0,0004731	<0,0004731
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,000043	0,0001367	<0,0001367	<0,0001367	<0,0001367	<0,0001367
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,000053	0,0001865	<0,0001865	<0,0001865	<0,0001865	<0,0001865
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,000072	0,0002548	<0,0002548	<0,0002548	<0,0002548	<0,0002548
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,000059	0,0002091	<0,0002091	<0,0002091	<0,0002091	<0,0002091
(118) 2, 3', 4, 4', 5 - Pentaclorobifenil	0,000050	0,0001596	<0,0001596	<0,0001596	<0,0001596	<0,0001596
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,000079	0,0002786	<0,0002786	<0,0002786	<0,0002786	<0,0002786
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,000055	0,0001947	<0,0001947	<0,0001947	<0,0001947	<0,0001947
(137) 2, 2', 3, 4, 4', 5 - Hexaclorobifenil	0,000054	0,0001716	<0,0001716	<0,0001716	<0,0001716	<0,0001716
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,000061	0,0002157	<0,0002157	<0,0002157	<0,0002157	<0,0002157
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,000041	0,0001456	<0,0001456	<0,0001456	<0,0001456	<0,0001456

(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,000033	0,0001172	<0,0001172	<0,0001172	<0,0001172	<0,0001172
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,000045	0,0001603	<0,0001603	<0,0001603	<0,0001603	<0,0001603
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,000036	0,0001259	<0,0001259	<0,0001259	<0,0001259	<0,0001259
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,000078	0,0002473	<0,0002473	<0,0002473	<0,0002473	<0,0002473
PCB Totales (28, 52,101,118, 138, 153 y 180) (mg/kg)	0,000031	0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073
ECA para suelo – Industrial ⁽¹⁾ (mg/kg)	33					

1: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo industrial. D. S. 011-2017-MINAM.
Fuente: MINAM (2017:3) y CERPER (2021).

De la misma forma (tabla 7), las muestras MI-SU-1, MI-SU-2, MI-SU-3 y MI-SU-4 obtenidas a una profundidad de 30 cm también presentaron resultados por debajo del Límite de Cuantificación Analítico (LCA) del laboratorio y también del ECA para Suelo Industrial (33 mg/kg).

4.3 Modelo conceptual del sitio

Según los lineamientos propuestos por el MINAM (2015), se ha determinado el Modelo Conceptual del área de estudio, el cual representa los escenarios de exposición a los PCB de las áreas aledañas al almacén de Corimarca.

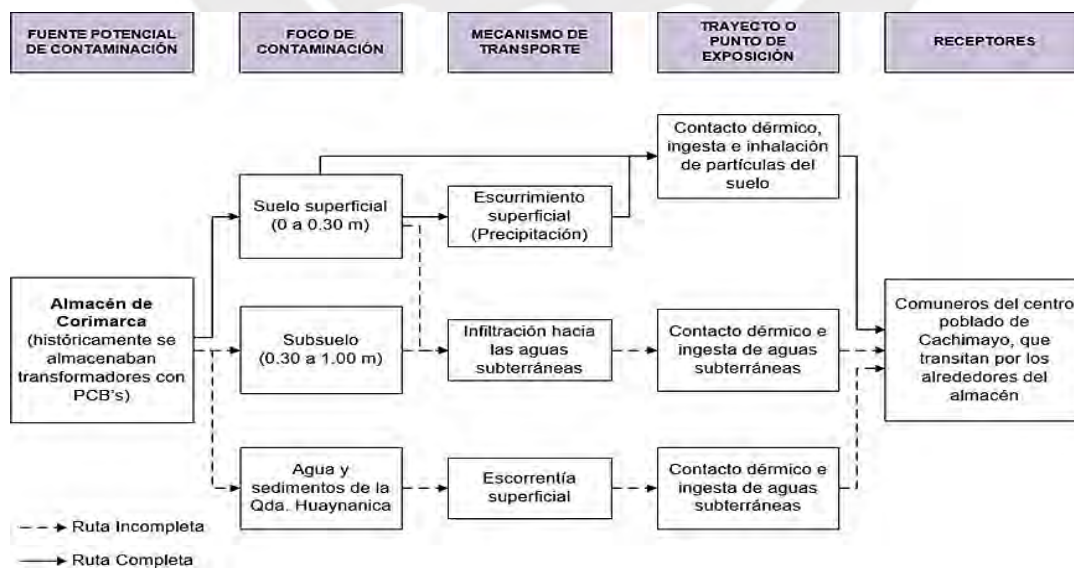


Figura 21 Modelo conceptual del área de estudio
Fuente: Elaboración propia

A partir del modelo conceptual del sitio, se ha determinado al almacén de Corimarca como fuente potencial de contaminación (fuente primaria), debido a la disposición histórica de transformadores de la empresa Electro Sur Este S.A.A. Los registros indican que, aproximadamente desde 2010, se inició el acopio sin contemplar medidas de protección del suelo frente a posibles derrames de aceites con PCB (ver punto 4.1).

Como focos de contaminación (fuentes secundarias), se tiene al suelo superficial, dado que fue la matriz ambiental en contacto directo con los transformadores dispuestos antiguamente en el almacén de Corimarca. Sin perjuicio de que los resultados analíticos de laboratorio reportaran concentraciones por debajo del Límite de Cuantificación Analítico (LCA), se considera bajo un escenario conservador la potencial presencia de PCB en el suelo; contemplando así una ruta directa para su posterior evaluación de riesgos a la salud de las personas. En cuanto a los sedimentos de la quebrada Huaynanica, los resultados analíticos de laboratorio también indicaron concentraciones por debajo (LCA).

Como mecanismos de transporte, se considera el escurrimiento superficial, el cual puede ser originado por las altas precipitaciones en la zona, así como una potencial infiltración hacia el subsuelo. No obstante, no se ha identificado una ruta completa hacia las aguas subterráneas, ya que no se encontraron evidencias de transporte de PCB hacia esta matriz ambiental. Asimismo, la escorrentía de las aguas de la quebrada Huaynanica es una constante ruta de transporte (ver capítulo 2); sin embargo, no se considera una ruta completa dado que no se tiene presencia de PCB en estas matrices ambientales.

Las vías de exposición consideradas son la ingesta, la absorción a través de la piel e inhalación de las partículas del suelo. Bajo un escenario conservador que contemple la potencial presencia de PCB, estas sustancias podrían entrar en contacto con un potencial receptor. De igual manera, se ha identificado como receptores

humanos a los residentes locales (adultos y niños) del centro poblado de Cachimayo, dada su cercanía y ubicación, como se detalla en el capítulo 2. Además, estos residentes pueden transitar con frecuencia por los alrededores del almacén, lo que aumenta la probabilidad de contacto directo con los suelos del sitio. Por otra parte, se consideraron los datos demográficos de la población del centro poblado de Cachimayo, dividiéndola en dos grupos: niños y adultos residentes (capítulo 2).

4.4 Estimación del nivel de riesgo por exposición a bifenilos policlorados

4.4.1 Determinación del problema

Acorde con los criterios indicados por MINAM (2015) en la Guía ERSA, se debe establecer los contaminantes de preocupación como paso previo a la evaluación de riesgos. En este sentido, y teniendo en cuenta que los resultados del muestreo de identificación de suelos revelaron que todas las concentraciones se encuentran por debajo del LCA ($<0,0001073$), no correspondería calcular el UCL95.

No obstante, bajo un escenario conservador, y considerando que ciertas sustancias pueden presentar propiedades carcinogénicas, de bioacumulación y persistencia, entre otras, se deberán considerar como contaminantes de preocupación. Por lo tanto, se considerará a los PCB como contaminante de preocupación en la evaluación de riesgos, sin perjuicio de presentar valores por debajo del LCA = $<0,0001073$.

4.4.2 Evaluación de la toxicidad

Para las sustancias tóxicas, se tiene a las Dosis de Referencia (DdR o RfD por sus siglas en inglés) para cada una de las vías de exposición a evaluar; ya sea por ingestión (DdR_{ING}), contacto dérmico (DdR_{DER}) e inhalación (DdR_{INH}). Asimismo, para las sustancias cancerígenas, se utiliza el Factor de Pendiente de Cáncer (FPC o SF por sus siglas en inglés) para las vías de exposición por contacto dérmico e ingestión oral y el

Factor de Riesgo Unitario (FRU o URF por sus siglas en inglés). A continuación, se describe las propiedades toxicológicas de los PCB:

Tabla 8 Propiedades toxicológicas de los PCB

Contaminante de Preocupación	Dosis de Referencia (DdR) oral (mg/kg/día)	Dosis de Referencia (DdR) dérmico (mg/kg/día)	Concentración de Referencia (DdR) para inhalación (mg/m ³)	Factor de Pendiente de Cáncer Oral (mg/kg-día) -1	Factor de Pendiente de Cáncer Dérmico (mg/kg-día) -1	Factor Unitario equivalente de riesgo por Inhalación (µg/kg-día) -1
PCB	0,00002	0,00002	0,0005	2	2	0,00057

Fuente: EPA (2016), IARC (2019) y GSI Environmental Inc. (2007).

El detalle de las propiedades toxicológicas de los PCB se adjunta en el anexo 8.

4.4.3 Evaluación de la exposición

Las vías de exposición posibles para los seres humanos en función a diferentes medios físicos afectados se detallaron en el modelo conceptual del sitio. De acuerdo con este, el medio físico con contenidos de PCB (bajo un escenario conservador) es el suelo. A continuación, se resumen los parámetros de exposición para los tipos de receptores considerados en la evaluación de riesgos para la salud humana.

Tabla 9 Parámetros de exposición

Parámetros de exposición	Receptores	
	Adulto	Niño
Tiempo promedio para agentes cancerígenos (años)	74.5a	
Tiempo promedio para agentes no cancerígenos (años)	24 a	6 a
Peso corporal (kg)	65 a	12 a
Duración de la exposición dérmica (años)	24 a	6 a
Frecuencia de exposición por Inhalación (días/año)	60.83 b	60.83 b
Frecuencia de exposición por Contacto Dérmico / Ingesta (días/año)	365 a	365 a
Área de la superficie de piel (cm ²)	4 700 a	2 625 a
Factor de adherencia a la piel de suelo (mg/cm ²)	2 a	2 a
Tasa de ingesta de suelo (mg/día)	100 a	200 a

a Datos obtenidos de la Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) del Ministerio del Ambiente, 2015.

b La frecuencia de exposición (por inhalación) se determinó en base a los valores establecidos de la Guía para la elaboración de estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) del Ministerio del Ambiente, 2015. Se asumió un receptor residencial que mantiene una frecuencia de 365 días y una permanencia en el sitio de 4h.

Fuente: Adaptado de la Guía ERSa del MINAM (2015:82).

Para los cálculos de la dosis diaria por cada vía de exposición asociada al suelo y al polvo, se consideraron los valores más conservadores propuestos en la Guía ERSA del MINAM (2015). Respecto a las concentraciones del contaminante (C_{suelo}), se tomó el valor del LCA obtenido de las muestras de los puntos de muestreo de identificación de suelo.

Para la tasa de ingestión de suelo y polvo (TI_{Ingesta}), se consideró 200 mg/día para el receptor niño y 100 mg/día para el receptor adulto, de acuerdo con los escenarios de exposición determinados en el modelo conceptual. En cuanto a la frecuencia de exposición (FrE), se fijó en 365 días/año, debido a que se asume una exposición anual de la población aledaña (residente). La duración de la exposición (DuE) se fijó para niños por 6 años y para adultos de 24 años.

El peso corporal (PC) considera los pesos de 12 kg para niños y 65 kg para adultos. Los datos de la duración de exposición y peso son usados en la práctica estándar para la evaluación de riesgos. Respecto al periodo de tiempo promedio de exposición (PTE_M), por ser el PCB un contaminante cancerígeno se consideró la esperanza de vida promedio según INEI, de 74,5 años.

Esta estimación muestra cómo estas sustancias tóxicas se transportan en el ambiente a partir de su fuente de emisión, y cómo una fracción de estos tóxicos podrían llegar a contactar o ingresar a algunos humanos. A partir de esta estimación de dosis de exposición, se llevó a cabo la discusión y evaluación de riesgos. A continuación, se detalla el cálculo de las dosis de exposición para cada una de las vías de exposición consideradas en el modelo conceptual del sitio:

Tabla 10 Cálculo de la dosis de exposición a suelo del almacén de Corimarca

Parámetro	Vías de Exposición		
	Ingestión (mg/kg/día)	Contacto Dérmico (mg/kg/día)	Inhalación (mg/m ³)
Dosis de Exposición (DE) Adulto cancerígeno	$8,9 \times 10^{-12}$	$8,6 \times 10^{-10}$	$3,7 \times 10^{-12}$
Dosis de Exposición (DE) Niño cancerígeno	$2,4 \times 10^{-11}$	$6,5 \times 10^{-10}$	$1,9 \times 10^{-12}$
Dosis de Exposición (DE) Adulto no cancerígeno	$2,8 \times 10^{-11}$	$4,5 \times 10^{-10}$	$1,2 \times 10^{-11}$
Dosis de Exposición (DE) Niño no cancerígeno	$3,0 \times 10^{-10}$	$1,4 \times 10^{-09}$	$2,3 \times 10^{-11}$

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de los datos de exposición considerados en el RBCA para la evaluación del riesgo por exposición a los PCB se adjunta en el anexo 9.

4.4.4 Caracterización del riesgo a la salud humana

De acuerdo con lo indicado por MINAM (2015), se ha calculado de forma diferenciada los riesgos de efectos cancerígenos y no cancerígenos en la población expuesta. Para ello, se consideró la información cuantitativa de la exposición y aquella derivada de la evaluación dosis-respuesta (Olmedo et al. 2016), siendo en este caso particular la información toxicológica relativa a los PCB.

3.3.4.1 Caracterización del riesgo cancerígeno

Para el cálculo del riesgo cancerígeno, se establece la probabilidad de que un individuo desarrolle cáncer a lo largo de su vida (CMAOT 2017). Para ello, se emplea la Dosis de Exposición (DE) y Factor de Pendiente de Cáncer (FPC), según lo establecido por el MINAM (2015). A continuación, se detallan los cálculos para la evaluación del riesgo carcinogénico:

➤ **Receptor: Residente adulto**

Para la exposición por ingestión, se calculó el Índice de Riesgo Individual (IR_{ij}) para PCB con efectos carcinogénicos por esta vía hacia el receptor humano (de acuerdo con lo descrito en el punto 3.5.2. Evaluación de la toxicidad); por lo tanto, corresponde el mismo valor para el Índice de Riesgo Integral por Vía (IR_j) de $1,78 \times 10^{-11}$. Este valor se encuentra por debajo del RECV de 1×10^{-5} , lo que indica un riesgo aceptable para esta vía de exposición.

Para la exposición por contacto dérmico, se calculó el Índice de Riesgo Individual (IR_{ij}) para PCB con efectos carcinogénicos por esta vía hacia el receptor humano (de acuerdo con lo descrito en el punto 3.5.2. Evaluación de la toxicidad); por lo tanto, corresponde el mismo valor para el Índice de Riesgo Integral por Vía (IR_j) de $1,72 \times 10^{-9}$.

Este valor se encuentra por debajo del RECV de 1×10^{-5} , lo que indica un riesgo aceptable para esta vía de exposición.

Sobre la exposición por inhalación de partículas, se calculó el Índice de Riesgo Individual (IR_{ij}) para PCB con efectos carcinogénicos por esta vía hacia el receptor humano (de acuerdo con lo descrito en el punto 3.5.2. Evaluación de la toxicidad); por lo tanto, el Índice de Riesgo Integral por Vía (IR_j) asciende a $2,10 \times 10^{-12}$. Este valor se encuentra por debajo del RECV de 1×10^{-5} , lo que indica un riesgo aceptable para esta vía de exposición.

El cálculo del Índice de Riesgo Total (IR_T) para el residente adulto es de $1,74 \times 10^{-9}$. Este valor se encuentra por debajo del RECV de 1×10^{-5} , lo cual indica un riesgo aceptable debido a la exposición al suelo adyacente al almacén de Corimarca.

El detalle de la evaluación de riesgo por exposición a los PCB para el residente adulto, calculada mediante RBCA, se adjunta en el anexo 10.

Tabla 11 Índice de riesgo (cancerígeno) por exposición a suelo – residente adulto

Vía	CP	Dosis de Exposición (DE)	Factor de Pendiente (FPC)	Índice de Riesgo (IR_{ij}) Individual	Índice de Riesgo Integral por Vía (IR_j)	Índice de Riesgo Total (IRT)
Ingestión	PCB	$8,9 \times 10^{-12}$	2,0	$1,78 \times 10^{-11}$	$1,78 \times 10^{-11}$	$1,74 \times 10^{-9}$
Contacto Dérmico	PCB	$8,6 \times 10^{-10}$	2,0	$1,72 \times 10^{-9}$	$1,72 \times 10^{-9}$	
Inhalación	PCB	$3,7 \times 10^{-12}$	$5,7 \times 10^{-4}$	$2,10 \times 10^{-12}$	$2,10 \times 10^{-12}$	
Riesgo Extra de Cáncer de por Vida (RECV)				$1,0 \times 10^{-5}$(*)		

CP: Contaminante de preocupación.

(*) Standard Guide for Risk-Based Corrective Action from ASTM Designation: E2081 – 00 (Reapproved 2015) y Guidelines for Carcinogen Risk Assessment; EPA/630/P-03/001F.

Fuente EPA (2005), ASTM (2015), MINAM (2015) y Peña et al. (2001).

Elaboración propia.

➤ **Receptor: Residente niño**

Para la exposición por ingestión, se calculó el Índice de Riesgo Individual (IR_{ij}) para PCB con efectos carcinogénicos por esta vía hacia el receptor humano (de acuerdo con lo descrito en el punto 3.5.2. Evaluación de la toxicidad); por lo tanto, corresponde el

mismo valor para el Índice de Riesgo Integral por Vía (IR_j) de $4,80 \times 10^{-11}$. Este valor se encuentra por debajo del RECV de 1×10^{-5} , lo que indica un riesgo aceptable para esta vía de exposición.

Para la exposición por contacto dérmico, se calculó el Índice de Riesgo Individual (IR_{ij}) para PCB con efectos carcinogénicos por esta vía hacia el receptor humano (de acuerdo con descrito en el punto 3.5.2. Evaluación de la toxicidad); por lo tanto, corresponde el mismo valor para el Índice de Riesgo Integral por Vía (IR_j) de $1,30 \times 10^{-9}$. Este valor se encuentra por debajo del RECV de 1×10^{-5} , indicando un riesgo aceptable por esta vía de exposición.

La exposición por inhalación de partículas, se calculó el Índice de Riesgo Individual (IR_{ij}) para PCB con efectos carcinogénicos por esta vía hacia el receptor humano (de acuerdo con lo descrito en el punto 3.5.2. Evaluación de la toxicidad); por lo tanto, el Índice de Riesgo Integral por Vía (IR_j) asciende a $1,10 \times 10^{-12}$. Este valor se encuentra por debajo del RECV de 1×10^{-5} , indicando un riesgo aceptable por esta vía de exposición.

El cálculo del Índice de Riesgo Total (IR_T) para el residente niño es de $1,3 \times 10^{-9}$. Este valor se encuentra por debajo del RECV de 1×10^{-5} , indicando un riesgo aceptable por exposición al suelo adyacente al almacén de Corimarca.

El detalle del cálculo en el RBCA de la evaluación del riesgo por exposición a los PCB (residente niño), se adjunta en el anexo 11.

Tabla 12 Índice de riesgo (cancerígeno) por exposición a suelo – residente niño

Vía	CP	Dosis de Exposición (DE)	Factor de Pendiente (FPC)	Índice de Riesgo (IR _{ij}) Individual	Índice de Riesgo Integral por Vía (IR _j)	Índice de Riesgo Total (IRT)
Ingestión	PCB	$2,4 \times 10^{-11}$	2.0	$4,80 \times 10^{-11}$	$4,80 \times 10^{-11}$	1,3x10 ⁻⁹
Contacto Dérmico	PCB	$6,5 \times 10^{-10}$	2.0	$1,30 \times 10^{-9}$	$1,30 \times 10^{-9}$	
Inhalación	PCB	$1,9 \times 10^{-12}$	$5,7 \times 10^{-4}$	$1,10 \times 10^{-12}$	$1,10 \times 10^{-12}$	
Riesgo Extra de Cáncer de por Vida (RECV)				1.0x10⁻⁰⁵ (*)		

CP: Contaminante de preocupación.

(*) Standard Guide for Risk-Based Corrective Action from ASTM Designation: E2081 – 00 (Reapproved 2015) y Guidelines for Carcinogen Risk Assessment; EPA/630/P-03/001F. Fuente EPA (2005), ASTM (2015), MINAM (2015) y Peña et al. (2001). Elaboración propia.

3.3.4.2 Caracterización del riesgo no cancerígeno

Para determinar el riesgo por exposición a sustancias no carcinógenas, se contrasta la dosis calculada con los valores toxicológicos de referencia (CMAOT 2017). En base a ello, se detalla el cálculo de la evaluación del riesgo no cancerígeno:

➤ **Receptor: Residente adulto**

Para la exposición por ingestión, se calculó el Índice de Peligrosidad Individual (IP_{ij}) para PCB. Dado que este no superó el Coeficiente de Peligrosidad de 1; en este sentido, el Índice de Peligrosidad Integral por Vía (IP_j) viene a ser el mismo valor obtenido de $1,40 \times 10^{-6}$. En consecuencia, se considera un riesgo aceptable para esta vía de exposición.

Para la exposición por contacto dérmico, se calculó el Índice de Peligrosidad Individual (IP_{ij}) para PCB. Dado que este no superó el valor del Coeficiente de Peligrosidad de 1; en este sentido el Índice de Peligrosidad Integral por Vía (IP_j) viene a ser el mismo valor obtenido de $2,25 \times 10^{-5}$. En consecuencia, se considera un riesgo aceptable para esta vía de exposición.

Sobre la exposición por inhalación de partículas, el cálculo del Índice de Peligrosidad Individual (IP_{ij}) para PCB, no superó el valor del Coeficiente de Peligrosidad de 1; en este sentido el Índice de Peligrosidad Integral por Vía (IP_j) viene a ser el mismo valor obtenido de $2,30 \times 10^{-8}$. En consecuencia, se tiene un riesgo aceptable por esta vía de exposición.

El cálculo del Peligrosidad Total (IP_T) para el residente adulto es de $2,4 \times 10^{-5}$, el cual no supera el valor establecido del Coeficiente de Peligrosidad de 1. Este resultado indica un riesgo aceptable por la exposición al suelo adyacente al almacén Corimarca.

El detalle del cálculo en el RBCA de la evaluación del riesgo por exposición a los PCB (residente adulto), se adjunta en el anexo 10.

Tabla 13 Índice de peligrosidad (no cancerígeno) por exposición a suelo – residente adulto

Vía	CP	Dosis de Exposición (DE)	Dosis de Referencia (DdR)	Índice de Peligrosidad Individual (IP _{ij})	Índice de Peligrosidad Integral por Vía (IP _j)	Índice de Peligrosidad Total (IPT)
Ingestión	PCB	2,8x10 ⁻¹¹	2,0x10 ⁻⁵	1,40x10 ⁻⁶	1,40x10 ⁻⁶	2,4x10 ⁻⁵
Contacto Dérmico	PCB	4,5x10 ⁻¹⁰	2,0x10 ⁻⁵	2,25x10 ⁻⁵	2,25x10 ⁻⁵	
Inhalación	PCB	1,2x10 ⁻¹¹	5,0x10 ⁻⁴	2,30x10 ⁻⁸	2,30x10 ⁻⁸	
Cociente de Peligrosidad				1 (*)		

CP: Contaminante de preocupación.

(*) Standard Guide for Risk-Based Corrective Action from ASTM Designation: E2081 – 00 (Reapproved 2015) y Guidelines for Carcinogen Risk Assessment; EPA/630/P-03/001F. Fuente EPA (2005), ASTM (2015), MINAM (2015) y Peña et al. (2001).

Elaboración propia.

➤ **Receptor: Residente niño**

Para la exposición por ingestión, se calculó el Índice de Peligrosidad Individual (IP_{ij}) para PCB, el cual no superó el valor del Coeficiente de Peligrosidad de 1; en este sentido el Índice de Peligrosidad Integral por Vía (IP_j) viene a ser el mismo valor obtenido de 1,50x10⁻⁵. En consecuencia, se considera un riesgo aceptable para esta vía de exposición.

Para la exposición por contacto dérmico, se calculó el Índice de Peligrosidad Individual (IP_{ij}) para PCB, el cual no superó el valor del Coeficiente de Peligrosidad de 1; en este sentido el Índice de Peligrosidad Integral por Vía (IP_j) viene a ser el mismo valor obtenido de 7,00x10⁻⁵. En consecuencia, se tiene un riesgo aceptable por esta vía de exposición.

Sobre la exposición por inhalación de partículas, el cálculo del Índice de Peligrosidad Individual (IP_{ij}) para PCB, no superó el valor del Coeficiente de Peligrosidad de 1; en este sentido el Índice de Peligrosidad Integral por Vía (IP_j) viene a ser el mismo valor obtenido de 4,70x10⁻⁸. En consecuencia, se considera un riesgo aceptable para esta vía de exposición.

El cálculo del Peligrosidad Total (IP_T) para el residente niño es de $8,5 \times 10^{-5}$, el cual no supera el valor establecido del Coeficiente de Peligrosidad de 1. Este resultado indica un riesgo aceptable por la exposición al suelo adyacente al almacén Corimarca.

El detalle del cálculo en el RBCA de la evaluación del riesgo por exposición a los PCB (residente niño), se adjunta en el anexo 11.

Tabla 14 Índice de peligrosidad (no cancerígeno) por exposición a suelo – residente niño

Vía	CP	Dosis de Exposición (DE)	Dosis de Referencia (DdR)	Índice de Peligrosidad Individual (IP _i)	Índice de Peligrosidad Integral por Vía (IP _j)	Índice de Peligrosidad Total (IPT)
Ingestión	PCB	$3,0 \times 10^{-10}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,50 \times 10^{-5}$	$1,50 \times 10^{-5}$	$8,5 \times 10^{-5}$
Contacto Dérmico	PCB	$1,4 \times 10^{-9}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$7,00 \times 10^{-5}$	$7,00 \times 10^{-5}$	
Inhalación	PCB	$2,3 \times 10^{-11}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$4,70 \times 10^{-8}$	$4,70 \times 10^{-8}$	
Cociente de Peligrosidad				1 (*)		

CP: Contaminante de preocupación.

(*) Standard Guide for Risk-Based Corrective Action from ASTM Designation: E2081 - 00 (Reapproved 2015) y Guidelines for Carcinogen Risk Assessment; EPA/630/P-03/001F.

Fuente EPA (2005), ASTM (2015), MINAM (2015) y Peña et al. (2001).

Elaboración propia.

Capítulo 5. Discusión

Este capítulo contiene el análisis de los resultados obtenidos para evaluar el nivel de riesgo al que está expuesta la población de Cachimayo, y los hallazgos se contrastan con la literatura científica revisada.

El centro poblado de Cachimayo, ubicado al sur y río abajo del almacén de Corimarca, desconoce mayoritariamente la actividad que se desarrolla en el área. Además, tanto los residentes como los representantes del puesto de salud y la municipalidad manifestaron carencia de información sobre los elementos almacenados. Asimismo, se evidenció una falta general de conocimiento sobre los riesgos asociados al manejo inadecuado de almacenes de materiales o residuos peligrosos, incluyendo el PCB y sus potenciales impactos en la salud y ambiente. Esta situación se enmarca con la definición de contaminación propuesta por Holdgate (1979), quien la describe como la introducción de sustancias al ambiente con efectos negativos, pero como señala Weinberg (2009), la contaminación ambiental por la liberación de sustancias químicas peligrosas, como el PCB, hace imperiosa la implementación de medidas efectivas para su manejo y control.

A pesar de esta falta de conocimiento, los pobladores identificaron como principales problemas ambientales la contaminación de los ríos por vertimientos y residuos generados por la actividad humana, así como la gestión inadecuada de residuos municipales. Esta percepción coincide con lo indicado por Gil Ramón (2020), quien resalta que diversos grupos sociales pueden tener perspectivas diferentes sobre qué significa riesgo y contaminación.

La investigación de la evolución del manejo del almacén de Corimarca mostró que el área verde que rodeaba a la casona de la antigua central de Corimarca, progresivamente se convirtió en un área de almacenamiento de existencias y residuos. Asimismo, el área no contaba desde un inicio con los acondicionamientos adecuados

para almacenar, controlar o evitar la liberación de sustancias contaminantes de las existencias, materiales y/o residuos, y principalmente los transformadores. De acuerdo con el MINAM (2017) y MINEM (2020), un área de almacenamiento de residuos y existencias peligrosas PCB, debe contar con un techo para la protección de la intemperie, pisos revestidos, impermeables y resistentes a la abrasión con pendiente suficiente para dirigir cualquier derrame hacia pozas de contención y recolección y un sistema de drenaje y confinamiento de fluidos en caso de fugas. Además, se exige que cuente con la señalización, ventilación, sistema contra incendios y planes de contingencia. Por consiguiente, lo encontrado en la investigación de la evolución del manejo del sitio se contrapone a lo dispuesto con relación a cómo debe acondicionarse un almacén de existencias, materiales y/o residuos.

También, la investigación sobre la evolución del manejo del sitio reveló que el ente supervisor OEFA (2017), durante una supervisión al almacén de Corimarca, solo atribuyó a la empresa eléctrica, administradora del sitio, el incumplimiento legal de la prohibición de almacenar residuos en terrenos abiertos y las condiciones mínimas de un almacén. OEFA entonces no pudo demandar específicamente el incumplimiento de la normativa sobre la gestión ambientalmente racional de PCB, a pesar de los hallazgos, donde destacan los riesgos asociados a aceites dieléctricos de los transformadores, que pueden contener PCB; y la disposición de transformadores en desuso en suelo natural y a la intemperie. Esto debido a que en ese momento no había normativa específica sobre la gestión de PCB. Por todo lo antes mencionado, podemos decir que se condice con lo indicado por Mendoza (2013) y Figueroa (2015) sobre los vacíos normativos en Perú. Los cuales eximían a los administrados de obligaciones específicas en la gestión de PCB, obstaculizando así el cumplimiento de los objetivos ambientales para este contaminante. Por ejemplo, permitían omitir la elaboración de inventarios de PCB y promovía que se exceptúen de responsabilidades a los propietarios en cuanto a su gestión ambiental, incluyendo el almacenamiento y la eliminación adecuada. Del mismo

modo, se coincide con lo mencionado por Mendoza (2013) sobre que no se cuenta con mecanismos que posibiliten la supervisión enfocada en el manejo y gestión de PCB y sus inventarios en Perú. No obstante, a mediados de 2021, el MINEM aprobó una normativa para la gestión de PCB para el sector eléctrico peruano.

Además, en la supervisión el OEFA (2017) se limitó a asignar medidas correctivas ante lo que consideró “hallazgos moderados”, respecto al almacén de la empresa eléctrica en Corimarca. En esa ocasión, OEFA no planteó un muestreo ambiental (e.g., muestreo de suelos, sedimentos y agua) durante la inspección, para corroborar si existía contaminación de suelos en el almacén o quebrada Huaynanica, al lado del almacén. OEFA (2017: 11) únicamente aludió a la existencia de “posibles riesgos de derrame que a su vez trae potencial daño sobre las propiedades del suelo, como la afectación en su textura, disminución de nutrientes, así como la pérdida en la cobertura vegetal existente, afectación en su crecimiento de la vegetación y regeneración”. OEFA (2017:11) también reportó que “podría causar un daño potencial en la calidad del cuerpo de agua”. Es así como la OEFA entonces solo menciona riesgos potenciales, pero no anuncia una inspección o medición para dimensionar o evaluar estos riesgos mediante algún muestreo o análisis ecosistémico o ambiental. Por todo lo mencionado, podemos relacionarlo con lo dicho por Gamarra (2019), que indica la importancia de contar con mecanismos normativos que ayuden a los administrados a cumplir eficientemente los mandatos requeridos de una norma. Sin embargo, aunque existió la supervisión ambiental, ésta no tenía mecanismos adecuados para garantizar la protección del ambiente y salud humana. Beck (2002) enfatiza que las sociedades industriales enfrentan riesgos crecientes que las instituciones no pueden controlar. Esto se habría reflejado en la supervisión del OEFA en el almacén de Corimarca, dado que la imputación no contemplaba un análisis muestral ambiental en el almacén o en la zona, para verificar si hubiese derrames y posibles impactos en los seres vivos. De igual manera, Gil Ramón (2020), basado en investigación de contaminación minera, sostiene

que la percepción de riesgo de contaminación puede reflejar diferentes percepciones, dependiendo de cada actor social; lo cual evidencia que la supervisión realizada por OEFA fue bastante limitada.

Asimismo, las visitas y la entrevista al funcionario encargado de la gestión ambiental de la empresa Electro Sur Este S.A.A. revelaron la narrativa de la empresa sobre el manejo del almacén de Corimarca después de la supervisión del OEFA, donde el funcionario indicó que cumplieron con las medidas correctivas dispuestas por la OEFA. Además, se observó en la visita del 2021 y 2023 que ya no había transformadores, existencias y residuos mal almacenados en Corimarca. Asimismo, tras la vigencia de normativa para la gestión de PCB; Electro Sur Este S.A.A. indicó que están elaborando su Plan de Gestión Ambiental de PCB para cumplir con los compromisos para el manejo adecuado de PCB. Por otro lado, en la entrevista se identificó que, si bien aplican lo dispuesto en su Plan de Gestión Ambiental de PCB y tienen estudios ambientales e instrumentos de gestión ambiental aprobados. El almacén de Corimarca no cuenta con su informe de identificación de sitios contaminados según lo indicado en la entrevista, esto a pesar de los antecedentes antes identificados en la investigación de la evolución del manejo del almacén. Por lo tanto, de acuerdo con Jaksic y Ojeda (1993) sobre mecanismos y herramientas legales, como los estándares de calidad ambiental, que buscan controlar, resguardar, y prevenir la incidencia de cambios o impactos en nuestros ecosistemas, para proteger la salud de los seres vivos; no fueron verificados mediante este instrumento de gestión ambiental llamado informe de identificación de sitios contaminados en el almacén de Corimarca.

Los resultados de análisis del muestreo de reconocimiento de suelos determinaron que las concentraciones de PCB se encuentran por encima del límite de cuantificación analítico, pero no sobre el ECA para suelo (D.S. N° 011-2017-MINAM) de uso industrial de 33 mg/kg, ni agrícola de 0.5 mg/kg. Los resultados de análisis de los muestreos de reconocimiento de sedimentos realizados en noviembre de 2021 y octubre

de 2024 indican que las concentraciones de PCB se encuentran por debajo del límite de cuantificación analítico; igualmente, al no contar con ECA para sedimentos de acuerdo con la normativa nacional, se comparó los resultados con los valores referenciales de las Pautas Canadienses de Calidad Ambiental (CSQG) de Canadá, donde tampoco se registraron excedencias. Asimismo, es importante mencionar que los análisis realizados en los puntos de muestreo de reconocimiento de sedimentos SD-1 y SD-2 en los años evaluados, 2021 y 2024, no evidencian concentraciones superiores al límite de cuantificación; lo cual sugiere que no ha habido un aumento significativo en la concentración de PCB en el sitio de muestreo en ese periodo.

Considerando la investigación de la evolución del manejo del almacén y el muestreo y análisis de reconocimiento de suelos y sedimentos en áreas aledañas al almacén de Corimarca, cabe destacar que, si bien no se registraron concentraciones de PCB que superaran el ECA para suelo tanto para uso agrícola como industrial, se observaron valores que superan el límite de cuantificación analítico. Esto sugiere la posible presencia de este parámetro en el suelo, lo cual coincide con lo señalado por la ATSDR (2000) sobre cómo los PCB pueden ser liberados al ambiente desde sitios no diseñados para contenerlos. Por ello, podemos decir que de acuerdo con el MINAM (2014) el área del almacén de Corimarca es un API ya que existen indicios potenciales de contaminación del suelo en base a la información recopilada y evidencias del sitio.

Tras identificar al almacén de Corimarca como un API, MINAM (2014 y 2021) describe que un API es una extensión de terreno donde se realiza el muestreo de identificación para comprobar si existe o no contaminación del suelo en el sitio. Por lo tanto, se realizó un muestreo de identificación dentro del almacén de Corimarca, donde las muestras MI-SU-1, MI-SU-2, MI-SU-3 y MI-SU-4 tomadas a una profundidad de 10 cm, tienen concentraciones de PCB por debajo del límite de cuantificación del laboratorio ($<0,0001073$ mg/kg); y, por consiguiente, también se encuentran debajo del ECA para suelo Industrial de 33 mg/kg. Igualmente, las muestras MI-SU-1, MI-SU-2, MI-

SU-3 y MI-SU-4 obtenidas a una profundidad de 30 cm, también presentaron resultados ($<0,0001073$ mg/kg) por debajo del límite de cuantificación del laboratorio y también del ECA para suelo Industrial de 33 mg/kg. Considerando lo mencionado por Martín y Mekel (2014), Rodríguez y Espinoza (2002), y MINAM (2019) sobre que los estándares son una guía que establece la concentración máxima aceptable de un agente químico en un medio que no representa un riesgo significativo a la salud o al ambiente; los resultados de los análisis del muestreo de identificación no representan riesgo a la salud humana ni al ambiente; y, por lo tanto, el almacén es considerado un sitio no contaminado.

Asimismo, de acuerdo con Grimm et al. (2015) es necesario conocer los posibles efectos a las poblaciones cercanas a reservorios de PCB. Respecto al centro poblado de Cachimayo, este se encuentra al sur, río abajo del almacén de Corimarca y es el centro poblado más cercano al almacén. Por lo tanto, sin perjuicio de que los resultados del muestreo de identificación determinaron que las concentraciones de PCB estuvieran debajo de los límites de cuantificación del método del laboratorio y los ECA para suelo; se procedió a esquematizar el modelo conceptual del sitio bajo un escenario conservador; el cual, de acuerdo con el MINAM (2014), muestra la relación de la fuente de contaminación hacia los potenciales receptores del sitio. Por consiguiente, el modelo conceptual define al almacén de Corimarca como fuente potencial de contaminación; como foco potencial al PCB en suelo. Asimismo, se ha considerado como mecanismo de transporte al escurrimiento superficial del área de estudio producto de las precipitaciones que se dan, así como la dispersión eólica; pudiendo así llegar al receptor humano o residente adulto y niño del centro poblado de Cachimayo mediante las vías de ingesta, contacto dérmico e ingestión.

Siguiendo con la estimación de nivel de riesgo por exposición por PCB del centro poblado de Cachimayo. En la determinación del problema se identificó al PCB como el contaminante de preocupación. Los PCB fueron extensamente utilizados en una variedad de aplicaciones industriales y de consumo, principalmente fluidos dieléctricos

de transformadores y condensadores eléctricos (Lopera y Aguirre 2006). Sin embargo, se prohibió a nivel mundial su producción y uso al comprobar que ocasionaban problemas ambientales y sanitarios (Klocke et al. 2020); y mediante el convenio de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes se fijó el objetivo de reducir y eliminar su liberación, para proteger la salud humana y ambiente (SCE 2020; Varsavsky y Fernández 2021). Igualmente, los PCB fueron considerados como contaminantes de preocupación ya que al estar en el ambiente pueden trasladarse largas distancias, llegando hasta reservorios, como sedimentos de ríos y aguas litorales, para acumularse en pequeños organismos. Además, a medida que avanzan en la cadena trófica, esta acumulación se biomagnifica (Beyer y Biziuk 2009). La exposición a los PCB afecta la salud humana, causando alteraciones en el sistema inmunológico, reproductivo y endocrino, así como efectos dermatológicos, enfermedades del hígado, e incremento de riesgo de cáncer (Longnecker et al. 1997), además de efectos sobre el sistema nervioso y deficiencias en el neurodesarrollo fetal (Miller 2009). No obstante, teniendo en cuenta que bajo un escenario conservador y donde aquellas sustancias presenten características carcinogénicas, bioacumulación, persistencia, entre otras características, se deberá considerar como un contaminante de preocupación. Por lo tanto, se consideró a los PCB como contaminante de preocupación en la evaluación de riesgos, sin perjuicio de presentar valores por debajo del LCA = <0,0001073.

Los PCB dentro del organismo pueden acumularse principalmente en el tejido adiposo y biomagnificarse a lo largo de la cadena alimenticia, llegando hasta los humanos por la alimentación y otras vías como la dérmica e inhalación (Faroon et al. 2003 y Zaranko et al. 2009). Según Miller et al. (2009), los PCB al estar en el organismo afectan la función de los sistemas endocrino, inmunológico y nervioso. Además, estudios epidemiológicos indican la carcinogenicidad de los PCB en humanos (Lauby-Secretan et al. 2013) y según la IARC (2019) los PCB cuentan con la clasificación 1-A por ser una sustancia cancerígena en humanos ya que hay suficiente evidencia

científica de la relación causal entre exposición a la sustancia y cáncer en humanos, o la evidencia en animales apoyada por pruebas sólidas en humanos. Por esta razón, en la evaluación de la toxicidad del contaminante de preocupación PCB a los cuales el receptor humano (adulto y niño del centro poblado Cachimayo) que puede estar expuesto identificó valores que miden la peligrosidad mediante la correspondencia entre la cantidad del tóxico y la magnitud del efecto o dosis respuesta para cada una de las vías a evaluar; ya sea por ingestión (DdR_{ING} de 0,00002 mg/kg/día), contacto dérmico (DdR_{DER} de 0,00002 mg/kg/día) e inhalación (DdR_{INH} de 0,0005 mg/m³). Asimismo, para las sustancias cancerígenas se utiliza el Factor de Pendiente de Cáncer para las vías de exposición por contacto dérmico e ingestión oral de 2 y el Factor de Riesgo por inhalación de 0,00057 (EPA 2016, IARC 2019 y GSI Environmental Inc. 2007).

Feinberg et al. (2011) menciona que los modos y vías de exposición de los PCB pueden ser por ingestión, inhalación y absorción cutánea. Por consiguiente, se evaluó la exposición al contaminante PCB con los valores más conservadores propuestos en la Guía ERSA del MINAM (2015) para calcular niveles de riesgo para efectos cancerígenos y no cancerígenos con la finalidad de determinar la dosis o cantidad de PCB que podría asimilar un receptor adulto y niño del centro poblado de Cachimayo por contacto con la matriz suelo potencialmente contaminada y por sus vías de exposición correspondientes (MINAM 2015). Como resultado, las dosis de exposición cancerígeno para receptor adulto por la vía de ingestión fueron de $8,9 \times 10^{-12}$ mg/kg/día, contacto dérmico de $8,6 \times 10^{-10}$ mg/kg/día e inhalación de $3,7 \times 10^{-12}$ mg/m³. Para el receptor niño, la dosis de exposición cancerígeno por la vía de ingestión fue de $2,4 \times 10^{-11}$ mg/kg/día, contacto dérmico de $6,5 \times 10^{-10}$ mg/kg/día e inhalación de $1,9 \times 10^{-12}$ mg/m³. Respecto a las dosis de exposición no cancerígeno para el receptor adulto por la vía de ingestión fue de $2,8 \times 10^{-11}$ mg/kg/día, contacto dérmico de $4,5 \times 10^{-10}$ mg/kg/día e inhalación de $1,2 \times 10^{-11}$ mg/m³. Además, para el receptor niño las dosis de exposición no cancerígeno

por la vía de ingestión fue de $3,0 \times 10^{-10}$ mg/kg/día, contacto dérmico de $1,4 \times 10^{-9}$ mg/kg/día e inhalación de $2,3 \times 10^{-11}$ mg/m³.

Como último paso, el cálculo del índice de riesgo total (IR_T) no cancerígeno para el receptor residente adulto de Cachimayo fue de $1,74 \times 10^{-9}$ y para el receptor residente niño de Cachimayo fue de $1,3 \times 10^{-9}$. De acuerdo con la EPA (2005) y ASTM (2015) el límite superior de la probabilidad de que una persona contraiga cáncer durante su vida entera es de 1×10^{-5} . En consecuencia, para estudios de evaluación de riesgos con valores $\leq 1 \times 10^{-5}$ son considerados como aceptables; y si tiene un valor de 1×10^{-6} este riesgo de cáncer es considerado demasiado pequeños para ser de preocupación o son sin significado biológico ni estadístico. Por lo tanto, los resultados del cálculo de IR_T para los residentes adulto y niño de Cachimayo mostraron que hay un riesgo muy pequeño por exposición al suelo adyacente al Almacén Corimarca. Respecto al cálculo de peligrosidad total (IP_T) no cancerígeno para el receptor residente adulto de Cachimayo fue de $2,4 \times 10^{-5}$ y para el receptor residente niño de Cachimayo fue de $8,5 \times 10^{-5}$. Según EPA (2005) y ASTM (2015), si el coeficiente de 1 no es superado representa un riesgo aceptable, pero si se supera, deberá tratarse por ser un exposición elevada y riesgosa. Por ende, los resultados del cálculo de IPT para el residente adulto y niño de Cachimayo no superan el valor de 1 establecido como coeficiente de peligrosidad. Según a estos cálculos, el riesgo es aceptable por la exposición al suelo adyacente al almacén Corimarca.

Asimismo, es crucial considerar que estos resultados se basan en los datos y modelos actualmente disponibles. Se recomiendan estudios adicionales para confirmar estas conclusiones y evaluar efectos a largo plazo.

Conclusiones

La caracterización socioambiental del centro poblado de Cachimayo mostró que la población no conocía sobre la actividad y materiales almacenados en el área adyacente a la antigua central de Corimarca. Este desconocimiento se extiende a los riesgos asociados al manejo inadecuado de existencias y residuos y a la exposición a PCB. A pesar de esta falta de conocimiento, los pobladores han identificado otros problemas ambientales que reflejan la diversidad de perspectivas sobre el riesgo y la contaminación, dependiendo del actor social.

La investigación de la evolución del manejo del almacén de Corimarca reveló su progresiva transformación en un área de almacenamiento de existencias y residuos. En sus inicios, este espacio carecía de las infraestructuras adecuadas para el almacenamiento, control y prevención de la liberación de sustancias contaminantes, como los PCB, presentes en existencias, materiales, residuos y, especialmente, transformadores. Asimismo, la investigación de la evolución del manejo del sitio mostró que la supervisión del almacén de Corimarca por parte del OEFA en el 2016 fue limitada. Esto debido a la falta de legislación específica sobre la gestión de PCB en ese momento, para asegurar la protección de la salud ambiental ante ese contaminante. Además, OEFA no realizó un análisis muestral ambiental de la zona, a pesar de haber identificado falta de protección del suelo y un manejo inadecuado de los residuos que potencialmente podrían generar riesgos de contaminación al suelo y al cuerpo de agua cercano al almacén.

La empresa Electro Sur Este S.A.A sostiene que cumplió con las medidas correctivas establecidas por OEFA posteriormente a la supervisión. Estas medidas incluían el acondicionamiento y retiro de los transformadores. En las visitas realizadas in situ, no se visualizaron transformadores, existencias y residuos mal gestionados. Según lo indicado en la entrevista y lo apreciado en el lugar, el almacén de Corimarca se encontró acondicionado como un almacén temporal de materiales. No obstante, la

empresa no verificó si el almacén de Corimarca es o no un sitio contaminado a pesar de sus antecedentes.

Los resultados del análisis del muestreo de reconocimiento de suelos realizado en áreas aledañas al almacén de Corimarca mostraron que las concentraciones de PCB se encuentran por encima del límite de cuantificación analítico, pero no sobre el Estándar de Calidad Ambiental para suelo. En los muestreos de reconocimiento de sedimentos realizados en la quebrada Huaynanica, adyacente al almacén de Corimarca, en 2021 y 2024, no se obtuvieron concentraciones de PCB cuantificables. Consecuentemente, las concentraciones de PCB en estas muestras se encuentran por debajo de los valores de referencia establecidos en las Pautas Canadienses de Calidad Ambiental para sedimentos.

Considerando los resultados del análisis de suelo en las áreas aledañas al almacén de Corimarca, aunque no superan los estándares ambientales para PCB, indican niveles superiores al límite de cuantificación analítico. Esta evidencia, sumada a la investigación de la evolución sobre el manejo del almacén, sugiere que el sitio podría presentar un potencial riesgo de contaminación por PCB. Por ello, el almacén de Corimarca se establece como un área de interés potencial, con base en la información y las evidencias recabadas del sitio.

El almacén de Corimarca fue identificado como un área de potencial interés, por lo que se realizó un muestreo de identificación de suelos para determinar la presencia de PCB. Los resultados del análisis revelaron que las concentraciones de PCB fueron de $<0,0001073$ mg/kg, lo que se encuentra por debajo del límite de cuantificación analítico y del Estándar de Calidad Ambiental para Suelo.

Conforme al modelo conceptual del sitio, se definió al almacén de Corimarca como una fuente potencial de contaminación donde antiguamente se almacenaban transformadores con PCB. Tomando un enfoque conservador, se ha identificado a los

PCB como una sustancia de interés en el suelo o foco potencial, incluso cuando los resultados analíticos del muestreo de identificación estuvieron por debajo del límite de cuantificación. Asimismo, se ha considerado como mecanismo de transporte al escurrimiento superficial del área de estudio producto de las precipitaciones que se dan, así como la dispersión eólica; pudiendo así llegar al receptor humano residente adulto y niño del centro poblado de Cachimayo por medio de las vías de ingesta, contacto dérmico e ingestión.

Respecto a la evaluación del riesgo para el escenario humano, se adoptó un enfoque conservador al asumir la presencia de PCB en el suelo. Esto se hizo a pesar de que los resultados del muestreo de identificación reportaron valores por debajo del límite de cuantificación del método del laboratorio de $<0,0001073$ mg/kg. Dicho límite fue establecido como la concentración máxima de preocupación para este contaminante en el suelo. Por lo tanto, la dosis de exposición cancerígeno y no cancerígeno por vía de ingesta, contacto dérmico e inhalación para adultos y niños multiplicada por los factores de pendiente de cáncer y las dosis de referencia para cada una de las vías de exposición, permitió determinar el riesgo por exposición a los PCB (índice de riesgo y peligrosidad total para adultos y niños).

Comparando los resultados obtenidos (índice de riesgo y peligrosidad total para adultos y niños) con los límites superiores de probabilidad de contraer cáncer y coeficiente de peligrosidad establecidos por la EPA y ASTM, se concluyó en lo siguiente: tanto para adultos como para niños, se encuentran significativamente por debajo del coeficiente de peligrosidad establecido para efectos no cancerígenos o tóxicos. Esto indica que la exposición a los PCB en las condiciones evaluadas no representa un riesgo considerable para la salud de la población en términos de efectos tóxicos. Asimismo, se observa que el índice de riesgo de desarrollar cáncer asociado al límite superior de probabilidad por exposición a PCB es muy bajo. Esto significa que la cantidad de agentes cancerígenos como el PCB a la que está expuesta la población de Cachimayo

es mínima como para ser considerada preocupante para su salud. Basándose en los datos disponibles, es poco probable que la exposición a los agentes tóxicos identificados genere efectos adversos para la salud de la población.



Bibliografía

ALBERT, Lilia

2002 *Curso básico de toxicología ambiental*. México, D.F.: Limusa.

ALLOWAY Brian y David AYRES

1997 *Chemical principles of environmental pollution*. Segunda edición. Londres:
Blackie Academic and Professional.

ANAYA, Carlos.

2015 *Características de las zonas altoandinas del Perú*. Congreso de la República,
Área de Servicios de Investigación: Lima.

[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/28562E72A7D29A9205258052005DCB21/\\$FILE/79_INFTEM154_2014_2015_ASI_DIDP_CR_altoandinas.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/28562E72A7D29A9205258052005DCB21/$FILE/79_INFTEM154_2014_2015_ASI_DIDP_CR_altoandinas.pdf)

ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales)

2015 *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action. Designation E2081-2015*.

West Conshohocken: ASTM.

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/90897/1461ab691d0041f2892efc39a88da696/ASTM-E2081-00-2015-.pdf>

ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades)

2014 *Case Studies in Environmental Medicine Polychlorinated Biphenyls (PCB)*

Toxicity. Atlanta. Agency for Toxic Substances and Disease Registry

<https://friedmanrubin.com/wp-content/uploads/2018/01/2014-ATSDR-Case-Studies-in-Enviro-Med-PCB-Toxicity.pdf>

ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades)

2000 *Resumen de salud pública bifenilos policlorados*. Atlanta:
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs17.pdf

BARRA Ricardo, Juan COLOMBO, Nadia GAMBOA, Gabriela EGUREN, y Wilson JARDIM
2002 *Regionally based assessment of persistent toxic substances: Eastern and Western South America Regional Report, Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Ecuador, Paraguay, Peru, Uruguay*. Geneva: United Nation Environment Program, Chemicals, UNEP-GEF. <https://digitalibrary.un.org/record/487296?ln=es>

BECK Ulrick

2002 *La sociedad del riesgo*. Barcelona: Paidós.

BEYER Angelika y Marek BIZIUK

2009 “Environmental Fate and Global Distribution of Polychlorinated Biphenyls”.
Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Vol 201, pp.137-158.
https://www.researchgate.net/profile/Marek-Biziuk/publication/26255431_Environmental_Fate_and_Global_Distribution_of_Polychlorinated_Biphenyls/links/546f23100cf24af340bf512c/Environmental-Fate-and-Global-Distribution-of-Polychlorinated-Biphenyls.pdf

BREIVIK Knut, Andy SWEETMAN, Jozef PACYNA y Kevin JONES

2002 “Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners — a mass balance approach: 2. Emissions”. *Science of the Total Environment*. Vol 290, pp. 199-224.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969701010762>

CAREY, Francis

2021 "Polychlorinated Biphenyl". *Encyclopedia Britannica*.

<https://www.britannica.com/science/polychlorinated-biphenyl>

CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment)

2001 CASRN: 1336-36-3. Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs)

Polychlorinated biphenyls. Winnipeg.

https://ccme.ca/en/chemical/173#_sediment_fresh_date

CONAM (Consejo Nacional del Ambiente), DIGESA (Dirección General De Salud Ambiental) y SENASA (Servicio Nacional de Sanidad Agraria)

2006 *Inventario Nacional de Bifenilos Policlorados*. Lima.

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/inventario-nacional-bifenilos-policlorados-2006>

CMAOT (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, de la Junta de Andalucía)

2017 *Guía de evaluación de riesgos para salud humana en suelos potencialmente contaminados. Capítulo IV del Decreto 18/2015*.

DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental)

2017 *Guía para el manejo ambientalmente racional de existencias y residuos con PCB*. Lima: DIGESA. <http://www.digesa.minsa.gob.pe/DCOVI/GUIA-PCB.pdf>

EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria)

1997 *Glosario de términos*. Parma: Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).

[https://www.efsa.europa.eu/es/glossary-taxonomy-terms/i#:~:text=La%20ingesta%20diaria%20tolerable%20\(IDT,un%20riesgo%20sobre%20la%20salud](https://www.efsa.europa.eu/es/glossary-taxonomy-terms/i#:~:text=La%20ingesta%20diaria%20tolerable%20(IDT,un%20riesgo%20sobre%20la%20salud)

Electro Sur Este

2022 *Electro Sur Este 40 años al servicio de la Región Sur Este del Perú. Cusco.*

<https://www.else.com.pe/else/nosotros/historia/>

ERICKSON, Mitchell y Robert KALEY

2010 “Applications of polychlorinated biphenyls” *Environmental Science and Pollution Research*. Vol 18, Pp. 135–15.

<https://doi.org/10.1007/s11356-010-0392-1>

EPA (Environmental Protection Agency)

2022 *EPA Glossary of Terms*. Washington D. C: United States Environmental Protection Agency.

https://search.epa.gov/epasearch/?querytext=background+level&areaname=&reacontacts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result_template=#/

EPA (Environmental Protection Agency)

2016 Polychlorinated biphenyls Cancer Slope Factors. Integrated Risk Information System Washington D. C.: EPA.

<https://www3.epa.gov/hudson/tables.htm>

EPA (Environmental Protection Agency)

2007 Method 8082A. Washington D.C.: EPA.

<https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/8082a.pdf>

EPA (Environmental Protection Agency)

2005 *Guidelines for carcinogen risk assessment* EPA/630/P-03/001F. Washington, DC: EPA.

https://www.epa.gov/sites/default/files/2013-09/documents/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf

FAROON Obaid, y Patricia RUIZ.

2016 "Polychlorinated biphenyls: New evidence from the last decade." *Toxicology and industrial health*. Vol 32, pp. 1825-1847.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4383295/#S19title>

FAROON Obaid, Samuel KEITH, Cassandra SMITH, Christopher DE ROSA.

2003 *Polychlorinated Biphenyls: Human Health Aspects*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Geneva: World Health Organization.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42640/9241530553.pdf>

FEINBERG Max, Lydie SOLER, Sandrine CONTENOT y Philippe VERGER

2011 "Assessment of seasonality in exposure to dioxins, furans and dioxin-like PCBs by using long-term food-consumption data". *Food Additives and Contaminants*. Vol 28, pp. 502-512.

https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00680018/file/PEER_stage2_10.1080%252F19440049.2011.553844.pdf

FIGUEROA MENDOZA, María de Jesús

2015 *Plan estratégico para la empresa Minpetel de su línea de negocio de comercialización del Kit Clor-N-Oil 50® utilizado para el descarte del contaminante PCB, Perú 2015 – 2020*. Tesis de titulación en Ingeniería

Comercial. Arequipa: Universidad Católica de Santa María, Facultad de Ciencias Económico Administrativas.

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b293a5aa-770f-4706-a64b-560342114679/content>

GAMARRA ABARCA, Sebastián

2019 “De la indulgencia a la condena: la responsive regulación en el régimen de fiscalización ambiental en Perú”. *THEMIS: Revista de Derecho*. Vol. 74, pp. 107-125.

<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/themis/article/view/21236>

GANNON Travis, Adam HIXSON, Kyle KELLER, Jerome WEBER, Stevan KNEZEVIC y Fred YELVERTON.

2014 “Soil properties influence saflufenacil phytotoxicity”. *Weed Science*, Vol 62, pp.657-663.<https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/abs/soil-properties-influence-saflufenacil-phytotoxicity/A624DF75D5EE7B7054CC7410AFA95A91>

GECOP

2018 ¿Qué es el PCB o bifenilos policlorados?. <https://www.gecop.cl/que-es-el-pcb/>

GIL RAMÓN, Vladimir R.

2020 *Fighting for Andean Resources: Extractive Industries, Cultural Politics, and Environmental Struggles in Peru*. Tucson, AZ: The University of Arizona Press.

GRIMM Fabian, Dingfei HU, Izabela KANIA-KORWEL, Hans LEHMLER, Gabriele LUDEWIG, Keri HORNBUCKLE, Michael DUDEL, Ake BERGMAN y Larry ROBERTSON.

2015 "Metabolism and Metabolites of Polychlorinated Biphenyls". *Critical Reviews in Toxicology*. Vol. 45, pp. 245-272.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4383295/#S19title>

GSI Environmental Inc

2007 *RBCA Tool Kit* [programa informático]. Versión: 2.6

HEILMANN Carsten, Philippe GRANDJEAN, Pál WEIHE, Flemming NIELSEN y Esben BUDTZ-JORGENSEN

2006 "Reduced Antibody Responses to Vaccinations in Children Exposed to Polychlorinated Biphenyls". *PLOS Medicine*. Vol. 3 (8), pp.1352-59.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1551916/>

HOLDGATE Martin

1979 *A Perspective of Environmental Pollution*. Londres: Cambridge University Press.

IARC (International. Agency for Research on Cancer)

2019 *IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans*

Lyon: IARC https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/QA_ENG.pdf

INC (Instituto Nacional de Cultura)

2010 R.D. N°2064/INC Declaran bien inmueble integrante del patrimonio cultural de la Nación a la Hidroeléctrica de Corimarca, ubicada en el departamento de Cusco.
Lima, 9 de octubre.

[https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/AsesJuridica/JURIDICA.NSF/vf06web/4DC E3D39043E9A6B052577B900523453/\\$FILE/20101009.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/AsesJuridica/JURIDICA.NSF/vf06web/4DC E3D39043E9A6B052577B900523453/$FILE/20101009.pdf)

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática)

2021 *Perú tiene una población de 32 millones 131 mil 400 habitantes al 30 de junio del presente año.* Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
[https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/peru-tiene-una-poblacion-de-32-millones-131-mil-400-habitantes-al-30-de-junio-del-presente-ano-11659/#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20peruana%20del%20quinquenio,ombres%20\(73%2C7a%C3%B1os\).](https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/peru-tiene-una-poblacion-de-32-millones-131-mil-400-habitantes-al-30-de-junio-del-presente-ano-11659/#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20peruana%20del%20quinquenio,ombres%20(73%2C7a%C3%B1os).)

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática)

2017 *Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017, Cusco, XII Censo de Población, VII de Vivienda, III de Poblaciones Indígenas.* Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1559/

INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico).

2022 *Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca.* Boletín 6.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/187#files>

JAKSIC Fabián y Patricio OJEDA

- 1993 “Estándares secundarios de calidad ambiental”. Medio Ambiente en Desarrollo. Santiago de Chile: Centro de Estudios Públicos, pp. 390 - 423.
[https://www.cepchile.cl/cep/site/artic/20160304/asocfile/20160304093947/21_c
ap5jaksic_libromambiente.pdf](https://www.cepchile.cl/cep/site/artic/20160304/asocfile/20160304093947/21_c
ap5jaksic_libromambiente.pdf)

JENSEN Soren

- 1966 “Report of a New Chemical Hazard”. *New Scientist*. London, Vol 1192, pp. 612.
<https://exhibits.lib.unc.edu/exhibits/show/we-birthed/item/7436>

KLOCKE Caroly, SETHI Sunjay y LEIN Pamela

- 2020 “The developmental neurotoxicity of legacy vs. contemporary polychlorinated biphenyls (PCBs) similarities and differences”. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol 27, pp. 8885-8896.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7220795/>

KOCAN Anton, Jan PETRIK, Stanislav JURSA, Jana CHOVANCOVA y Beata DROBNA

- 2001 “Environmental contamination with polychlorinated biphenyls in the area of their former manufacture in Slovakia”. *Chemosphere*, Vol 43, pp. 595-600.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653500004112>

LAUBY-SECRETAN Béatrice, Dana LOOMIS, Yann GROSSE, Fatiha EL GHISSASSI, Véronique BOUVARD, Lamia BENBRAHIM-TALLAA, Neela GUHA, Robert BAAN, Heidi MATTOCK y Kurt STRAIF

- 2013 “Carcinogenicity of polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls”. *Lancet Oncology*, Vol. 4, pp. 287-288.

https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Carcinogenicity+of+polychlorinated+biphenyls+and+polybrominated+biphenyls&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar

LONGNECKER, Matthew, Walter ROGAN, y George LUCIER

1997 "The Human Health Effects of DDT (Dichlorodiphenyltrichloroethane) and PCBs (Polychlorinated Biphenyls) and an Overview of Organochlorines in Public Health". *Annual Review of Public Health*. Vol. 18, pp. 211-244.

<https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.publhealth.18.1.211>

LOPERA, Eliana y Jaime AGUIRRE

2006 "Purificación de aceites aislantes contaminados con bifenilos policlorados (PCB)". Medellín: Vol. 73, número 150, pp. 75-88.

<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v73n150/a07v73n150.pdf>

LUDEÑA Wiley

2008 "Patrimonio industrial en el Perú del siglo XX: ¿exotismo cultural o memoria sin memoria?". *Apuntes: Revista de estudios sobre patrimonio cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*. Vol. 21, pp. 92-113.

<http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v21n1/v21n1a07.pdf>

MARTÍNEZ, Karel

2014 *Policlorodibenzo-p-dioxinas, policlorodibenzofuranos (PCDD/Fs) y bifenilos policlorados (dl-PCBs) en la gestión de residuos y el medio ambiente*. Tesis doctoral en Química Analítica del Medio Ambiente. Barcelona: Universidad de Barcelona, Facultad de Química.

<https://www.tesisenred.net/handle/10803/132001#page=1>

MENDOZA, Mario

2013 *Estrategia para la gestión ambientalmente racional de Bifenilos Policlorados (PCB) en el Perú, consideraciones ambientales y tecnológicas*. Tesis de Maestría en Desarrollo Ambiental. Lima: PUCP, Escuela de Posgrado.
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5454/MENDOZA_ZEGARRA_MARIO ESTRATEGIA_GESTION.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MIGLIORANZA, Karina, Mariana GONZALEZ, Marcela GERPE, Julia AIZPUN y Víctor MORENO

2006 “Distribución espacial de bifenilos policlorados (PCB) en sedimentos superficiales de arroyos del sudeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina”. En *Salud Ambiental y Humana, Una visión holística*. Buenos Aires: Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/113633>

MILLER, Carolina, Eduardo SÁNCHEZ, Mucio RAMÍREZ, José MENDOZA y Martha LEÓN

2009 “Los contaminantes ambientales Bifenilos Policlorados (PCB) y sus efectos sobre el Sistema Nervioso y la salud”. *Salud Mental*. Vol. 32, número 4, pp. 335-346.
<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33252009000400009>

MINAM (Ministerio del Ambiente)

2021 *Guía para la Evaluación de Sitios Contaminados y la elaboración de Planes dirigidos a la Remediación*. Lima: MINAM.

MINAM (Ministerio del Ambiente)

2021 “Mesa de Trabajo II Gestión Ambiental de Bifenilos Policlorados (PCB)” [video]. Lima: 11 de marzo.

https://undp.zoom.us/rec/play/ZC8fnbqa_GpuPYf9mKMIWvRbG9Qzvax7fPB1QqGKX8r5WzY7fBay-exXrNH2bwWNngoUoTQ6P_rLY5CW.37_ZIbFf3-9EpA0t?startTime=1615471222000&_x_zm_rtaid=r0aN0eIVS96T3-mr4Y9FAQ.1618928038316.cbf3409ba4c94435319a6877a766e3fc&_x_zm_rhtaid=86

MINAM (Ministerio del Ambiente)

2019 *Guía para la evaluación de sitios contaminados y la elaboración de planes dirigidos a la remediación.* Lima: MINAM.

MINAM (Ministerio del Ambiente)

2017 Decreto Supremo N°011-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. Lima: 2 de diciembre.

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>

MINAM (Ministerio del Ambiente)

2017 Decreto Legislativo N°1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Lima: 22 de diciembre. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3695-014-2017-minam>

MINAM (Ministerio del Ambiente)

2015 *Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados.* Lima: MINAM.

MINAM (Ministerio del Ambiente)

2014 *Guía para el muestreo de suelos.* Lima: MINAM.

MINCUL (Ministerio de Cultura de Cusco)

2015 *Qorimarka: 100 años de Electricidad en el Cusco* [Archivo de Vídeo].

<https://www.youtube.com/watch?v=31Lz8IUylfs>

MINEM (Ministerio de Energía y Minas)

2020 *Guía metodológica para la elaboración del plan de gestión ambiental de Bifenilos Policlorados*. Lima: MINEM.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1535661/GU%C3%8DA%20METODOL%C3%93GICA%20PARA%20LA%20ELABORACI%C3%93N%20DEL%20PLAN%20DE%20GESTI%C3%93N%20AMBIENTAL%20DE%20BIFENILOS%20POLICLORADOS%20%28PGAPCB%29%20APLICABLE%20A%20LA%20ACTIVIDAD%20EL%20ELECTRICA.PDF.PDF>

MONTORY Mónica, Gustavo CHIANG, Daniel FUENTES, Hernán PALMA y Ricardo BARRA

2008 “Bifenilos policlorados (PCB) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPS) en sedimentos del mar interior de Chiloé”. *Ciencia y Tecnología del Mar*. Vol. 31, pp. 67-81.

<https://www.redalyc.org/pdf/624/62412163004.pdf>

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CACHIMAYO

2019 Informe de evaluación de riesgos por inundación fluvial en río hutunmayo, distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento de Cusco, Cusco.

https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//7252_informe-de-evaluacion-de-riesgo-por-inundacion-fluvial-del-rio-hatunmayo-distrito-de-cachimayo-provincia-de-anta-departamento-de-cusco.pdf

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CACHIMAYO

2019 Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres del Distrito De Cachimayo al 2021. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/8022>

MUÑOZ Jessica

2019 “Tratamiento por dechlorinación in situ de bifenilos policlorados (PCB), 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*, Vol. 85, pp. 58-68. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000100007&script=sci_arttext

MUSADA Yoshito, Hiroaki KUROKI, Koichi HARAGUCHI y Junya NAGAYAMA

1985 “PCB and PCDF congeners in the blood and tissues of Yusho and Yu-Cheng Patient”. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 59, pp.53-58. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.59-1568081>

NEYDO Hidalgo

2010 “Antigua Hidroeléctrica de Corimarca (Cusco) declarada Patrimonio Cultural del Perú”. Documento electrónico, en <https://patrimonioindustrialperu.blogspot.com/2010/12/antigua-hidroelectrica-de-qorimarca.html#:~:text=El%20pasado%209%20de%20octubre,Patrimonio%20Cultural%20de%20la%20Naci%C3%B3n>, consultado el 9 de noviembre del 2021.

NTP (National Toxicology Program)

2006 “NTP Technical report on the toxicology and carcinogenesis studies of 2, 2', 4,4', 5,5'-hexachlorobiphenyl (PCB 153) (CAS No. 35065-27-1) in female Harlan Sprague-Dawley rats (gavage studies)”. *National Toxicology Program Technical report series*. Vol. 529, pp. 4-168.

https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/lt_rpts/tr529.pdf?utm_source=direct&utm_medium=prod&utm_campaign=ntpgolinks&utm_term=tr529

OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental)

2023 *Detalle de infracciones ambientales sancionadas del administrado*. Lima: OEFA.

<https://publico.oefa.gob.pe/administrados-sancionados/#/>

OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental)

2018 *El Informe Final de Instrucción N°1430-2018-OEFA/DFAI/SFEM*. 28 de setiembre. Lima: OEFA. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=32392

OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental)

2017 *Informe de supervisión 027-2017-OEFA/DS-ELE*. 27 de enero. Lima: OEFA.

https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=32392

OLMEDO Martín, María CARROQUINO, José ORDÓÑEZ, Jacqueline MOYA

2016 “La Evaluación de riesgos en salud. Guía metodológica. Aplicaciones prácticas de la metodología de Evaluación de riesgos en salud por exposición a químicos”. *Sociedad Española de Sanidad Ambiental y Escuela Andaluza de Salud Pública. Serie De aeribus, aquis et locis N°3*

https://www.diba.cat/documents/467843/96195101/Evaluacion_riesgos_salud_Guia_metodologica.pdf/37481f80-8641-4a42-a647-eb7f24808d33

OMS (Organización Mundial de la Salud)

1995 *Aplicación del análisis de riesgos a cuestiones de normas alimentarias*. Ginebra. *Organización Mundial de la Salud*

https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/ftalatos-material-escolar/glosario/ghi/ingesta-diaria-tolerable-idt.htm

ONUUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial) y DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria)

2017 *Inventario y eliminación de existencias y residuos con PCB*. Lima: ONUUDI y DIGESA.

https://minpetel.com/wp-content/uploads/2020/08/PCB_INVENTARIO.pdf

ORTIZ Ery y Michael CONTRERAS

2011 *Diagnostico Hidrogeológico-Geodinámico de la Microcuenca achimayo-Anta*.

Tesis para optar el Título de Ingeniero Geólogo. Cusco: UNSAAC, Facultad de Ingeniería Geológica y Geografía.

<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/1097#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20y%20alteraci%C3%B3n%20del,de%20basura%20producida%20por%20la>

PEÑA Carlos, Dean CARTER y Félix AYALA

2001 *Evaluación de riesgos y restauración ambiental*. Reporte. Arizona: The University of Arizona.

<https://superfund.arizona.edu/sites/default/files/2025-03/toxamb.pdf>

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)

2010 *Eliminando los COP del mundo: Guía del convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes*". Ginebra: Secretaría del Convenio de Estocolmo.

<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/eliminando-cop-mundo-guia-convenio-estocolmo-contaminantes-organicos>

RISEBROUGH RW, P. REICHE, D. PEAKALL, S. HERMAN y M. KIRVEN

1968 "Polychlorinated Biphenyls in the Global Ecosystem". *Nature*. Vol. 220, pp. 1098–1102. <https://www.nature.com/articles/2201098a0>

RODRÍGUEZ Manuel y ESPINOZA Guillermo

2002 *Gestión ambiental en América Latina y el Caribe. Evolución, tendencias y principales prácticas*. Washington D.C.: División de Medio Ambiente, Banco Interamericano de Desarrollo. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019857/GestionambientalenA.L.yelC/GestionAmb...pdf>

ROSADO, Sebastián

2019 *Política pública global y administración internacional en el control de sustancias peligrosas en el Perú. Caso Proyecto "Manejo y disposición ambientalmente racional de bifenilos policlorados (PCB) en el Perú"*. Tesis de Licenciatura en Ciencia Política y Gobierno. Lima: PUCP, Facultad de Ciencias Sociales. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/15769/ROSADO_QUINTEROS_SEBASTIAN.pdf?sequence=5&isAllowed=y

SAKTRAKULKLA Panithi, Tuo LAN, Jason HUA, Rachel MAREK, Peter THORNE y Keri HORNBuckle

2020 "Polychlorinated biphenyls in food". *Environmental science and technology*. Vol. 54, pp. 11443-11452. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.0c03632>

SCE (Secretaría del Convenio de Estocolmo)

2020 *Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP) texto y anexos. Revisado en 2019.*

<https://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).

2022 *Climas del Perú* [mapa]. Lima: SENAMHI.

<https://www.senamhi.gob.pe/?dp=lima&p=mapa-climatico-del-peru>

STREK J. y J. WEBER

1982 "Behaviour of polychlorinated biphenyls (PCBs) in soils and plants", *Environmental Pollution*. Vol. 28, pp. 291-312.

<https://hwbddocuments.env.nm.gov/Los%20Alamos%20National%20Labs/General/14594.pdf>

TAMAYO Jesús, Julio SALVADOR, Arturo VÁSQUEZ y Carlo VILCHES

2016 *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Lima: Osinergmin.

https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anios.pdf

TUCKER E., W. LITSCHGI y W. MEES

1975 "Migration of polychlorinated biphenyls in soil induced by percolating water".

Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology Vol. 13, pp. 86-93.

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01684869>

UNEP (United Nations Environment Programme)

2016 *Polychlorinated Biphenyls (PCB)*. Inventory Guidance. Nairobi : UNEP.

<https://stg-wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/31250>

VALERO, Sergio y Jaime TUSSO

2018 *Exposición a Bifenilos policlorados: efectos en la salud y en ambiente. Revisión de la literatura, 2000 a 2017*. Tesis de Maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo. Bogotá: Universidad del Rosario Colombia, Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud.

<https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/14237>

VARSAVSKY, Alicia y Daniel FERNÁNDEZ

2021 “Bifenilos policlorados y el cumplimiento de las metas fijadas por el convenio de Estocolmo: ¿tecnología o cultura?”. *AIDIS Argentina Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, número 140, pp. 42-46.

https://www.researchgate.net/profile/Alicia-Varsavsky/publication/348602885_Bifenilos_policlorados_y_el_cumplimiento_de_las_metas_fijadas_por_el_Convenio_de_Estocolmo_tecnologia_o_cultura/links/6006f72f45851553a0543bf5/Bifenilos-policlorados-y-el-cumplimiento-de-las-metas-fijadas-por-el-Convenio-de-Estocolmo-tecnologia-o-cultura.pdf

VASILIU, Oana., Lorraine CAMERON, Joseph GARDINER, Peter DEGUIRE, y Wilfried KARMAUS.

2006 “Polybromated biphenyls, polychlorinated biphenyls, body weight, and incidence of adult-onset diabetes mellitus”. *Epidemiology*. Vol. 17, pp. 352-359

<https://www.jstor.org/stable/20486235>

WAGNER, U.

2010 “Producción y uso de PCB”. *PEN Magazine*.

WEBBER M, R. PIETZ, T. GRANATO y M. SVOBODA.

1994 "Plant uptake of PCBs and other organic contaminants from sludge-treated coal refuse" *Journal of Environmental Quality*. Vol. 23, pp.1019-1026

<https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq1994.00472425002300050024x>

WEED S. y J. WEBER

1974 "Pesticide-organic matter interactions" *Pesticides in Soil and Water*. Madison, pp. 39-66.

<https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/1974.pesticides.c3>

WEINBERG, Jack.

2009 *Guía para las ONG sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes. Marco para las medidas de protección de la salud humana y el Medio Ambiente de los Contaminantes Orgánicos Persistentes*. Lima. International Pollutants Elimination Network (IPEN).

https://ipen-test.clients.clerestory.com/sites/default/files/documents/ngo_guide_pops-es.pdf

ZARANKO Danuta, Ronald GRIFFITHS y Narinder KAUSHIK

2009 "Biomagnification of polychlorinated biphenyls through a riverine food web" *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*. Vol 16, pp. 1463-1471.

<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.5620160720>

Anexos



Anexo 1 Cartas de presentación para entrevistas y trabajos de campo

ESCUELA DE
POSGRADO

MAESTRÍA EN
DESARROLLO
AMBIENTAL



CARGO
PUCP

N° 044/2021-MDA

San Miguel, 09 de noviembre de 2021

Señor
ADRIÁN CUSIHUAMAN MAÑACCASA
Alcalde
Municipalidad de Cachimayo
Presente.



De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y a la vez tengo el agrado de presentar a la señorita María de Jesús Figueroa Mendoza, Ingeniera de profesión, identificado con N° de DNI 71972395, con código de estudiante 20163712, alumna del programa de Maestría en Desarrollo Ambiental de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

La Srta. Figueroa, con el apoyo de su asesor de Tesis el Dr. Vladimir Gil Ramón, se encuentra desarrollando el proyecto de Tesis titulada "Exploratorio relacionado a la determinación de Impactos Ambientales de los bifenilos policlorados (PCB)".

Por lo anteriormente mencionado, le solicito tenga a bien, brindar las facilidades que el caso amerita para que se alcance los objetivos académicos requeridos.

Agradeciendo la atención que brinde a la presente, hago propicia la ocasión para expresarle mi consideración y aprecio.



Ana Sabogal Dunin Borkowski
Directora del Maestría en Desarrollo Ambiental
Escuela de Posgrado
Pontificia Universidad Católica del Perú
Correo: asabogal@pucp.pe
Tel. +51 6262000 (Anexo 4509)

Av. Universitaria N° 1801 – San Miguel Lima 32
Teléfono 626-2000 anexo 3565
maestria.desamb@pucp.edu.pe

ESCUELA DE
POSGRADO

MAESTRÍA EN
DESARROLLO
AMBIENTAL



N° 045/2021-MDA

San Miguel, 09 de noviembre de 2021.

Señores:
Puesto de Salud de Cachimayari
Presente. -

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y a la vez tengo el agrado de presentar a la señorita María de Jesús Figueroa Mendoza,, Ingeniera de profesión, identificado con N° de DNI 71972395, con código de estudiante 20163712, alumna del programa de Maestría en Desarrollo Ambiental de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

La Srta. Figueroa, con el apoyo de su asesor de Tesis el Dr. Vladimir Gil Ramón, se encuentra desarrollando el proyecto de Tesis titulada "Exploratorio relacionado a la determinación de Impactos Ambientales de los bifenilos policlorados (PCB)".

Por lo anteriormente mencionado, le solicito tenga a bien, brindar las facilidades que el caso amerita para que se alcance los objetivos académicos requeridos.

Agradeciendo la atención que brinde a la presente, hago propicia la ocasión para expresarles mi consideración y aprecio.



Ana Sabdogal Dunin Berkowski
Directora del Maestría en Desarrollo Ambiental
Escuela de Posgrado
Pontificia Universidad Católica del Perú
Correo: asabdogal@pucp.pe
Tel. +51 6262000 (Anexo 4509)


MINISTERIO DE SALUD
PUESTO DE SALUD DE CACHIMAYARI
TEC. EMPERMEFUA
11/11/21

Av. Universitaria N° 1801 - San Miguel Lima 32
Teléfono 626-2000 anexo 3565
maestria.desamb@pucp.edu.pe

N° 032/2023-MDA

San Miguel, 28 de septiembre de 2023

Señor

Fredy González de la Vega

Gerente General

Electro Sur Este S.A.

Presente. –

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y presentar a la señorita María de Jesús Figueroa Mendoza, Ingeniera de profesión, identificada con el DNI: 71972395, con código de estudiante 20163712, alumna de la Maestría en Desarrollo Ambiental de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

La Srta. Figueroa, con apoyo de su asesor de tesis el Dr. Vladimír Gil Ramón, se encuentra desarrollando el proyecto de tesis titulado: "Exposición y riesgos por bifenilos policlorados en Cachimayo, Cusco".

Por lo anteriormente mencionado, le solicito tenga a bien, brindar facilidades que el caso para que la alumna pueda realizar una entrevista con el encargado de la Gestión Ambiental de la empresa y realizar un muestreo de suelos en el almacén de Corimarca de Electro Sur Este S.A., ubicado en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, departamento de Cusco (Antigua Central Hidroeléctrica Corimarca), y así alcance los objetivos académicos requeridos.

Agradeciendo la atención que brinden a la presente, hago propicia la ocasión para expresarle mi consideración y aprecio.

Atentamente,



Ana Sabogal Dunin Borkowski
Directora del Maestría en Desarrollo ambiental
Escuela de Posgrado
Pontificia Universidad Católica del Perú
Correo: asabogal@pucp.pe
Tel. +51 6262000 (Anexo 4509)

Av. Universitaria N° 1801 – San Miguel Lima 32
Teléfono 626-2000 anexo 3565
maestria.desamb@pucp.edu.pe



MARIA DE JESUS FIGUEROA MENDOZA <a20163712@pucc.edu.pe>

Facilidades para el acceso a las instalaciones del almacén de Qorimarca y entrevista con el encargado de la gestión ambiental.

Hector Raul Fernando Valencia Delgado <hvalencia@else.com.pe>

Para: "asabogal@pucc.edu.pe" <asabogal@pucc.edu.pe>, "asabogal@pucc.edu.pe" <a20163712@pucc.edu.pe>, "a20163712@pucc.edu.pe" <a20163712@pucc.edu.pe>

26 de octubre de 2023, 10:11

Sra. Ana Sabogal Dunin Borkowski
Directora de la Maestría en Desarrollo Ambiental

PUCP

Srta. Maria de Jesus Figueroa Mendoza
Alumna de la Maestría en Desarrollo Ambiental

PUCP

Es grato dirigirme a ustedes para indicarles que, gustosamente recibiremos a su Alumna de la Maestría en Desarrollo Ambiental Srta. Maria de Jesus Figueroa Mendoza en Electro Sur Este para el acceso a las instalaciones del almacén de Qorimarca y entrevista con el encargado de la gestión ambiental.

Atentamente,

Jefe de Seguridad Integral y Medio Ambiente
Electro Sur Este S.A.A.



Anexo 2 Registro y formato de entrevistas

	Entrevistados	Género	Edad	Fecha
1	Funcionario de Electro Sur Este S.A. A.	Masculino	55-65	10/11/2023
2	Funcionario de Municipalidad de Cachimayo	Masculino	30-35	12/11/2021
3	Funcionario del puesto de salud de Cachimayo	Femenino	35-40	
4	Propietaria de un restaurante	Femenino	25-30	
5	Comerciante	Femenino	55-60	
6	Ama de casa	Femenino	30-45	
7	Policía Nacional del Perú en retiro	Masculino	65-75	
8	Agricultor y minero artesanal	Masculino	50-52	

Registro de Entrevista			
Tesis:	Determinación de los impactos de existencias y residuos con Bifenilos Policlorados en el Centro Poblado de Cachimayo, Cusco.		
Entrevistadora	Maria de Jesús Figueroa Mendoza	Código de estudiante PUCP	20163712
		DNI	71972395
Fecha		Hora	
Nombre y Apellido del entrevistado			
Firma			

Anexo 3 Guías de entrevistas

Tesis: Exposición y riesgos por bifenilos policlorados en Cachimayo, Cusco.

Guía de Entrevista semiestructurada al representante de la empresa administradora del almacén de Corimarca	
Investigación histórica del manejo del sitio posiblemente contaminado	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el estado de propiedad del almacén? • ¿Cuál es el valor histórico que tiene la C.H. Corimarca? • ¿Cuál fue la razón por la cual convirtieron el área aledaña a la C.H. Corimarca en un almacén? • ¿Desde cuándo almacenaron existencias en el almacén? • ¿Cuál es la condición del almacén? ¿Es temporal, de residuos, de materiales peligrosos o no peligrosos? • ¿Cuenta el almacén de Corimarca con su informe de sitios contaminados? • ¿El almacén de Corimarca tiene IGA aprobado?
Gestión ambiental de bifenilos policlorados	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuántos equipos aproximadamente tiene la empresa? • ¿Cuál es el porcentaje de avance del inventario de PCB de la empresa? • ¿Cuál es el porcentaje de equipos con PCB encontrados? • ¿Cuentan con procedimientos para el mantenimiento de equipos para evitar la contaminación cruzada por PCB? • ¿Cuentan con procedimientos para el manejo, almacenamiento y compra de equipos libres de PCB? • ¿Cuentan con almacenes de PCB? • ¿El almacén de Corimarca ha recibido supervisiones por la OEFA? ¿De ser el caso, se logró subsanar las observaciones? • ¿Qué dificultades identifican para realizar la gestión adecuada de PCB?
Caracterización socioambiental del centro poblado de Cachimayo y a la empresa eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Las relaciones comunitarias entre la empresa y el centro poblado de Cachimayo es adecuada y cómo? • ¿Qué problemática ambiental identifican en su área de concesión de la empresa, específicamente en Cachimayo?

Guía de Entrevista semiestructurada a informantes claves del centro poblado de Cachimayo	
Caracterización socioambiental del centro poblado de Cachimayo	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué instituciones (públicas o privadas), asociaciones, comunidades, ministerios, etc. están vinculados a la comunidad? • ¿Cuáles son las enfermedades más recurrentes en el centro poblado de Cachimayo? • ¿Cuáles son las principales actividades económicas del centro poblado de Cachimayo?
Investigación histórica del manejo del sitio posiblemente contaminado	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué tipo de actividades cree que se llevan a cabo en el sitio? • ¿Sabe a qué empresa pertenece el sitio? • ¿Le preocupa la actividad que se lleva a cabo en el sitio? • ¿Qué información tiene sobre la historia del sitio?
Gestión ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué problemas ambientales impactan al centro poblado de Cachimayo? • ¿Tiene conocimiento sobre los bifenilos policlorados?



Anexo 4 Informes de análisis del muestreo de reconocimiento de suelo del 2021



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03240/21

Página 1/3

Solicitante : MARIA DE JESÚS FIGUEROA MENDOZA
 Domicilio legal : CALLE EMILIO FERNANDEZ 180, LIMA, LIMA, LIMA
 Producto declarado : SUELO
 Lugar de Muestreo : CUSCO - MUESTRA DE SUELO
 Fecha de Muestreo : 2021-11-09
 Método de Muestreo : RM-065-2014-MINAM Guía para Muestreo de Suelos
 Acta de Inspección : 21AD00089281606
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1,5 Kilogramos
 Forma de Presentación : Frasco de Vidrio
 Identificación de la muestra : Según se indica
 Fecha de recepción : 2021-11-11
 Fecha de inicio del ensayo : 2021-11-15
 Fecha de término del ensayo : 2021-11-26
 Ensayo realizado en : Laboratorio Cromatografía Callao
 Identificado con : HS 21009563 (EXMA-14182-2021)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Proyecto:				
Punto de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Muestreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
SU-01	18L0618357	8510873	Antes del almacén de Comarca.	-----
SU-02	18L0618283	8510902	Al costado del almacén de Comarca.	-----
SU-03	18L0618179	8510706	Después del almacén de Comarca.	-----

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

INFORME DE ENSAYO N° 2-03240/21

Página 2/3

RESULTADOS

						Estación de Muestreo			
						SU-01	SU-02	SU-03	
						Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-09 11:30	2021-11-09 12:03	2021-11-09 14:53
						Tipo de Muestra	Suelo	Suelo	Suelo
Parámetro	Límite de Cuantificación	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados				
PCBs Bifenos policlorados (PCBs) por GC/ECD (Callao)									
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,4058	µg/Kg	<0,4058	<0,4058	<0,4058				
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,2548	µg/Kg	<0,2548	<0,2548	<0,2548				
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,2157	µg/Kg	<0,2157	<0,2157	<0,2157				
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,1947	µg/Kg	<0,1947	<0,1947	<0,1947				
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,2091	µg/Kg	<0,2091	<0,2091	<0,2091				
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,2786	µg/Kg	<0,2786	<0,2786	<0,2786				
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,1259	µg/Kg	<0,1259	<0,1259	<0,1259				
(18) 2, 2', 5 - Triclorobifenil	0,2444	µg/Kg	<0,2444	<0,2444	<0,2444				
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,1603	µg/Kg	<0,1603	<0,1603	1,1735				
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,1172	µg/Kg	<0,1172	1,3337	<0,1172				
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,1456	µg/Kg	<0,1456	<0,1456	<0,1456				
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,0938	µg/Kg	<0,0938	<0,0938	<0,0938				
(31) 2, 4', 5 - Triclorobifenil	0,2654	µg/Kg	<0,2654	<0,2654	<0,2654				
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,1113	µg/Kg	<0,1113	<0,1113	<0,1113				
(5) 2, 3 - Diclorobifenil	0,1590	µg/Kg	<0,1590	<0,1590	<0,1590				
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,3295	µg/Kg	2,0634	<0,3295	<0,3295				
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,1410	µg/Kg	<0,1410	<0,1410	<0,1410				
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,1865	µg/Kg	<0,1865	<0,1865	<0,1865				
PCBs Totales (Callao)									
PCBs Totales	0,0908	µg/Kg	2,9834	1,3337	1,1735				

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

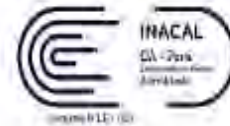
AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03240/21

Página 3/3

MÉTODOS

PCBs Bifenilos policlorinados (PCBs) por GC/ECD: EPA 8082 A.2007. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 29 de noviembre de 2021

CERTIFICACIONES DEL PERIÓDICO

Lic. Luis G. Rodríguez Martínez
C. 004 87 174
INPE DEL LABORATORIO AREQUIPA

"Los ensayos acreditados del presente informe, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

ANEXO (INFORMATIVO)

INFORME DE ENSAYO N°2-03241/21 ESTE ANEXO NO FORMA PARTE DEL INFORME DE ENSAYO EMITIDO

Página 1/1

Bifenilos policlorados Congeneres (PCBs) por GC/ECD	LD (ug/Kg)	LC (ug/Kg)
(5) 2, 3 - Diclórobifenil	0.0448	0.1590
(18) 2, 2', 5 - triclórobifenil	0.0689	0.2444
(31) 2, 4', 5 - Triclórobifenil	0.0749	0.2654
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclórobifenil	0.0314	0.1113
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclórobifenil	0.0929	0.3295
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclórobifenil	0.0398	0.1410
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclórobifenil	0.0526	0.1865
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclórobifenil	0.1145	0.4058
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclórobifenil	0.0719	0.2548
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclórobifenil	0.0609	0.2157
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclórobifenil	0.0549	0.1947
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclórobifenil	0.0590	0.2091
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclórobifenil	0.0786	0.2786
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclórobifenil	0.0355	0.1259
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclórobifenil	0.0452	0.1603
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclórobifenil	0.0331	0.1172
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclórobifenil	0.0411	0.1456
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclórobifenil	0.0265	0.0938
PCBs Totales	0.0265	0.0938

Arequipa, 29 de noviembre de 2021

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

AQP No. 003058

SOLICITANTE: María Figueroa Mendoza
LUGAR Y FECHA: Cusco, muestra de suelo
EXPEDIENTE: 41182-2021-01
RS: 21002563
JOB NUMBER: 21A60039231606

PERSONA DE CONTACTO: Mary Angeles Coto
PARÁMETROS DE ANÁLISIS EN EL LABORATORIO

TEMPERATURA (°C)	TEMPERATURA AMBIENTAL (°C)	DEGHE DEWITS (mg/l)	CONDENSADOS LÍQUIDOS (x) mg/l	SOLIDOS LÍQUIDOS	CONDENSADOS SÓLIDOS (x) mg/l	TUBERIAS (L/MT)	CALDA (mg/l)	TRANSPARENCIA (cm)

PUNTO DE LA TOMA DE MUESTRA	MUESTRO		MATRIZ (%)		COORDENADAS UTM NORTE		ALTITUD (m s.n.m.)	CANTIDAD DE MUESTRAS	
	FECHA	HORA	ESTR. 1 (g)	ESTR. 2 (g)	ESTR. 1 (m)	ESTR. 2 (m)			
SU-01	09/11/21	11:30	SU	818357	8510873		132	1	
SU-02	09/11/21	12:03	SU	818283	8510802		132	1	
SU-03	09/11/21	14:53	SU	818179	8510706		132	1	
Total de Muestras:									



(1) Matriz (s)
 AC = Agua pasada por filtro de 0.45 micras
 M = Agua Muestra
 AP = Agua de proceso
 ASL = Agua Salada
 AR = Agua Refrescante
 BR = Bioresiduo
 BU = Suro
 Otro: _____

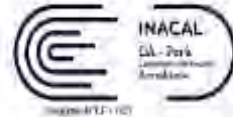
CONDICIONES DE LAS MUESTRAS:	Equipos Utilizados	Equipo	Código	Equipo	Código
Temperatura ambiente: <input type="checkbox"/> Cálculo con temperatura del día	Refrigerador: 1				
Humedad relativa controlada: <input checked="" type="checkbox"/> Método de calibración: 1	Controlador: 1				
Observaciones: SU-01: Antes del Almacenamiento					
SU-02: Después del Almacenamiento					
SU-03: Después del Almacenamiento					

Responsable del Cliente: María de Jesús Figueroa M.
Nombre: María de Jesús Figueroa M.
DNI: 71972895
Cargo: ESTACIONANTE de PATRULLA
Recepción de Muestras: Nombre: María Estuardo B. Fecha: 12-11-2021 Hora: 08:00





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03241/21

Página 1/3

Solicitante	:	MARIA DE JESUS FIGUEROA MENDOZA
Domicilio legal	:	CALLE EMILIO FERNANDEZ 180, LIMA, LIMA, LIMA
Producto declarado	:	SEDIMENTO
Lugar de Muestreo	:	CUSCO - MUESTRA DE SEDIMENTO
Fecha de Muestreo	:	2021-11-09
Método de Muestreo	:	8056-I Toma de muestras de sedimentos
Acta de Inspección	:	21AD00099281606
Cantidad de Muestras para el Ensayo	:	1,0 Kilogramos
Forma de Presentación	:	Frasco de Vidrio
Identificación de la muestra	:	Según su índice
Fecha de recepción	:	2021-11-11
Fecha de inicio del ensayo	:	2021-11-15
Fecha de término del ensayo	:	2021-11-26
Ensayo realizado en	:	Laboratorio Cromatografía Callao
Identificada con	:	HS 21009563 (EXMA-14182-2021)
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la muestra descrita

Proyecto:				
Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Muestreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
SD-01	18L0818355	8510872	Punto aguas arriba en relación al almacén de Comarca	-----
SD-02	18L0818204	8510798	Punto en el río que pasa al costado del almacén de Comarca.	-----

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

INFORME DE ENSAYO N° 2-03241/21

Página 2/3

RESULTADOS

Parametro	Límite de Cuantificación	Unidad	Estación de Muestreo	
			SD-01	SD-02
			Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo
			2021-11-09 11:30	2021-11-09 12:03
			Tipo de Muestra	Sedimento
			Resultados	Resultados
PCBs Bifenilos policlorinados (PCBs) por GC/ECD (Callao)				
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,4058	µg/Kg	<0,4058	<0,4058
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,2548	µg/Kg	<0,2548	<0,2548
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,2157	µg/Kg	<0,2157	<0,2157
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,1947	µg/Kg	<0,1947	<0,1947
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,2091	µg/Kg	<0,2091	<0,2091
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,2786	µg/Kg	<0,2786	<0,2786
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,1259	µg/Kg	<0,1259	<0,1259
(18) 2, 2', 5 - Indorobifenil	0,2444	µg/Kg	<0,2444	<0,2444
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,1603	µg/Kg	<0,1603	<0,1603
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,1172	µg/Kg	<0,1172	<0,1172
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,1456	µg/Kg	<0,1456	<0,1456
(208) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,0938	µg/Kg	<0,0938	<0,0938
(31) 2, 4', 5 - Triclorobifenil	0,2654	µg/Kg	<0,2654	<0,2654
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,1113	µg/Kg	<0,1113	<0,1113
(5) 2, 3 - Diclrorobifenil	0,1590	µg/Kg	<0,1590	<0,1590
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,3295	µg/Kg	<0,3295	<0,3295
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,1410	µg/Kg	<0,1410	<0,1410
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,1865	µg/Kg	<0,1865	<0,1865
PCBs Totales (Callao)				
PCBs Totales	0,0938	µg/Kg	<0,0938	<0,0938

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodriguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

INFORME DE ENSAYO N° 2-03241/21

Página 3/3

MÉTODOS

PCBs Bifenilos policlorinados (PCBs) por GC/ECD: EPA 8082 A.2007. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 29 de noviembre de 2021

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

CERPER S.A.
LABORATORIO ACREDITADO

"Los ensayos acreditados del presente informe, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

ANEXO (INFORMATIVO)

INFORME DE ENSAYO N°2-03241/21 ESTE ANEXO NO FORMA PARTE DEL INFORME DE ENSAYO EMITIDO

Página 1/1

Bifenilos policlorados Congeneres (PCBs) por GC/ECD	LD (ug/Kg)	LC (ug/Kg)
(5) 2, 3 - Diclorobifenil	0.0448	0.1590
(18) 2, 2', 5 - triclolorobifenil	0.0689	0.2444
(31) 2, 4', 5 - Triclolorobifenil	0.0749	0.2654
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0.0314	0.1113
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0.0929	0.3295
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0.0398	0.1410
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0.0526	0.1865
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0.1145	0.4058
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0.0719	0.2548
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0.0609	0.2157
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0.0549	0.1947
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0.0590	0.2091
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0.0786	0.2786
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0.0355	0.1259
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0.0452	0.1603
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0.0331	0.1172
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0.0411	0.1456
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0.0265	0.0938
PCBs Totales	0.0265	0.0938

Arequipa, 29 de noviembre de 2021

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

AQP N° 003056

OCERPER
SOLICITANTE: *Maria Figueroa Mendoza*
LUGAR Y FECHA: *Cusco, muestras de sedimentos*
PERSONA DE CONTACTO: *Mary Angélica Berto*
EXPEDIENTE: *14982-2021-01*
RS: *21009563*
JOB NUMBER: *210003992808*

CADENA DE CUSTODIA
 (Registro de Campo - Toma de muestra de aguas, suelos y sedimentos)

PARAMETROS DE ANÁLISIS EN EL LABORATORIO

PARAMETROS DE CAMPO:

PUNTO DE LA TOMA DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		MUESTRO	FECHA	HORA	MATRIZ (1)	IDENTIFICACIÓN		ALMILLO (mL) en 200 mL de agua	Cantidad de Envases
	ESTE (m)	WEST (m)					ESTRAT. (m)	NOVA (m)		
SD-01			09/11/21	11:30	SM	318355	0540342	186	1	
SD-02			09/11/21	12:03	SM	818284	0550798	186	1	



(1) Matriz (s)
 AG = Agua para uso y consumo humano
 AN = Agua Natural
 AP = Agua en proceso
 ASAL = Agua Salada
 AS = Agua Residual
 SA = Saneamiento
 S = Suelo
 OTC

Condiciones de las muestras:
 Temperatura ambiente () | Cielos despejados () | Sin neblina () | Hielo () | Hielo ()
 Humedad relativa () | H2O de calidad potable () | Corrientes ()

Equipos Utilizados:

Equipo	Código
GPS GARMIN	470160792

Observaciones: *SD-01: No amba*
SD-02: No al estado del Almacén

Responsable de la muestra: *[Signature]*
Inspector Campo: *[Signature]*
Hora de inicio: *08:00*

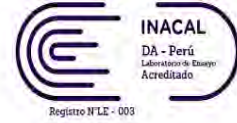
Recepción de Muestras:
Nombre: *Blanca Laura B.*
Fecha: *11-11-2021* **Hora:** *08:00*

Representante del cliente:
Nombre: *Maria de Jesus Figueroa M.*
DNI: *71977395*
Cargo: *Estudiante de Postgrado*

Anexo 6 Informes de análisis del muestreo de reconocimiento de sedimentos del 2024



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA CON REGISTRO N° LE - 003



INFORME DE ENSAYO N° 1-14440/24

Pág. 1/3

DATOS DEL CLIENTE ^(A)	
Cliente	: FIGUEROA MENDOZA MARIA DE JESUS
Domicilio legal	: Calle Emilio Fernández 160 - Lima - Lima - Lima
Solicitante	: MINPETEL S.A.
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	: SEDIMENTOS
Procedencia de la muestra	: Muestreado por Certificaciones del Perú S.A.
Lugar de muestreo	: Quebrada Huaynanica - Cachimayo - Anta - Cusco
Fecha de muestreo	: 2024 - 10 - 22
Método de muestreo	: Instructivo 8056-I : Toma de muestras de sedimentos
Cantidad de muestra para el ensayo	: 3 muestras x 0,25 kg c/u
Presentación y condición de recepción	: En frasco de vidrio ámbar, cerrado y refrigerados.
Identificación y descripción ^(A)	: Según se indica
Fecha de recepción	: 2024 - 10 - 23
Fecha de inicio del ensayo	: 2024 - 10 - 28
Fecha de término del ensayo	: 2024 - 10 - 29
Ensayo realizado en	: Laboratorio Cromatografía de Gases
Identificado con	: EXMA-15137-2024-001
Validez del documento	: Este documento es válido solo para las muestras descritas.

Puntos de Muestreo ^(A)	Hora de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84			
		Zona	Este	Norte	Altitud (m.s.n.m.)
SD-1	10:20	18L	0818355	8510872	3 527
SD-2	11:10	18L	0818284	8510798	3 520
SD-3	12:20	18L	0818165	8510670	3 511

^(A) Datos proporcionados por el solicitante y/o cliente. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante y/o cliente pueda afectar la validez de los resultados.

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

“Este documento sin firma digital carece de validez”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

INFORME DE ENSAYO N° 1-14440/24

Pág. 2/3

Análisis Cromatografía de Gases:

Ensayo	LDM	LCM	Unidad	Muestras / Resultados		
				SD-1	SD-2	SD-3
(1) 2 - Clorobifenil	0,6179	1,9678	µg/kg	<1,9678	<1,9678	<1,9678
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,0429	0,1367	µg/kg	<0,1367	<0,1367	<0,1367
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,0719	0,2548	µg/kg	<0,2548	<0,2548	<0,2548
(118) 2, 3', 3, 4', 5 - Pentaclorobifenil	0,0501	0,1596	µg/kg	<0,1596	<0,1596	<0,1596
(137) 2, 2', 3, 4, 4', 5 - Hexaclorobifenil	0,0539	0,1716	µg/kg	<0,1716	<0,1716	<0,1716
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,0609	0,2157	µg/kg	<0,2157	<0,2157	<0,2157
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,0549	0,1947	µg/kg	<0,1947	<0,1947	<0,1947
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,0590	0,2091	µg/kg	<0,2091	<0,2091	<0,2091
(153) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,0786	0,2786	µg/kg	<0,2786	<0,2786	<0,2786
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,0355	0,1259	µg/kg	<0,1259	<0,1259	<0,1259
(18) 2, 2', 5 - triclоробifenil	0,0689	0,2444	µg/kg	<0,2444	<0,2444	<0,2444
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,0452	0,1603	µg/kg	<0,1603	<0,1603	<0,1603
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,0331	0,1172	µg/kg	<0,1172	<0,1172	<0,1172
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,0411	0,1456	µg/kg	<0,1456	<0,1456	<0,1456
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,0777	0,2473	µg/kg	<0,2473	<0,2473	<0,2473
(28) 2, 4, 4' - Triclоробifenil	0,0337	0,1073	µg/kg	<0,1073	<0,1073	<0,1073
(31) 2, 4', 5 - Triclоробifenil	0,0749	0,2654	µg/kg	<0,2654	<0,2654	<0,2654
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,0314	0,1113	µg/kg	<0,1113	<0,1113	<0,1113
(5) 2, 3 - Diclоробifenil	0,0448	0,1590	µg/kg	<0,1590	<0,1590	<0,1590
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,0929	0,3295	µg/kg	<0,3295	<0,3295	<0,3295
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,1486	0,4731	µg/kg	<0,4731	<0,4731	<0,4731
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,0526	0,1865	µg/kg	<0,1865	<0,1865	<0,1865
PCBs (suma de siete PCB indicadores PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180.)	0,0337	0,1073	µg/kg	<0,1073	<0,1073	<0,1073
PCBs (suma de los veintidós PCBs congéneres)	0,0314	0,1113	µg/kg	<0,1113	<0,1113	<0,1113

LCM: Límite de cuantificación del método

LDM: Límite de detección del método

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

"Este documento sin firma digital carece de validez"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE - 003



INFORME DE ENSAYO N° 1-14440/24

Pág. 3/3

MÉTODO

Bifenilos Policlorados (PCBs) Congeneres: EPA Method 8082 A. 2007. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 07 de noviembre de 2024
BC

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.


Flor C. San Martín Berrocal
C. O. P. 1339
Coordinadora de Emisión de Informes

“Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC”

“Este documento sin firma digital carece de validez”

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com



“ EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE”

Nº 019673

CADENA DE CUSTODIA
 (Registro de Campo - Toma de muestra de aguas, suelos, lodos y sedimentos)

SOLICITANTE: **Maria de Jesus Figueroa Mendocza** | Lugar: **Quebrada Huaynatica** | Provincia: **Cachimayo** | Distrito: **Anta** | Departamento: **Cusco** | Persona de contacto: **Maria de Jesus Figueroa**

EXPEDIENTE: **15137-2024-001** | Página: **01** de **01**

PARAMETROS DE ANALISIS EN EL LABORATORIO		PARAMETROS DE CAMPO	
Temperatura de muestra (C)	Temperatura Ambiental (C)	pH	ORP (mV)
Oxigeno Disuelto (mg/L)	Conductividad (µS/cm)	Conductividad (µS/cm)	TDS (mg/L)
Color residual Total (mg Cl2/L)	Color residual Libre (mg Cl2/L)	Turbiedad (UNT)	Caudal (L/s)
Transparencia (cm)	Nivel freatico (cm)	Transparencia (cm)	Nivel freatico (m)

Nº	PUNTO DE LA TOMA DE MUESTRA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA				VOLUMEN (L)	CANTIDAD DE ENVASES
		FECHA	HORA	MATRIZ (1)	COORDENADAS (UTM NOROCCIDENTAL)		
SD-1		22/10/24	10:20	SH	0818355 8510872	18L	04
SD-2		22/10/24	11:10	SH	0818284 8510798	18L	01
SD-3		22/10/24	12:30	SH	0818165 8510670	18L	03
Total de Envases							05



Condiciones de las muestras:
 Temperatura ambiente () Refrigerada () Congelada () Caja conservadora ()
 Hemicelofán cerrado () No pas () Telo de calidad potable ()

Equipos Utilizados:
 Equipo: **GPS-AQP-002** | Código: **GPS-AQP-002**

Observaciones:
 SD-1 → Rio arriba
 SD-2 → Al lado del Almacen de Cotamarca
 SD-3 → Rio abajo

Responsable de la toma de muestra: *[Signature]*
Firma: *[Signature]*
Inspector Cerper: *[Signature]*
Inspecciones de apoyo: **L. Alcahambra Jimenez**
Nombre: **A. Valencia J. Quispe**
DNI: **71972395**
Cargo: **TESISTA**
Fecha: **23-10-24** | Hora: **11:00**
Recepción de muestras:

Anexo 7 Informes de análisis del muestreo de identificación de suelos del 2023



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-00790/24

Página 1/4

DATOS DEL CLIENTE

Cliente : FIGUEROA MENDOZA MARIA DE JESUS
 Domicilio legal : CALLE EMILIO FERNÁNDEZ 160 – LIMA – LIMA – LIMA
 Solicitado por : MINPETEL S.A.

DATOS DE LA MUESTRA

Producto declarado ^(A) : SUELO
 Lugar de Muestreo : ALMACEN DE CORIMARCA – CHINCHEROS – URUBAMBA – CUSCO
 Fecha de Muestreo : 2023-11-11
 Procedencia : Muestreado por CERPER S.A.
 Método de Muestreo : R.M. N° 085-2014-MINAM Guía para Muestreo de Suelos
 Cantidad recibida : 8 muestras x 0.5 Kilogramos
 Presentación y condición de recepción : Frasco de plástico
 Identificación y descripción ^(A) : Según se indica
 Fecha de recepción : 2023-11-13
 Fecha de inicio del ensayo : 2023-11-16
 Fecha de término del ensayo : 2023-11-21
 Ensayo realizado en : Laboratorio Cromatografía de Gases (Callao)
 Identificado con : HS 23009176 (EXMA-15190-2023)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.
 Referencia : Este informe de ensayo **reemplaza al informe 2-03210/23** emitido el 13 de diciembre de 2023

Proyecto:				
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
MI-SU-1	18L0818247	8510795	Suelo del almacén	Muestras a una profundidad de 10 cm
MI-SU-2	18L0818237	8510796	Lado superior de la entrada del almacén	Muestras a una profundidad de 10 cm
MI-SU-3	18L0818257	8510800	Suelo del almacén	Muestras a una profundidad de 10 cm
MI-SU-4	18L0818272	8510819	Lado norte del almacén	Muestras a una profundidad de 10 cm
MI-SU-1	18L0818247	8510795	Suelo del almacén	Muestras a una profundidad de 35 cm
MI-SU-2	18L0818237	8510796	Lado superior de la entrada del almacén	Muestras a una profundidad de 35 cm
MI-SU-3	18L0818257	8510800	Suelo del almacén	Muestras a una profundidad de 35 cm
MI-SU-4	18L0818272	8510819	Lado norte del almacén	Muestras a una profundidad de 35 cm

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento sin firma digital carece de validez"

AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores – Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
 T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-00790/24

Página 2/4

RESULTADOS

Parámetro	Límite de Detección	Límite de Cuantificación	Unidad	Estación de Muestreo			
				MI-SU-1	MI-SU-2	MI-SU-3	MI-SU-4
				Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo
				Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
				Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Bifenilos Policlorados (PCBs) Congeneres (Callao)							
(1) 2 - Clorobifenil	0,000618	0,0019678	mg/kg	<0,0019678	<0,0019678	<0,0019678	<0,0019678
(5) 2, 3 - Diclolorobifenil	0,000045	0,000159	mg/kg	<0,000159	<0,000159	<0,000159	<0,000159
(18) 2, 2', 5 - triclolorobifenil	0,000069	0,0002444	mg/kg	<0,0002444	<0,0002444	<0,0002444	<0,0002444
(31) 2, 4', 5 - Triclolorobifenil	0,000075	0,0002654	mg/kg	<0,0002654	<0,0002654	<0,0002654	<0,0002654
(28) 2, 4, 4' - Triclolorobifenil	0,000034	0,0001073	mg/kg	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,000093	0,0003295	mg/kg	<0,0003295	<0,0003295	<0,0003295	<0,0003295
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,000031	0,0001113	mg/kg	<0,0001113	<0,0001113	<0,0001113	<0,0001113
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,000149	0,0004731	mg/kg	<0,0004731	<0,0004731	<0,0004731	<0,0004731
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,000043	0,0001367	mg/kg	<0,0001367	<0,0001367	<0,0001367	<0,0001367
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,000053	0,0001865	mg/kg	<0,0001865	<0,0001865	<0,0001865	<0,0001865
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,000072	0,0002548	mg/kg	<0,0002548	<0,0002548	<0,0002548	<0,0002548
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,000059	0,0002091	mg/kg	<0,0002091	<0,0002091	<0,0002091	<0,0002091
(118) 2, 3', 4, 4', 5 - Pentaclorobifenil	0,000050	0,0001596	mg/kg	<0,0001596	<0,0001596	<0,0001596	<0,0001596
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,000079	0,0002786	mg/kg	<0,0002786	<0,0002786	<0,0002786	<0,0002786
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,000055	0,0001947	mg/kg	<0,0001947	<0,0001947	<0,0001947	<0,0001947
(137) 2, 2', 3, 4, 4', 5 - Hexaclorobifenil	0,000054	0,0001716	mg/kg	<0,0001716	<0,0001716	<0,0001716	<0,0001716
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,000061	0,0002157	mg/kg	<0,0002157	<0,0002157	<0,0002157	<0,0002157
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,000041	0,0001456	mg/kg	<0,0001456	<0,0001456	<0,0001456	<0,0001456
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,000033	0,0001172	mg/kg	<0,0001172	<0,0001172	<0,0001172	<0,0001172
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,000045	0,0001603	mg/kg	<0,0001603	<0,0001603	<0,0001603	<0,0001603
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,000036	0,0001259	mg/kg	<0,0001259	<0,0001259	<0,0001259	<0,0001259
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,000078	0,0002473	mg/kg	<0,0002473	<0,0002473	<0,0002473	<0,0002473
PCBs (suma de siete PCB indicadores PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180.)	0,000031	0,0001073	mg/kg	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073

"Este documento sin firma digital carece de validez"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

INFORME DE ENSAYO N° 2-00790/24

Página 3/4

RESULTADOS (Continuación)

Parámetro	Limite de Detección	Limite de Cuantificación	Unidad	Estación de Muestreo			
				MI-SU-1	MI-SU-2	MI-SU-3	MI-SU-4
				Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo	Fecha y Hora de Muestreo
				Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
				Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Bifenilos Policlorados (PCBs) Congeneres (Callao)							
(1) 2 - Clorobifenil	0,000618	0,0019678	mg/kg	<0,0019678	<0,0019678	<0,0019678	<0,0019678
(5) 2, 3 - Diclorobifenil	0,000045	0,000159	mg/kg	<0,000159	<0,000159	<0,000159	<0,000159
(18) 2, 2', 5 - Triclorobifenil	0,000069	0,0002444	mg/kg	<0,0002444	<0,0002444	<0,0002444	<0,0002444
(31) 2, 4', 5 - Triclorobifenil	0,000075	0,0002654	mg/kg	<0,0002654	<0,0002654	<0,0002654	<0,0002654
(28) 2, 4, 4' - Triclorobifenil	0,000034	0,0001073	mg/kg	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073
(52) 2, 2', 5, 5' - Tetraclorobifenil	0,000093	0,0003295	mg/kg	<0,0003295	<0,0003295	<0,0003295	<0,0003295
(44) 2, 2', 3, 5' - Tetraclorobifenil	0,000031	0,0001113	mg/kg	<0,0001113	<0,0001113	<0,0001113	<0,0001113
(66) 2, 3', 4, 4' - Tetraclorobifenil	0,000149	0,0004731	mg/kg	<0,0004731	<0,0004731	<0,0004731	<0,0004731
(101) 2, 2', 4, 5, 5' - Pentaclorobifenil	0,000043	0,0001367	mg/kg	<0,0001367	<0,0001367	<0,0001367	<0,0001367
(87) 2, 2', 3, 4, 5' - Pentaclorobifenil	0,000053	0,0001865	mg/kg	<0,0001865	<0,0001865	<0,0001865	<0,0001865
(110) 2, 3, 3', 4', 6 - Pentaclorobifenil	0,000072	0,0002548	mg/kg	<0,0002548	<0,0002548	<0,0002548	<0,0002548
(151) 2, 2', 3, 5, 5', 6 - Hexaclorobifenil	0,000059	0,0002091	mg/kg	<0,0002091	<0,0002091	<0,0002091	<0,0002091
(118) 2, 3', 4, 4', 5 - Pentaclorobifenil	0,000050	0,0001596	mg/kg	<0,0001596	<0,0001596	<0,0001596	<0,0001596
(153) 2, 2', 4, 4', 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,000079	0,0002786	mg/kg	<0,0002786	<0,0002786	<0,0002786	<0,0002786
(141) 2, 2', 3, 4, 5, 5' - Hexaclorobifenil	0,000055	0,0001947	mg/kg	<0,0001947	<0,0001947	<0,0001947	<0,0001947
(137) 2, 2', 3, 4, 4', 5 - Hexaclorobifenil	0,000054	0,0001716	mg/kg	<0,0001716	<0,0001716	<0,0001716	<0,0001716
(138) 2, 2', 3, 4, 4', 5' - Hexaclorobifenil	0,000061	0,0002157	mg/kg	<0,0002157	<0,0002157	<0,0002157	<0,0002157
(187) 2, 2', 3, 4', 5, 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,000041	0,0001456	mg/kg	<0,0001456	<0,0001456	<0,0001456	<0,0001456
(183) 2, 2', 3, 4, 4', 5', 6 - Heptaclorobifenil	0,000033	0,0001172	mg/kg	<0,0001172	<0,0001172	<0,0001172	<0,0001172
(180) 2, 2', 3, 4, 4', 5, 5' - Heptaclorobifenil	0,000045	0,0001603	mg/kg	<0,0001603	<0,0001603	<0,0001603	<0,0001603
(170) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5 - Heptaclorobifenil	0,000036	0,0001259	mg/kg	<0,0001259	<0,0001259	<0,0001259	<0,0001259
(206) 2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5', 6 - Nonaclorobifenil	0,000078	0,0002473	mg/kg	<0,0002473	<0,0002473	<0,0002473	<0,0002473
PCBs (suma de siete PCB indicadores PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180.)	0,000031	0,0001073	mg/kg	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073	<0,0001073

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE "

"Este documento sin firma digital carece de validez"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

Anexo 8 Propiedades toxicológicas de los bifenilos policlorados (PCB) de la base de datos del programa de Acciones Correctivas Basadas en el Riesgo (Risk based corrective action – RBCA)

RBCA Tool Kit for Chemical Releases, Versión 2.6e

PARAMETROS QUIMICOS PARA CDI SELECCIONADOS

Parámetros sobre toxicidad									
Compuesto	RfD ó TDSI oral (mg/kg/día)	RfD ó TDSI dérmico (mg/kg/día)	RfC ó TCA equivalente inhalación (mg/m ³)	Factor de pendiente equivalente oral 1/(mg/kg/día)	Factor de pendiente dérmico equivalente 1/(mg/kg/día)	Factor Unitario equivalente de riesgo por inhalación 1/(µg/m ³)			
Bifenilos policlorados (líquidos)	0.00002	0.00002	0.0005	2	2	0.00057	EPA-I	D2	EPA-I

Nombre del sitio: Corimarca
 Lugar: Almacén de Corimarca
 Realizado por: María de Jesús Figueroa
 Fecha: 2-May-24
 Nombre de trabajo: Tesis

Anexo 9 Datos de exposición considerado en el programa RBCA para adultos y niños

RBCA Tool Kit for Chemical Releases, Versión 2.6e

EVALUACIÓN TIPO RBCA DEL SITIO Resumen de parámetros ingresados

Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca

Realizado por: María de Jesús Figueroa
Fecha: 2-May-24

Parámetros de exposición	Residencial				Comercial/Industrial		Definido por el usuario
	Niño	Adolescente	Adulto*	Ajustado por edad**	Adulto	Construcción	
ATc	70	70	70	NA	70	70	74.5
ATn	6	12	30	NA	25	1	24
BW	15	35	70	NA	70	70	65
ED	6	12	30	NA	25	1	24
v	30	30	30	NA	30	30	24
EF	350	350	350	NA	250	180	60.83
EFD	350	350	350	NA	250	180	365
IRw	1	1	2	2.5	1	NA	0
IRs	200	200	100	387	50	100	100
SA	2023	2023	3160	4771	3160	3160	4700
M	0.5	0.5	0.5	NA	0.5	0.5	2
ETswim	1	3	3	NA	NA	NA	NA
EVswim	12	12	12	NA	NA	NA	NA
IRswim	0.5	0.5	0.05	0.3	NA	NA	NA
SAswim	3500	8100	23000	15680	NA	NA	NA
IRfish	0.025	0.025	0.025	0.053	NA	NA	NA
Ffish	1	1	1	NA	NA	NA	NA
IRbg	0.002	0.002	0.006	2.053	NA	NA	NA
IRabg	0.001	0.001	0.002	0.887	NA	NA	NA
VGbg	0.01	0.01	0.01	NA	NA	NA	NA
VGabg	0.01	0.01	0.01	NA	NA	NA	NA

* = Se usa adulto como el receptor para agentes no cancerígenos.

** = La tasa ajustada por edad es un valor efectivo que equivale a los factores de exposición de adultos.

Receptores y rutas de exposición	En sitio	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2
Agua subterránea:			
Ingestión de agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Lixiviación de suelos a ingesta de agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Aplicar MCL	No	No	No
Rutas de exposición aplicables a agua superficial:			
Natación	NA	NA	Ninguno
Consumo de pescado	NA	NA	Ninguno
Protección de la vida acuática	NA	NA	Ninguno
Suelo:			
Contacto Directo: Ingestión, Contacto Dérmico, Inhalación	Definido por Usua	NA	NA
Aire exterior:			
Partículas de los suelos superficiales	Definido por Usua	Ninguno	Ninguno
Volatilización desde los suelos	Definido por Usua	Ninguno	Ninguno
Volatilización desde agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Aire interior:			
Volatilización desde los suelos	Ninguno	NA	NA
Volatilización desde agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Lixiviación de suelo, volatilización desde agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Distancia del foco al receptor	En sitio	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	(Unidades)
Receptor de agua subterránea	NA	NA	NA	(m)
Receptor por inhalación de aire exterior	0	NA	NA	(m)
Receptor por inhalación de aire interior	NA	NA	NA	(m)

Valores aceptables de riesgo para la salud	Individual	Acumulativo
RA Riesgo aceptable (agentes cancerígenos)	1.0E-5	1.0E-5
CPA Cociente de peligro aceptable (riesgo no cancerígeno)	1.0E+0	1.0E+0

Opciones para aplicar modelos	
RBCA tier	Tier 2
Modelo de volatilización a aire exterior	Modelo de suelo superficial
Modelo de volatilización a aire interior	NA
Modelo de lixiviación del suelo	NA
¿Usar el modelo de atenuación del suelo (SAM) para lixiviación?	NA
¿Usar el modelo de desorción con equilibrio dual?	No
¿Aplicar el límite por balance de masa para la volatilización del suelo?	No
Opciones de cálculo para vegetales	NA
Factor de dilución del aire	NA
Factor de atenuación por dilución en agua subterránea	NA

Nota: NA = No aplica

Amenazado = Valor específico al sitio (diferente del valor predefinido actual)

EVALUACIÓN TIPO RBCA DEL SITIO

Resumen de los parámetros ingresado:

Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca

Realizado por: María de Jesús Figueroa
Fecha: 2-May-24

Parámetros para suelo superficial		Valor				(Unidades)
n_{cap}	Espesor de la zona capilar	NA				(m)
n_v	Espesor de la zona vadosa	NA				(m)
ρ_s	Densidad seca del suelo	1.7				(g/cm ³)
f_{oc}	Fración de carbono orgánico	0.002				(-)
θ_T	Porosidad total del suelo	0.36				(-)
			franja capilar	zona vadosa	solera	
θ_w	Contenido volumétrico de agua	0.324	0.24		0.12	(-)
θ_a	Contenido volumétrico de aire	0.036	0.12		0.26	(-)
K_{rs}	Conductividad hidráulica vertical	0.864				(cm/d)
k_v	Permeabilidad al vapor	1E-15				(m ²)
L_{gw}	Profundidad hasta el agua subt.	NA				(m)
pH	pH del suelo/agua subterránea	6.8				(-)
W	Longitud del foco paralela al viento	50				(m)
W_{gw}	Longitud del foco paralela al flujo de agua subt.	NA				(m)
L_{ss}	Espesor de suelo superficial afectado	NA				(m)
A	Área del foco	2025				(m ²)
L_s	Profundidad hasta el tope de suelo afectado	0				(m)
L_{base}	Profundidad hasta la base de suelo afectado	0.3				(m)
L_{subs}	Espesor de suelo afectado	0.3				(m)

Parámetros de aire exterior		Valor				(Unidades)
U_{air}	Velocidad del aire ambiental en la zona de mezcla	2.25				(m/s)
δ_{air}	Altura de la zona de mezcla	2				(m)
Q/C	Inverso de la concentración promedio en el centro del foco	NA				(g/cm ² /s)
P_a	Tasa de emisión de partículas en aire	6.9E-14				(g/cm ² /s)
V	Fración de cubierta vegetal	NA				(-)
U_m	Velocidad anual promedio a 7m	NA				(m/s)
U_t	Valor umbral de velocidad del aire equivalente a 7m	NA				(m/s)
F(x)	Función de la velocidad del viento según Um/Ut	NA				(-)
PEF	Factor de emisión de partículas	7.66667E-12				(g/cm ² /s)

Parámetros para edificios		Residencial	Comercial			(Unidades)
L_b	Proporción volumen/área del edificio	NA	NA			(m)
A_b	Área de la solera	NA	NA			(m ²)
X_{crk}	Perímetro de la solera	NA	NA			(m)
ER	Tasa de intercambio del aire en el edificio	NA	NA			(1/s)
L_{crk}	Espesor de la solera	NA	NA			(m)
Z_{crk}	Profundidad hasta el fondo de la solera	NA	NA			(m)
η	Fración agrietada de la solera	NA	NA			(-)
dP	Presión diferencial interna/externa	NA	NA			(g/cm ² /s ²)
Q_s	Flujo de aire convectivo que atraviesa la placa	NA	NA			(m ³ /s)
θ_{wcrack}	Contenido de agua en las grietas	NA	NA			(-)
θ_{acrack}	Contenido de aire en las grietas	NA	NA			(-)
BV	Volumen del edificio	NA	NA			(m ³)
w	Ancho del edificio perpendicular al flujo de agua subt.	NA	NA			(m)
L	Largo del edificio paralelo al flujo de agua subt.	NA	NA			(m)
v	Porosidad del suelo en la zona saturada	NA	NA			(-)

Parámetros para aguas subterráneas		Valor				(Unidades)
δ_{gw}	Profundidad de la zona de mezcla de agua subt.	NA				(m)
I_t	Tasa neta de infiltración de agua subt.	NA				(cm/año)
U_{gw}	Velocidad Darcy de agua subt.	NA				(cm/d)
V_{gw}	Velocidad de filtración de las aguas subt.	NA				(cm/d)
K_s	Conductividad hidráulica saturada	NA				(cm/d)
i	Gradiente del agua subt.	NA				(-)
S_w	Ancho del foco en agua subt.	NA				(m)
S_d	Profundidad del foco en agua subt.	NA				(m)
θ_{eff}	Porosidad efectiva en el acuífero	NA				(-)
f_{oc-sat}	Fración de carbono orgánico en el acuífero	NA				(-)
pH _{sat}	pH del agua subterránea	NA				(-)
	¿Se consideró biodegradación?	NA				(-)

Parámetros de Transporte		Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	(Unidades)
Transporte lateral en agua subterránea		Ingestión de agua subterránea		Agua subt. a aire interior		
α_x	Dispersividad longitudinal	NA	NA	NA	NA	(m)
α_y	Dispersividad transversal	NA	NA	NA	NA	(m)
α_z	Dispersividad vertical	NA	NA	NA	NA	(m)
Transporte lateral en aire exterior		Suelo - inhal. de aire exterior		Agua subt. - inhal. de aire exterior		
σ_y	Coefficiente de dispersión transversal	NA	NA	NA	NA	(m)
σ_z	Coefficiente de dispersión vertical	NA	NA	NA	NA	(m)
ADF	Factor de dispersión del aire	NA	NA	NA	NA	(-)

Parámetros de Agua Superficial		Fuera del sitio 2			(Unidades)
Q_{sw}	Caudal de agua superficial	NA			(m ³ /s)
W_{pi}	Ancho de la pluma en la descarga de agua sup.	NA			(m)
δ_{pi}	Espesor de la pluma en la descarga de agua sup.	NA			(m)
DF_{sw}	Factor de dilución agua subt./agua sup.	NA			(-)

Nota: NA = No aplica

Anaranjado = Valor específico al sitio (diferente del valor predefinido actual)

EVALUACIÓN TIPO RBCA DEL SITIO Resumen de parámetros ingresados

Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca

Realizado por: María de Jesús Figueroa
Fecha: 2-May-24

Parámetros de exposición	Residencial				Comercial/Industrial		Definido por el usuario
	Niño*	Adolescente	Adulto	Ajustado por edad**	Adulto	Construcción	
ATc Tiempo promedio para agentes cancerígenos (años)	70	70	70	NA	70	70	74.5
ATn Tiempo promedio para agentes no cancerígenos (años)	6	12	30	NA	25	1	6
BW Peso corporal (kg)	15	35	70	NA	70	70	12
ED Duración de la exposición (años)	6	12	30	NA	25	1	6
τ Tiempo promedio para el flujo de vapor (años)	30	30	30	NA	30	30	6
EF Frecuencia de la exposición (días/año)	350	350	350	NA	250	180	60.83
EFD Frecuencia de exposición para la exposición dérmica (días/año)	350	350	350	NA	250	180	365
IRw Tasa de ingestión de agua (L/día)	1	1	2	2.5	1	NA	0
IRs Tasa de ingestión de suelo (mg/día)	200	200	100	387	50	100	200
SA Área de la superficie de la piel (estacional) (cm ²)	2023	2023	3160	4771	3160	3160	2625
M Factor de adherencia del suelo a la piel	0.5	0.5	0.5	NA	0.5	0.5	2
ETswim Tiempo de exposición por inmersión (hr/veces)	1	3	3	NA	NA	NA	NA
EVswim Frecuencia de las inmersiones (veces/año)	12	12	12	NA	NA	NA	NA
IRswim Ingestión del agua durante la inmersión (L/hr)	0.5	0.5	0.05	0.3	NA	NA	NA
SASwim Área de la superficie de la piel durante la inmersión (cm ²)	3500	8100	23000	15680	NA	NA	NA
IRfish Tasa de ingestión de pescado (kg/año)	0.025	0.025	0.025	0.053	NA	NA	NA
FRfish Fracción de pescado contaminado (-)	1	1	1	NA	NA	NA	NA
IRbg Ingestión de vegetales subterráneos (kg/día)	0.002	0.002	0.005	2.053	NA	NA	NA
IRabg Ingestión de vegetales superficiales (kg/día)	0.001	0.001	0.002	0.887	NA	NA	NA
VGbg Factor de corrección para ingestión de vegetales superficiales	0.01	0.01	0.01	NA	NA	NA	NA
VGabg Factor de corrección para ingestión de vegetales subterráneos	0.01	0.01	0.01	NA	NA	NA	NA

* - Se usa niño como el receptor para agentes no cancerígenos.

** - La tasa ajustada por edad es un valor efectivo que equivale a los factores de exposición de adultos.

Receptores y rutas de exposición	En sitio	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2
Agua subterránea:			
Ingestión de agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Lixiviación de suelos a ingesta de agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Aplicar MCL	No	No	No
Rutas de exposición aplicables a agua superficial:			
Natación	NA	NA	Ninguno
Consumo de pescado	NA	NA	Ninguno
Protección de la vida acuática	NA	NA	Ninguno
Suelo:			
Contacto Directo: Ingestión, Contacto Dérmico, Inhalación	Definido por Usua	NA	NA
Aire exterior:			
Partículas de los suelos superficiales	Definido por Usua	Ninguno	Ninguno
Volatilización desde los suelos	Definido por Usua	Ninguno	Ninguno
Volatilización desde agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Aire interior:			
Volatilización desde los suelos	Ninguno	NA	NA
Volatilización desde agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Lixiviación de suelo, volatilización desde agua subterránea	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Distancia del foco al receptor	En sitio	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	(Unidades)
Receptor de agua subterránea	NA	NA	NA	(m)
Receptor por inhalación de aire exterior	0	NA	NA	(m)
Receptor por inhalación de aire interior	NA	NA	NA	(m)

Valores aceptables de riesgo para la salud	Individual	Acumulativo
RA Riesgo aceptable (agentes cancerígenos)	1.0E-5	1.0E-5
CPA Cociente de peligro aceptable (riesgo no cancerígeno)	1.0E+0	1.0E+0

Opciones para aplicar modelos	
RBCA tier	Tier 2
Modelo de volatilización a aire exterior	Modelo de suelo superficial
Modelo de volatilización a aire interior	NA
Modelo de lixiviación del suelo	NA
¿Usar el modelo de atenuación del suelo (SAM) para lixiviación?	NA
¿Usar el modelo de desorción con equilibrio dual?	No
¿Aplicar el límite por balance de masa para la volatilización del suelo?	No
Opciones de cálculo para vegetales	NA
Factor de dilución del aire	NA
Factor de atenuación por dilución en agua subterránea	NA

Nota: NA = No aplica

Anaranjado = Valor específico al sitio (diferente del valor predefinido actual)

EVALUACIÓN TIPO RBCA DEL SITIO

Resumen de los parámetros ingresado

Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca

Realizado por: María de Jesús Figueroa
Fecha: 2-May-24

Parámetros para suelo superficial		Valor				(Unidades)
h_{cap}	Espesor de la zona capilar	NA				(m)
h_v	Espesor de la zona vadosa	NA				(m)
ρ_s	Densidad seca del suelo	1.7				(g/cm ³)
f_{oc}	Fracción de carbono orgánico	0.002				(-)
θ_T	Porosidad total del suelo	0.36				(-)
			franja capilar	zona vadosa	solera	
θ_w	Contenido volumétrico de agua	0.324	0.24		0.12	(-)
θ_a	Contenido volumétrico de aire	0.036	0.12		0.26	(-)
K_{vs}	Conductividad hidráulica vertical	0.864				(cm/d)
K_v	Permeabilidad al vapor	1E-15				(m ²)
L_{gw}	Profundidad hasta el agua subt.	NA				(m)
pH	pH del suelo/agua subterránea	6.8				(-)
W	Longitud del foco paralela al viento	50				(m)
W_{gw}	Longitud del foco paralela al flujo de agua subt.	NA				(m)
L_{ss}	Espesor de suelo superficial afectado	NA				(m)
A	Área del foco	2025				(m ²)
L_s	Profundidad hasta el tope de suelo afectado	0				(m)
L_{base}	Profundidad hasta la base de suelo afectado	0.3				(m)
L_{subs}	Espesor de suelo afectado	0.3				(m)

Parámetros de aire exterior		Valor				(Unidades)
U_{air}	Velocidad del aire ambiental en la zona de mezcla	2.25				(m/s)
δ_{air}	Altura de la zona de mezcla	2				(m)
Q/C	Inverso de la concentración promedio en el centro del foco	NA				
P_a	Tasa de emisión de partículas en aire	6.9E-14				(g/cm ² /s)
V	Fracción de cubierta vegetal	NA				
U_m	Velocidad anual promedio a 7m	NA				
U_l	Valor umbral de velocidad del aire equivalente a 7m	NA				
F(x)	Función de la velocidad del viento según U_m/U_l	NA				
PEF	Factor de emisión de partículas	7.66667E-12				

Parámetros para edificios		Residencial	Comercial			(Unidades)
L_b	Proporción volumen/área del edificio	NA	NA			(m)
A_b	Área de la solera	NA	NA			(m ²)
X_{crk}	Perímetro de la solera	NA	NA			(m)
ER	Tasa de intercambio del aire en el edificio	NA	NA			(1/s)
L_{crk}	Espesor de la solera	NA	NA			(m)
Z_{crk}	Profundidad hasta el fondo de la solera	NA	NA			(m)
η	Fracción agrietada de la solera	NA	NA			(-)
dP	Presión diferencial interna/externa	NA	NA			(g/cm/s ²)
Q_s	Flujo de aire convectivo que atraviesa la placa	NA	NA			(m ³ /s)
θ_{wcrack}	Contenido de agua en las grietas	NA	NA			(-)
θ_{acrack}	Contenido de aire en las grietas	NA	NA			(-)
BV	Volumen del edificio	NA	NA			(m ³)
w	Ancho del edificio perpendicular al flujo de agua subt.	NA	NA			(m)
L	Largo del edificio paralelo al flujo de agua subt.	NA	NA			(m)
v	Porosidad del suelo en la zona saturada	NA	NA			(-)

Parámetros para aguas subterráneas		Valor				(Unidades)
δ_{gw}	Profundidad de la zona de mezcla de agua subt.	NA				(m)
l_i	Tasa neta de infiltración de agua subt.	NA				(cm/año)
U_{gw}	Velocidad Darcy de agua subt.	NA				(cm/d)
V_{gw}	Velocidad de filtración de las aguas subt.	NA				(cm/d)
K_s	Conductividad hidráulica saturada	NA				(cm/d)
i	Gradiente del agua subt.	NA				(-)
S_w	Ancho del foco en agua subt.	NA				(m)
S_d	Profundidad del foco en agua subt.	NA				(m)
θ_{eff}	Porosidad efectiva en el acuífero	NA				(-)
f_{oc-sat}	Fracción de carbono orgánico en el acuífero	NA				(-)
pH _{sat}	pH del agua subterránea	NA				(-)
z_{Se}	¿Se consideró biodegradación?	NA				

Parámetros de Transporte		Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	Fuera del sitio 1	Fuera del sitio 2	(Unidades)
Transporte lateral en agua subterránea		<u>Ingestión de agua subterránea</u>		<u>Agua subt. a aire interior</u>		
α_x	Dispersividad longitudinal	NA	NA	NA	NA	(m)
α_y	Dispersividad transversal	NA	NA	NA	NA	(m)
α_z	Dispersividad vertical	NA	NA	NA	NA	(m)
Transporte lateral en aire exterior		<u>Suelo - inhal. de aire exterior</u>		<u>Agua subt. - inhal. de aire exterior</u>		
σ_y	Coefficiente de dispersión transversal	NA	NA	NA	NA	(m)
σ_z	Coefficiente de dispersión vertical	NA	NA	NA	NA	(m)
ADF	Factor de dispersión del aire	NA	NA	NA	NA	(-)

Parámetros de Agua Superficial		Fuera del sitio 2		(Unidades)
Q_{sw}	Caudal de agua superficial		NA	(m ³ /s)
W_{pi}	Ancho de la pluma en la descarga de agua sup.		NA	(m)
δ_{pi}	Espesor de la pluma en la descarga de agua sup.		NA	(m)
DF_{sw}	Factor de dilución agua subt./agua sup.		NA	(-)

Nota: NA = No aplica

Anaranjado = Valor específico al sitio (diferente del valor predefinido actual)

1 de 3

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS (Marcado si la ruta está completa)
SUELO SUPERFICIAL: EN SITIO ingestión,
CONTACTO DERMICO

1) Foco del suelo	2) Factor multiplicador de la exposición	3) Tasa de ingesta diaria promedio (mg/kg/d) (1) x (2)
Conc. en suelo superficial (mg/kg)	Definido por Usuario Obrero de construcción	Definido por Usuario Obrero de construcción
1.1E-4	8.1E-6	8.7E-10

Compuestos de Interés
 Bifenilos policlorados (líquidos)

RAF = Factor de absorción relativa (-)	ED = Duración de la exposición (años)	IR = Tasa de ingesta del suelo (mg/día)
M = Factor de adherencia (mg/cm ²)	EF = Frecuencia de la exposición (días/año)	SA = Área de exposición en la piel (cm ² /día)
Nombre del sitio: Corimarca	Fecha: 2-May-24	Nombre de trabajo: Receptor Adulto
Lugar: Almacén de Corimarca		
Realizado por: María de Jesús Figueroa		

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

2 de 3

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS

■ (Marcado si la ruta está completa)

RIESGO CANCERÍGENO

(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Tasa de ingesta de compuestos cancerígenos (mg/kg/día)		(3) Factor de pendiente (mg/kg/día) ⁻¹		(4) Riesgo de cada CDI (2a)X(3a) + (2b)X(3b) (2c)X(3a) + (2d)X(3b) Obrero de construcción
	(a) por ingestión	(b) por contacto dérmico	(c) por ingestión	(d) por contacto dérmico	
VERDADERO	Definido por Usuario 8.9E-12	Definido por Usuario 8.6E-10	Obrero de construcción 2.0E+0	Obrero de construcción 2.0E+0	Definido por Usuario 1.7E-9

** Si no hay factor de pendiente para contacto dérmico, se usa factor de pendiente para exposición oral.

Riesgo acumulativo de cáncer =

1.7E-9

Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca
Realizado por: María de Jesús Figueroa

Fecha: 2-May-24
Nombre de trabajo: Receptor Adulto

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

3 de 3

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS

(Marcado si la ruta está completa)

EFFECTOS TÓXICOS

Compuestos de Interés	(5) Tasa total de ingesta (mg/kg/día)		(6) Dosis de referencia (mg/kg-d)	(7) Cociente de peligro por cada CDI		
	(a) por ingestión	(b) por contacto dérmico			(c) por ingestión	(d) por contacto dérmico
Bifenilos policlorados (líquidos)	Definido por Usuario 2.8E-11	Definido por Usuario 4.5E-10	Obrero de construcción 2.0E-5	Obrero de construcción 2.4E-5	Definido por Usuario 2.4E-5	Obrero de construcción 2.4E-5

** Si no hay dosis de referencia dérmica, se usa la dosis de referencia oral.

Índice de peligro acumulativo = 2.4E-5

Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca
Realizado por: María de Jesús Figueroa

Fecha: 2-May-24
Nombre de trabajo: Receptor Adulto

EVALUACIÓN TIPO RBCA DEL SITIO

8 de 9

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

■ (Marcado si la ruta está completa)

RIESGO CANCERÍGENO

(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Máxima exposición compuestos cancerígenos (mg/m ³)		(3) Factor unitario de riesgo para inhalación (µg/m ³) ⁻¹	(4) Riesgo por cada CDI (2) x (3) x 1000	
	En sitio (0 m) Definido por Usuario	Fuera del sitio 1 (0 m) Ninguno		En sitio (0 m) Definido por Usuario	Fuera del sitio 1 (0 m) Ninguno
#####	3.7E-12	-	5.7E-4	2.1E-12	Fuera del sitio 2 (0 m) Ninguno

Compuestos de Interés

Bifenilos policlorados (líquidos)

Riesgo acumulativo de cáncer =

2.1E-12

It: Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca

Realizado por: María de Jesús Figueroa
Fecha: 2-May-24

Nombre de trabajo: Receptor Adulto

EVALUACIÓN TIPO RBCA DEL SITIO

9 de 9

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

■ (Marcado si la ruta está completa)

EFFECTOS TÓXICOS

	(5) Exposición máxima al compuesto (mg/m ³)		(6) Concentración de referencia para inhalación (mg/m ³)	(7) Cociente de peligro por CDI (5) / (6)	
	En sitio (0 m) Definido por Usuario	Fuera del sitio 1 (0 m) Ninguno		En sitio (0 m) Definido por Usuario	Fuera del sitio 1 (0 m) Ninguno
Compuestos de Interés					
Bifenilos policlorados (líquidos)	1.2E-11		5.0E-4	2.3E-8	

Índice de peligro acumulativo = 2.3E-8

Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca

Realizado por: María de Jesús Figueroa
Fecha: 2-May-24

Nombre de trabajo: Receptor Adu

RBCA Tool Kit for Chemical Releases, Versión 2.6e

CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE EXPOSICIÓN Y DOSIS		
		1 de 3
<input checked="" type="checkbox"/> (Marcado si la ruta está completa)		
RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS SUELO SUPERFICIAL: EN SITIO ingestión, CONTACTO DERMICO		
	2) Factor multiplicador de la exposición Definido por Usuario Obrero de construcción	3) Tasa de ingesta diaria promedio (mg/kg/d) (1) x (2) Definido por Usuario Obrero de construcción
1) Foco del suelo Conc. en suelo superficial (mg/kg)	6.3E-6	6.8E-10
Compuestos de Interés Bifenilos policlorados (líquidos)		
1.1E-4		-

RAF = Factor de absorción relativa (-) M = Factor de adherencia (mg/cm ²)	AT = Tiempo promedio (días) BW = Peso corporal (kg)	ED = Duración de la exposición (años) EF = Frecuencia de la exposición (días/año)
IR = Tasa de ingesta del suelo (mg/día) SA = Área de exposición en la piel (cm ² /día)		

Nombre del sitio: Corimarca
 Lugar: Almacén de Corimarca
 Realizado por: María de Jesús Figueroa
 Fecha: 2-May-24
 Nombre de trabajo: **Receptor Niño**

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

2 de 3

RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS

■ (Marcado si la ruta está completa)

RIESGO CANCERÍGENO

(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Tasa de ingesta de compuestos cancerígenos (mg/kg/día)		(3) Factor de pendiente (mg/kg/día) ⁻¹	(4) Riesgo de cada CDI
	(a) por ingestión	(b) por contacto dérmico		
VERDADERO	2.4E-11	6.5E-10	2.0E+0	1.4E-9
	Definido por Usuario		(a) oral	Definido por Usuario
	Obrero de construcción		(b) dérmico**	Obrero de construcción
			2.0E+0	2.0E+0

** Si no hay factor de pendiente para contacto dérmico, se usa factor de pendiente para exposición oral.

Riesgo acumulativo de cáncer =

1.4E-9

Nombre del sitio: Corimarca
 Lugar: Almacén de Corimarca
 Realizado por: María de Jesús Figueroa

Fecha: 2-May-24
 Nombre de trabajo: Receptor Niño

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN						3 de 3
■ (Marcado si la ruta está completa)						
RUTA DE EXPOSICIÓN A SUELOS						
EFFECTOS TÓXICOS						
(5) Tasa total de ingesta (mg/kg/día)		(6) Dosis de referencia (mg/kg-d)		(7) Cociente de peligro por cada CDI		
(a) por ingestión	(b) por contacto dérmico	(c) por ingestión	(d) por contacto dérmico	(5a)/(6a) + (5b)/(6b)	(5c)/(6a) + (5d)/(6b)	
Definido por Usuario	Definido por Usuario	Obrero de construcción	Obrero de construcción	Definido por Usuario	Obrero de construcción	
3.0E-10	1.4E-9	2.0E-5	2.0E-5	8.3E-5	8.3E-5	
<p>Compuestos de Interés Bifenilos policlorados (líquidos)</p>						
<p>** Si no hay dosis de referencia dérmica, se usa la dosis de referencia oral.</p> <p>Índice de peligro acumulativo = 8.3E-5</p>						

Nombre del sitio: Corimarca
 Lugar: Almacén de Corimarca
 Realizado por: María de Jesús Figueroa

Fecha: 2-May-24
 Nombre de trabajo: Receptor Niño

EVALUACIÓN TIPO RBCA DEL SITIO

8 de 9

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR (Marcado si la ruta está completa)

RIESGO CANCERÍGENO

(1) ¿Es cancerígeno?	(2) Máxima exposición compuestos cancerígenos (mg/m ³)			(3) Factor unitario de riesgo para inhalación (µg/m ³) ⁻¹	(4) Riesgo por cada CDI (2) x (3) x 1000		
	En sitio (0 m) Definido por Usuario	Fuera del sitio 1 (0 m)	Fuera del sitio 2 (0 m)		En sitio (0 m) Obrero de la construcción	Fuera del sitio 1 (0 m)	Fuera del sitio 2 (0 m)
Compuestos de Interés							
Bifenilos policlorados (líquidos)	1.9E-12	-	-	5.7E-4	1.1E-12	Ninguno	Ninguno

Riesgo acumulativo de cáncer =

1.1E-12

Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca

Realizado por: María de Jesús Figueroa
Fecha: 2-May-24

Nombre de trabajo: **Receptor Niño**

EVALUACIÓN TIPO RBCA DEL SITIO

9 de 9

CÁLCULO DEL RIESGO SEGÚN LA RUTA DE EXPOSICIÓN

RUTAS DE EXPOSICIÓN A AIRE EXTERIOR

■ (Marcado si la ruta está completa)

EFECTOS TÓXICOS

Compuestos de Interés	(5) Exposición máxima al compuesto (mg/m ³)		(6) Concentración de referencia para inhalación (mg/m ³)	(7) Cociente de peligro por CDI (5) / (6)	
	En sitio (0 m) Definido por Usuario	Fuera del sitio 1 (0 m) Ninguno		En sitio (0 m) Definido por Usuario	Fuera del sitio 1 (0 m) Ninguno
Bifenilos policlorados (líquidos)	2.3E-11	Ninguno	5.0E-4	4.7E-8	Ninguno

índice de peligro acumulativo = 4.7E-8

Nombre del sitio: Corimarca
Lugar: Almacén de Corimarca

Realizado por: María de Jesús Figueroa
Fecha: 2-May-24

Nombre de trabajo: Receptor Niñr