



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Biorremediación de suelos contaminados con bifenilos
policlorados mediante la aplicación de microorganismos
eficaces, distrito de Shanao, Lamas, 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Silva Fasanando, Greicy Stefany (ORCID: 0000-0002-8267-5145)
Guerra Sangama, Magaly (ORCID: 0000-0002-3516-0085)

ASESOR:

Dr. Túllume Chavesta, Milton César (ORCID: 0000-0002-0432-2459)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Sistema de Gestión Ambiental

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A mis padres, por su comprensión y apoyo incondicional; ya que sin ellos no hubiese cumplido esta meta.

A mi esposo, por estar a mi lado en este largo camino, y sin importar las condiciones me apoyo y alentó para seguir a delante.

Y a mi hija, la motivación para todos mis sueños.

Greicy S. Silva Fasanando.

A mis padres, por ser la guía del camino para alcanzar un peldaño más en la escalera de la vida profesional.

Magaly Guerra Sangama.

Agradecimiento

A nuestros padres por su lucha constante para lograr concluir nuestra investigación y así permitirnos alcanzar el grado profesional.

A la Universidad Cesar Vallejo por permitirnos cumplir con nuestros objetivos y lograr el título profesional.

Al Dr. Ing. Milton César, Túllume Chavesta – Asesor de la tesis por su orientación permanente en el desarrollo de la tesis.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	7
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.1.1. Tipo de investigación	15
3.1.2. Diseño de Investigación.....	15
3.2. Variables y operacionalización	15
3.2.1. Variable dependiente.....	15
3.2.2. Variable independiente.....	15
3.3. Población, muestra y muestreo	17
3.3.1. Población	17
3.3.2. Muestra.....	17
3.3.3. Muestreo	17
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
3.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	18
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....	19
3.5. Criterios de validez y confiabilidad.....	19
3.5.1. Validez de instrumentos.....	19
3.5.2. Confiabilidad de instrumentos	19
3.6. Procedimiento	19
3.7. Método de análisis de datos.....	24
3.8. Aspectos éticos.....	25
IV. RESULTADOS	26
V. DISCUSIÓN	31
VI. CONCLUSIONES	35
VII. RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	16
Tabla 2 Cantidad mínima de puntos de muestreo.....	18
Tabla 3 Red de puntos de monitoreo.....	20
Tabla 4 Parámetros indicadores durante el ensayo.....	20
Tabla 5 Variación de los parámetros físicos y químicos en la biorremediación del suelo.....	26
Tabla 6 Volumen y concentración del consorcio en la biorremediación de suelo.....	27
Tabla 7 Concentración de bifenilos policlorados.....	28
Tabla 8 Prueba de normalidad para la concentración de PCBs presente en el suelo.....	29
Tabla 9 Prueba de homogeneidad de varianzas para concentración de PCBs en suelo.....	29
Tabla 10 Análisis de varianza del contenido de PCBs en el suelo.....	30

Índice de figuras

Figura 1. Esquema del proceso de biorremediación.	22
Figura 2. Puntos de muestreo en la sub-parcela.....	23
Figura 3. Concentración de Bifenilos policlorados en cada sistema de tratamiento.	28

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar si la biorremediación mediante microorganismos eficaces mejora el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados. El tipo de investigación según el propósito o finalidad que se persigue es aplicada, la población estuvo representada por el suelo contaminado con bifenilos policlorados en el área del depósito de residuos dieléctricos de la empresa Electro Oriente - Tarapoto, ubicada en el distrito de Morales - sector La Planicie y la muestra lo constituyeron un total de 4 m³; el cual fue tratado mediante tratamiento ex situ en tres sub-parcelas experimentales (SP1, SP2 y SP3). Se evaluó la concentración de bifenilos policlorados y parámetros físicos y químicos como conductividad eléctrica, humedad, pH y temperatura al inicio y final del proceso; en tratamiento consistió en la aplicación de microorganismos eficaces a dosis de 300, 600 y 1200 mL a una concentración de 64×10^8 UFC/ml cada 5 días por un periodo de 90 días lográndose reducir la concentración de BPC de 7.180 que supera los ECA para suelo agrícola (0.5 ppm) a 5.361, 3.170 y 1.298 ppm respectivamente; lo cual representa una remoción total del 25.33%, 55.85% y 81.92%.

Palabras clave: biorremediación, bifenilos policlorados, microorganismos eficaces.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine if bioremediation by effective microorganisms improves the treatment of soils contaminated with polychlorinated biphenyls. The type of research according to the purpose or purpose pursued is applied, the population was represented by the soil contaminated with polychlorinated biphenyls in the area of the dielectric waste deposit of the company Electro Oriente - Tarapoto, located in the district of Morales - sector The Plain and the sample constituted a total of 4 m³; which was treated by ex situ treatment in three experimental sub-plots (SP1, SP2 and SP3). The concentration of polychlorinated biphenyls and physical and chemical parameters such as electrical conductivity, humidity, pH and temperature at the beginning and end of the process were evaluated; in treatment consisted of the application of effective microorganisms at doses of 300, 600 and 1200 mL at a concentration of 64x10⁸ CFU/mL every 5 days for a period of 90 days, achieving a reduction in PCB concentration of 7,180, which exceeds the ECA for agricultural soil (0.5 ppm) at 5,361, 3,170 and 1,298 ppm respectively; which represents a total removal of 25.33%, 55.85% and 81.92%.

Keywords: bioremediation, polychlorinated biphenyls, effective microorganisms.

I. INTRODUCCIÓN

Respecto a la realidad problemática, cabe mencionar que, la remediación es considerada como el conjunto de actividades encaminadas a controlar, disminuir, y/o eliminar los agentes contaminantes presentes de forma difusa o puntual en suelo. A la actualidad se conoce que, los métodos químicos, físicos o biológicos constituyen los métodos de remediación y los últimos son responsables estrictamente de la biorremediación, tecnología que emplea agentes vivos (hongos, algas, vegetales y/o bacterias) los cuales absorben, degradan o transforman a los contaminantes presentes en el medio (López et al., 2016, p. 2).

La biorremediación podría cambiar el entorno ambiental, estimulando la actividad metabólica de los organismos que se encuentran presentes en el medio (bioestimulación), empleando cultivos de microorganismos a gran escala a partir de los sobrevivientes al agente contaminante al cual se expusieron para posteriormente aplicarlos in-situ o ex-situ de manera individual o en grupos constituyendo así los famosos consorcios microbianos que deben ser mantenidos bajo estricto control a fin de evitar mutaciones y alteren sus propiedades a lo largo del tiempo mientras son conservados (Simbaña & Ramos, 2016, p. 18).

Los ecosistemas naturales se han visto afectados por materiales de desecho nocivos y xenobióticos procedentes de diversas fuentes antropogénicas, lo que ha supuesto una amenaza para la biota y la salud humana. Entre ellos, los metales pesados y los contaminantes orgánicos son motivo de especial preocupación por su persistencia y efectos peligrosos, en función de sus propiedades químicas intrínsecas, que favorecen su toxicidad (Ancona et al., 2021, p. 2).

El suelo es el receptor final de la mayoría de los contaminantes orgánicos hidrófobos, como los PCB, que también pueden provenir de otras matrices ambientales. Los PCB son compuestos orgánicos sintéticos obtenidos de la cloración de una molécula de bifenilo; que se clasifican en 209 congéneres

diferentes, según el número y la posición de los sustitutos del cloro (Sharma et al., 2018, p. 3).

Los PCBs están constituidos por moléculas muy solubles en disolventes apolares, y cuanto mayor sea el número de átomos de cloro, menor será su solubilidad en agua y presión de vapor, debido a que están unidos a la materia orgánica (MO), al contacto con los minerales, pueden ser adsorbidos por las partículas del suelo. La absorción de congéneres de PCB en el suelo depende generalmente de la cantidad de MO del suelo, superficie contaminada y la distribución del tamaño de los poros entre las partículas minerales (Gabryszewska & Gworek, 2021, p. 2).

Por otra parte, la restauración ambiental es necesaria cuando la concentración de contaminantes supera los límites legales. Para este propósito, las tecnologías de remediación mediante plantas están ganando popularidad ya que son una solución sostenible y rentable para recuperar suelos con contaminación química, gracias a muchas especies de plantas que pueden acumular metales tóxicos en sus partes vegetativas y reproductivas. De la misma manera, en el sistema radicular, a través de algunas moléculas, como azúcares, sideróforos y ácidos orgánicos, puede extraer metales en solución del suelo (Ojuederie & Babalola, 2017, p. 2).

Algunos iones metálicos pueden pasar a través de la membrana celular selectivamente permeable y luego pueden ser transportados a estructuras aéreas de la planta. Las comunidades microbianas de la rizosfera pueden apoyar el crecimiento de las plantas, haciéndolas mucho más tolerantes a la alta concentración de metales, y también pueden aumentar la tasa de éxito de los procesos de fitorremediación al reciclar los nutrientes, mantener la estructura del suelo, controlar las enfermedades y reducir el nivel de toxicidad de los metales (Singh et al., 2016, p. 3).

Las complejas interacciones que ocurren entre el sistema radicular de una especie vegetal seleccionada y las comunidades bacterianas autóctonas del suelo en la rizosfera pueden aumentar significativamente la biodegradación de contaminantes orgánicos recalcitrantes. Se ha identificado la vía de

biodegradación de los compuestos orgánicos clorados. Procede a través de varios pasos e involucra diferentes microorganismos. Todo el mecanismo se basa en dos etapas metabólicas microbianas principales: (i) dechloración reductora anaeróbica de congéneres con mayor contenido de cloro y (ii) degradación aeróbica y escisión de la estructura del bifenilo. Se requieren transformaciones secuenciales anaeróbicas-aeróbicas para completar la mineralización de PCB (Ahmad et al., 2018, p. 1,2).

Las plantas juegan un papel crucial en la degradación de los PCB al exudar moléculas anfifílicas, que aumentan la biodisponibilidad de los PCB. Estas moléculas son tensioactivas que pueden mejorar la bioaccesibilidad de algunos congéneres de PCB a la biodegradación por consorcios microbianos. Actualmente se cuenta con diversos estudios a nivel de laboratorio y a pequeña escala donde se evalúa la capacidad de ciertos microorganismos en simbiosis con las plantas potenciando de esta manera la recuperación de los suelos afectados con PCB. Las aplicaciones a escala de campo todavía son pequeñas (Germain et al., 2021, P. 2).

En América Latina, en la etapa de industrialización, ya se venía aplicando innumerables inventivas biotecnológicas para remediar los suelos en diversas áreas contaminadas, donde el tiempo de tratabilidad estaba relacionado directamente con la concentración del agente contaminante, el clima ambiental, el área misma y la profundidad del terreno afectado; debido a que, estos, tienen guardan relación directa sobre el desarrollo y la actividad bioquímica de los organismos empleados en el proceso de recuperación (Gómez et al., 2020, p. 2,3).

En el Perú, el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), rige a partir de 1998 como ente regulador del uso de agroquímicos; el cual sugiere que los productos que no refieran un control conveniente de producción deben ser considerados como sospechosos y se destinarían a mercados internacionales. En la actualidad, promueve diversos programas de control biotecnológico en la agricultura amigable y generando productos más saludables para sus consumidores. Generando así, mayor oferta de

controladores biológicos donde se impulsan laboratorios de producción (Sender & Gómez, 2017 p. 34,35).

Según diversos reportes, en la Amazonía, la biorremediación se vendría aplicando a partir de la década del 90, en el tratamiento de suelos afectados por el derrame de petróleo; por su parte, el MINAM reportan siniestros desde la década del 70, pero que cada año se vienen intensificando; a pesar de diversas medidas preventivas por parte de entidades del rubro de la petroquímica, así como por parte de diverso organismo del gobierno (Cuvi & Bejarano, 2015, p. 2, 3).

A la actualidad, diversas empresas agroindustriales y otras relacionadas, vienen implementando tecnologías de bioremediación para recuperar suelos y aguas impactadas e inclusive en el control de agentes fitopatógenos convertidos en plagas que afectan a los cultivos regionales; los agentes controladores pueden aplicarse en cada una de las etapas de producción a fin de cumplir con las normas fitosanitarias ambientalmente amigables que se exige en el proceso de producción limpia y sostenida sobre todo aquella producción orientada a los mercados internacionales en los casos de exportación (Cuvi & Bejarano, 2015, p. 4).

En la presente investigación, se aplicará una alternativa viable para remediar el suelo impactado producto de su exposición como almacenan de transformadores dieléctricos, los cuales presentan sustancias contaminantes como los bifenilos policlorados. Donde, los microorganismos eficaces constituidos por diversos microorganismos como bacterias y hongos gracias a sus propiedades para transformar, degradar y/o bioacumular serán capaces de disminuir a los compuestos mencionados disponible en el suelo.

Por lo antes expuesto, se plantea el problema general: ¿Cómo la biorremediación mediante microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021?; Mientras que en los problemas específicos las siguientes interrogantes: ¿De qué manera los parámetros físicos y químicos inciden en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito

Shanao, San Martín, 2021?; ¿Cuál es el volumen del consorcio de microorganismos eficaces que incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021? y ¿En qué medida la eficiencia de remoción mediante microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021?

El presente trabajo se Justifica teóricamente, teniendo en cuenta la problemática actual sobre la contaminación, un tema de preocupación. Conociendo además que, en diversos sectores se suscitan derrames, vertimientos y pasivos ambientales que afectación al ambiente y las poblaciones. Además, en diversos países se siguen utilizando sustancias, compuestos y/o aditivos, como los que constituyen los transformadores eléctricos, los cuales según diversos organismos internacionales sugirieron su transición a otros menos nocivos, donde los bifenilos policlorados deben ser reemplazados por otros con menor impacto y sus residuos disponerse en espacios seguros para su tratamiento (Agboola et al., 2020, p. 2).

Respecto a la justificación metodológica, se está orientada al aprovechamiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo y repotenciarlo con la aplicación de los microorganismos eficaces (EM), a fin que estos participen en la degradación, transformación o bioacumulación; considerándose así, una alternativa amigable que mitigue los impactos y promoviendo el bienestar de la población. Considerando que, los EM son seleccionados del suelo, gracias a sus características bioquímicas y otras propiedades especiales que les permite ser considerados en la conformación de consorcios (Azubuike et al., 2016, p. 1).

Por su parte, la justificación social, se sustenta con la viabilidad del tratamiento para la recuperar el suelo contaminado, contribuyendo así con el desarrollo sostenible de la Amazonía y otros con características climatológicas y geológicas similares, además, donde su implementación de esta tecnología pueda ser factible como parte de la estrategia de tratamiento; teniendo en cuenta que, la biorremediación es bien conocida por mejorar las condiciones

de los ecosistemas, utilizando tecnologías amigables que aportan conocimiento a los profesionales ambientalistas (Wallis et al., 2020, p. 1, 2).

A continuación, se tiene como objetivo general: Determinar si la biorremediación mediante microorganismos eficaces mejora el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021 y como objetivos específicos identificar si los parámetros físicos y químicos inciden en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021; Analizar si el volumen del consorcio de microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021 y evaluar si la eficiencia de remoción mediante microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021.

Finalmente, se presenta las Hipótesis de la investigación, siendo la H0: La biorremediación mediante microorganismos eficaces mejora significativamente el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021. Por lo tanto, la H1: La biorremediación mediante microorganismos eficaces no mejora significativamente el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021. Además, como hipótesis específicas se plantea: Hipótesis específica 1: Los parámetros físicos y químicos inciden en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021. Hipótesis específica 2: El volumen del consorcio de microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021. Hipótesis específica 3: La eficiencia de remoción mediante microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021.

II. MARCO TEÓRICO

La investigación hace referencia a estudios previos, tomándose como antecedentes internacionales a Strains & Culture (2020), los cuales estudiaron la degradación de PCB por *Mycolicibacterium frederiksbergense* IN53, *Rhodococcus erythropolis* IN129 y *Rhodococcus* ssp. Para lo cual se preparó un cultivo mixto en proporción de 1: 1: 1; donde el *Rhodococcus* ssp. IN306 fue más eficaz en la biodegradación de PCB (54,4%), en cambio el *Mycolicobacterium frederiks Bergense* IN53 degradó mejor el TPH (37,2%). La inoculación de cultivo mixto M1 logró reducir los PCB (51,8%) y el TPH (34,6%). La biodegradación se verificó exsitu en un suelo no estéril con hidrocarburos envejecidos (TPH) y aceite de transformador (PCB). Post la inoculación del cultivo mixto M1, los PCB se redujeron durante 6 meses a un 84,5% y el TPH en 70,8%.

Por su parte Mohammadi et al. (2017), estudiaron la biorremediación de suelos impactados con petróleo crudo por Agaricomycetos. Para lo cual utilizaron suelo con abono de hongos al 3%, 5% y 10% con o sin fertilizante. Lográndose una reducción efectiva del contaminante con la aplicación de una enmienda al 10%, el cual logro reducir un 64,8% de hidrocarburos en comparación con el control. El índice de germinación (%) en las pruebas de ecotoxicidad osciló entre 60,4 - 93,8%. Demostrándose que el suelo con hidrocarburos con el 10% de compost de hongos tiene mayor capacidad de remediación en menos de tres meses.

Así mismo, Trejos et al. (2020), evaluaron el efecto del Tween-80® en la degradación de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) para remediar suelos a escala piloto. Se consideró un tratamiento control, atenuación natural (AT) y cuatro tratamientos de bioestimulación con leonardita con cuatro dosis diferentes de Tween-80®. La prueba que presentó un mejor desempeño se realizó con un reactor de flujo convectivo (CFR) que incluye leonardita y Tween-80® (1,5 g/L) el cual logró degradar el 52% de TPH, determinándose además que, el sistema requería una adición periódica de un eco sustrato y

aumento del microbiota del suelo mediante la adición de compost; lográndose degradar más del 76% del contaminante en 60 días.

Además, Ancona et al. (2021), aplicaron un clon de *Monviso* para promover la degradación de PCB en un suelo contaminado por bifenilos policlorados (PCB) y metales pesados (HM). PCB, HM y la microbiota se analizaron en parcelas del área tratada con álamos. A los 900 días después de plantar los álamos, los análisis mostraron que los PCB y la mayoría de los HM disminuyeron bajo los límites legales; el clon de álamo fue eficaz para promover la rizo degradación y Fito estabilización de HM. El contenido de carbono orgánico aumentó en la rizosfera de las parcelas; la microbiota aumentó, así como su viabilidad celular y presencia de grupos bacterianos implicados en la degradación de los PCB.

Wojtowicz & Steliga (2020), estudiaron la biodegradación de bifenilos policlorados (PCB) en suelo por inoculación con un biopreparado IN-3 de microorganismos ex situ. Tras seis meses se evidenció una reducción en el contenido de policlorados bifenilos de 13 153,8 a 1650,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ d.m. (87,5%). El análisis toxicológico mostró una reducción en la toxicidad del suelo probado de la unidad de toxicidad $TU = 26,7$ a $TU = 6,1$. Además, las pruebas de toxkit (PhytotoxkitTM y Ostracodtoxkit FTM) mostraron una disminución en la inhibición del crecimiento del organismo de prueba del 69,3 al 14,8% (Prueba Ostracodtoxkit FTM) y de 64,7–78,0 a 11,9–17,5% (prueba Phytotoxkit).

Así mismo, en el contexto nacional, se consideró a Loroña et al. (2018), los mismos que se trazaron evaluar la eficiencia de la biorremediación con aplicación de microorganismos eficaces (EM) en diferentes usos de suelo impactado con diésel B5. Los EM se activaron por nueve días, los cuales fueron aplicados mediante aspersion (1 L/semana) por un tiempo de 28 días. Los resultados determinan la eficiencia en suelo de uso urbano fue de un 41.60 % (51 222 a 29 912 mg/kg); en suelo de uso agrícola del 40.06 % (35 674 - 21 383 mg/kg); en suelo de uso ribereño del 35.05 % (7 604 - 4 939 mg/kg) y en suelo de uso costero del 15.29 % (12 973 - 10 989 mg/kg).

También se consideró a Tarazona, Soto & Arias (2020), los cuales se proponen identificar el mejor tratamiento en la recuperación del suelo degradado por crudo de petróleo; para lo cual seleccionaron diez tratamientos de acuerdo al análisis de la metada con cuatro tratamientos como las colonias bacterianas aisladas del estiércol de gallinas blancas (Leghorn), *Trichoderma sp.* y *Pseudomona sp.*, extracto hidroalcohólico de cáscaras de naranja y volatilización natural. Donde, el mejor tratamiento fue el tratamiento ex situ de volatilización natural con el 99.36%, las colonias bacterianas procedentes del estiércol de gallinas blancas removieron un 97.4%, el extracto hidroalcohólico de cáscaras de naranja con el 90.9 % y *Trichoderma sp.* y *Pseudomona sp.* con el 13 %.

Entre otros trabajos a nivel nacional, consideramos el realizado por Sarmiento & Febres, (2021), los cuales evaluaron el efecto del girasol (*Helianthus annuus*) y vermicompost para remediar suelos agrícolas contaminados con Pb; los tratamientos fueron: T1: suelo con Pb, vermicompost y girasol, T2: suelo con Pb y vermicompost, T3: suelo con Pb y girasol y T4: suelo con Pb; al valor inicial (16.05 ppm) se le agregó 105 ppm de Pb en disolución de $Pb(NO_3)_2$, alcanzando 121.05 ppm. Para todos los casos se alcanzo valore menores a 10 ppm (ECA para suelo agricola); el T2 destaca por lograr recuperar el 81.21 % de Pb.

Así mismo, Corpus & Castillo (2018), evaluar la capacidad fitorremediadora de *Calamagrostis recta*, *Cortaderia jubata* y *Festuca glyceriantha* en suelos contaminados en condiciones controladas. Para lo cual, el trabajo se desarrolló en una etapa de propagación (6 meses) y una de tratamiento (4 meses); se seleccionaron las especies, se recolectaron las semillas, se construyó el invernadero. Se evaluó la biomasa, sustrato y la capacidad de bioacumulación (BCF) de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn en el suelo con metales pesados (T1) y suelo de mina (T2). El factor BCF de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn en *Calamagrostis recta*, *Cortaderia jubata* y *Festuca glyceriantha* fue < a 1 en T2 respecto a T1. Concluyéndose que dichas especies mostraron alta eficiencia fitorremediadora.

En el plano local se consideró el trabajo realizado por García et al., (2021), los cuales se proponen determinar la eficacia de los formulados de microorganismos eficaces y carbón activado para remediar suelo agrícola con concentraciones de cadmio. Para lo cual se trabajó con dos subparcelas a las que se aplicó 250 mL/500 g y 500 mL/1000 g además del control que no recibió tratamiento. La concentración de Cd inicial fue 1.99 ppm; al concluir el tratamiento los valores de cadmio fueron 1.22, 0.92 y 1.98 ppm respectivamente. Según la prueba ANOVA se determinó que existe diferencia significativa entre ambos tratamientos y que el de mayor eficiencia es el de 500 mL/1000 g.

Referente a las bases teóricas, considerando lo descrito por Beamlaku & Habtemariam (2021, p. 1), el suelo es una capa superficial de la corteza terrestre, constituida por minerales y diferenciado en horizontes resultantes del acomplejamiento de los compuestos inorgánicos y orgánicos influenciados por diversas propiedades físicas y químicas. Además, es el componente dispuesto entre la atmósfera, litosfera, hidrosfera y biosfera, crucial para los ciclos biogeoquímicos y la dinámica de las masas de agua; filtra, almacena, degrada y neutraliza agentes tóxicos impidiendo así que estos ingresen a las cadenas tróficas.

El Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes, (2020, p. 22), describe al suelo como el medio constituido por compuestos inorgánicos y orgánicos. Según Beamlaku & Habtemariam (2021, p. 4), los suelos oscuros son ricos en materia orgánica y compuestos de Mn; los rojizos contendrían Fe_2O_3 y son deficientes en humedad; los amarillentos tienen escasa fertilidad, ricos en Fe_2O_3 ; los grisáceos tienen déficit de Fe y O, exceso de CaCO_3 . Granulométricamente son arenosos (2-0.05mm), limosos (0.05-0.002mm) o arcillosos (< 0.002mm). Edward y Frederick (2018, p. 5), considera los siguientes horizontes: A: capa superficial, rica en microorganismos, tejido vegetal y animal. B: acumula arcillas infiltradas, más claro que el anterior, rico en humus y minerales. C: constituido por la roca madre en disgregación. D: capa más profunda compuesta por la roca madre fragmentada.

Recuperación de suelos, considerando lo descrito por Rosique (2016, p. 11), la recuperación de los suelos depende de factores como son la cantidad del agente contaminante, extensión del terreno afectada, dinámica del contaminante en el terreno, concentración de compuestos minerales con capacidad de intercambio iónico, porcentaje de humedad, granulometría del suelo, la concentración de materia orgánica, capacidad de aireación y la biota que este puede presentar.

La biorremediación, según Beltrán & García, (2018), lo define como un proceso biológico que acelera la descomposición de un contaminante en estado natural por adición de organismos microscópicos (consorcio), bio-aumentación o bio-estimulación. El aprovechamiento de los organismos comprende a organismos como bacterias, hongos o vegetales que degradan, transforman o bioacumulan al contaminante. La actividad biológica cambiaría la estructura del contaminante, lo que determinaría si corresponde a la biotransformación o mineralización.

Bioacumulación, Roldán, (2017, p. 45), lo describe como el proceso donde el contaminante es absorbido y retenido por los organismos empleados en la remediación; donde el resultado final del proceso se iniciaría a partir de la adaptación, la posterior activación hasta la asimilación de sustancias, elementos o compuestos presentes en el medio (agua o suelo) y los procesos de pérdida del desarrollo de los mencionados organismos producto del déficit de nutrientes o baja concentración del agente contaminante como resultado de su aprovechamiento.

La bioaumentación, Strains & Culture, (2020, p. 32), lo describe como una técnica fundamenta en el empleo de organismos que fueron aislados, identificados y comprobados en el laboratorio con principios de transformación, degradación o bioacumulación del contaminante de interés; posteriormente se determina la dosis y requisitos para su producción de los mismo. Se utiliza cuando la biota nativa del medio (suelo) no es suficiente para remediar a dicho medio en condiciones naturales.

La biodegradación, Sánchez, Herrera et al., (2016, p. 17), consideran que esta, es una técnica donde se aplica organismos microscópicos o macroorganismos, los cuales, debido a metabolismo degradan, transforman o bioacumulan elementos, moléculas o sustancias contaminantes; contribuyendo de esta manera en el reaprovechamiento y optimización de los nutrientes útiles para el desarrollo de los organismos empleados en el proceso de biorremediación.

La bioestimulación, López, Cisneros & Ochoa (2016, p. 22), los describe como una técnica que consta en dos etapas: 1. Identificación de los organismos sobrevivientes al impacto y 2. Determinación de componentes requeridos para estimularlos; en esta última, es donde, se adicionan biomoléculas (carbohidratos, lípidos y/o proteínas), bioelementos, compuestos inorgánicos u otros al suelo para incitar el desarrollo aumentando la población de organismos.

Los inoculantes, según Wojtowicz & Steliga, (2020, p. 39), son productos tecnológicos que se basan en la formulación de organismos que cumplirían la función de promotores del crecimiento de los vegetales. Su aislamiento, identificación y formulación dependen de las características del suelo, climatología y la especie vegetal de interés. Pueden o no asociarse a microorganismos que se encuentran desarrollándose junto a las raíces y facilitan la transformación en compuesto insoluble en solubles asimilables.

Los microorganismos eficaces (EM), están constituidos por un conjunto de organismos microscópicos que técnicamente son denominados consorcio microbiano, su aplicación es variada; en la actualidad son utilizados en la agricultura como agentes promotores del desarrollo y controladores de plagas, en la ganadería fomentan la asimilación de nutrientes, en la avicultura controlan vectores y malos olores, además, se utilizan en la recuperación de aguas afectadas y aceleran la descomposición de residuos en ambientes finales de disposición (Ojuederie & Babalola, 2017).

Los ME están constituidos por lactobacillus, bacterias y levaduras que promueven el desarrollo de raíces y desarrollo de los vegetales, mejorando el

proceso fotosintético, promueven resistencia contra plagas, potencia el efecto fertilizante de la MO, solubilizan minerales y aceleran la degradación del rastrojo (Navarro, 2019, p. 7). Además, compiten con agentes patógenos, incrementa la disponibilidad de aminoácidos, sustancias bioactivas y vitaminas que mejoran la inmunidad de los vegetales; pueden aplicarse al preparar el terreno, germinación, enraizamiento de trasplantes o durante el proceso de siembra (Lara & Negrete, 2015, p. 4).

Transformadores eléctricos, son dispositivos estáticos en sistemas eléctricos que transfieren energía eléctrica entre circuitos. Su aplicación en la transmisión y distribución de electricidad permite importantes ahorros de energía al aumentar el voltaje y disminuir la corriente, ya que las pérdidas son proporcionales a la cantidad de corriente que fluye por los cables. El tipo más común es un transformador lleno de líquido con devanados que están aislados y enfriados con aceite mineral u otro líquido (Dendievel et al., 2020).

Bifenilos policlorados (PCB), reconocidos contaminantes ambientales en 1966, catalogados como residuos peligrosos. Son hidrocarburos aromáticos orgánicos artificiales ($C_{12}H_{10-n}Cl_n$), tienen de 1-10 átomos de Cl unidos al bifenilo, molécula de 2 anillos bencénicos que contienen 6 C. Presentar diferentes configuraciones estructurales debido a las disposiciones de los átomos de Cl en los anillos de benceno. Son posibles 209 congéneres (isómeros) diferentes, dependiendo del número y las posiciones de los átomos de Cl, que comprenden los homólogos e isómeros, pero es probable que sólo unos 130 de estos aparezcan en productos comerciales. Sus congéneres son lipofílicos, su solubilidad en agua disminuye a medida que aumenta el grado de cloración (Pelitli et al., 2015, p. 1).

Se caracterizan por su baja conductividad eléctrica, elevada conductividad térmica y resistencia a su descomposición térmica. Son químicamente muy estables (inactivas) y no cambian su estado químico durante mucho tiempo. Son polares, solubles en éter dietílico, diclorometano, cloroformo, éter de petróleo y hexanos. Tienen un punto de inflamación bajo, no existen fuentes

naturales, su prevalencia está relacionada con la fabricación comercial, el uso industrial, el almacenamiento y eliminación (González & Bolaños, 2021, p. 2,3). Se utilizaron como transformadores, condensadores, transferencias de calor, sistemas hidráulicos, lubricantes, extensores de pesticidas, selladores, pinturas, adhesivos, retardadores de llama y plásticos. Comercializados como Aroclor, Apirolio, Phenoclor, Pyroclor, Inerteen, Colphe y Kanaclor. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer y la EPA los clasificaron en el grupo B2 (carcinógeno humano), el Congreso americano y el Convenio de Estocolmo prohibieron su fabricación. En Europa fueron prohibidos desde 1985. Su producción está prohibida, pero los productos fabricados antes de la prohibición aún se utilizan.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Según el propósito o finalidad que se persigue, la presente investigación es aplicada, debido a que se busca dar solución a problemas concretos y factibles a ser identificados (Paz, 2017, p. 17, 18). En la presente tesis, se pretende remediar el suelo contaminados con bifenilos policlorados mediante la aplicación de microorganismos eficaces.

3.1.2. Diseño de Investigación

La investigación es de corte experimental, debido a que la variable independiente es manipulada de manera intencional por los investigadores (Paz, 2017, p. 18); tal es el caso de dosis de microorganismos eficaces y la frecuencia de aplicación a fin de remediar el suelo con transformadores eléctricos. Además, el método del estudio presenta un enfoque cuantitativo, donde cada periodo precede al siguiente, se miden las variables en un determinado contexto y estas mediciones son analizadas a fin de extraer conclusiones relacionadas a las hipótesis (Hernández et al., 2015, p. 4).

3.2. Variables y operacionalización

3.2.1. Variable dependiente

Suelo contaminado con bifenilos policlorados.

3.2.2. Variable independiente

Biorremediación con microorganismos eficaces.

3.2.3. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Dependiente: Suelo contaminado con bifenilos policlorados.	Según Mihelcic & Zimmerman (2006), son aquellos suelos con la presencia de agentes resistentes a los ácidos, álcalis y oxidantes, están constituidos por dos moléculas aromáticas unidas mediante enlace C-C, los cuales se caracterizan porque sus hidrógenos están sustituidos por hasta diez átomos de cloro.	Los PCBs se caracterizan por su baja solubilidad y son altamente estables a agentes oxidantes, por lo que son altamente perdurables en el ambiente.	Concentración de bifenilos policlorados.	Alta concentración. Baja concentración.	Cuantitativa continua: mg/L, ppm. Cuantitativa continua: mg/L, ppm.
Independiente: Biorremediación con microorganismos eficaces.	Según Vera (2016), es aplicable al proceso mediante el cual se subsana un problema, en este caso mediante la aplicación de microrganismos eficaces; un consorcio microbiano constituido por hongos y bacterias con características bioquímicas relacionadas.	Los microorganismos que constituyen los microorganismos eficaces gracias a su capacidad de bioquímica, aprovecharán a los PCB degradándolos y aprovechándolos a fin de satisfacer sus necesidades nutricionales.	Parámetros físicos y químicos. Microorganismos eficaces. Eficiencia de la remoción.	Alta o baja concentración. Alta o baja concentración. Baja o alta remoción.	Cuantitativa continua: mg/L, ppm Cuantitativa continúa: UFC/100 mL. Cuantitativa continúa: %.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Aproximadamente 900 m² de suelo contaminado con bifenilos policlorados que constituye al área del depósito de residuos dieléctricos de la empresa Electro Oriente - Tarapoto, el cual se encuentra ubicado en el distrito de Morales - sector La Planicie. Cabe señalar que, el área colindante (influencia indirecta) es suelo agrícola dedicado al cultivo de arroz. Considerando que la población puede incluir individuos, objetos o medidas con características habituales (Melo, López y Melo 2020).

3.3.2. Muestra

Suelo contaminado con bifenilos policlorados en 4 m³; el cual será tratado mediante tratamiento ex situ. Considerando que dicho volumen es el recomendado tanto para casos experimentales o cuasi experimentales a nivel de laboratorio, en vivero o invernadero (Paz, 2017).

3.3.3. Muestreo

Considerando lo descrito por Paz, (2017) , el muestreo es el proceso mediante el cual se elige un grupo de elementos o componentes correspondientes a una población determinada (aproximadamente 900 m² suelo del sector Cocopa contaminado con PCBs) mediante diversos tipos de muestreo. El muestreo es no probabilístico, el cual permite estudiar grupos pequeños (4 m³ de suelo contaminado) con características permanentes de la población haciendo uso de las técnicas del muestreo por conveniencia, por su facilidad de acceso para su obtención, así lo describe Hernández et al., (2015).

Muestreo de identificación (MI)

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014), este método permite investigar la existencia de contaminación utilizando muestras representativas a fin de determinar si este presenta agentes que superen el valor referencial establecido normado. Para ejecutar el muestreo, se debe considerar los criterios siguientes:

- Los puntos de muestreo se determinan según los criterios de la Tabla 2.
- La profundidad para la toma de muestra, depende del tipo de suelo, agente contaminante y dinámica de este; debe ser justificado.

Tabla 2. Cantidad mínima de puntos de muestreo.

Área de interés (HA)	Puntos (número)
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: Ministerio del Ambiente, (2014).

Nota: en áreas mayores a las 100 ha, el menor número de puntos a muestrear se determina teniendo en cuenta la ecuación 1.

$$N = X (0.1) + 40 \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

N= Puntos de muestreo.

X = Área del terreno (ha).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

- Observación directa: Permite el registro los posibles cambios físicos del suelo impactado con el analítico (PCBs) durante el ensayo.
- Prueba piloto: Proceso previo que permite registrar las variaciones de los parámetros indicadores considerados en el proceso de ensayo.
- Ensayo final: Proceso final que permite determinar los parámetros indicadores de biorremediación.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

- Formato de registro de campo para remediación.
- Registro fotográfico: fotografías de las actividades como toma de muestra y proceso de ensayo de la electrocoagulación.
- Revisión bibliográfica de libros e investigaciones realizadas.

3.5. Criterios de validez y confiabilidad

3.5.1. Validez de instrumentos

El instrumento (formato de registro de campo para remediación) se validó teniendo en cuenta el criterio de formulación de los ítems por el método porcentual, según la validación de los expertos (Anexo 2).

3.5.2. Confiabilidad de instrumentos

La confiabilidad del formato de registro de campo es determinada en función a la repetitividad de los datos registrados en la prueba piloto, su consistencia, así como la reducción de las dimensiones que fueron precisadas en la operacionalización de variables de acuerdo al criterio técnico de los expertos que corresponde a un Alfa de Cronbach de 0.95 (Anexo 3).

3.6. Procedimiento

El procedimiento se lleva a cabo en cuatro etapas:

3.6.1. Etapa I: Etapa de gabinete inicial

Revisión bibliográfica

- Se revisaron libros, revistas, artículos, tesis y otros que fueron sistematizados con la finalidad de ser empleados según se requieran.

Gestión y elaboración de instrumentos

- Se coordinó la adquisición de los instrumentos, equipos y materiales necesarios previstos.
- Se elaboró el mapa temático y el formato de registro para la remediación.

3.6.2. Etapa II: Etapa de campo

Selección del terreno para tomar las muestra

- Se visitó el área afectad en el sector “La planicie” y se realizó la georreferenciación y se identificaron los puntos de muestreo.

Muestra para análisis inicial

- La muestra inicial permitió conocer la concentración real de PCB, etapa desarrollada según la Guía para el Muestreo de Suelo (MINAM, 2014).
- La muestra fue obtenida en 04 puntos, teniendo en cuenta que el área impactada es < 0.1 ha, la ubicación de los puntos se detalla en la tabla 3.

Tabla 3. Red de puntos de monitoreo.

N°	Punto de muestreo	Coordenadas	
		Este	Norte
1	MT-5.1	343688	9284179
2	MT-5.2	343681	9284169
3	MT-5.3	343682	9284167
4	MT-5.4	343685	9284166

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Parámetros a evaluar

- Se seleccionaron en función a la dinámica y propiedades de los PCB, en la tabla 4 se detallan los parámetros considerados.

Tabla 4. Parámetros indicadores durante el ensayo.

Evaluación	Descripción	Unidad de medida
Campo	Temperatura	°C
	Conductividad eléctrica	µS/cm
	Potencial de hidrógeno	Unidad de pH
Laboratorio	Bifenilos policlorados	Mg/Kg
	Humedad	%

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Primera determinación de los parámetros en campo

- Para su medición se utilizó un multiparamétrico calibrado por el organismo competente.

Rotulado y etiquetado de los recipientes contenedores

- Cada recipiente será rotulado con etiquetas autoadhesivas cubiertas con cinta transparente para protegerla de la humedad.
- El rótulo debe contener: solicitante, punto del muestreo, uso de suelo, fecha y hora, responsable del muestreo, parámetros y preservante (si lo requiere).

Llenado del instrumento cadena de custodia

- Se realizó según los criterios establecidos por la institución responsable del análisis de las muestras (EQUAS S.A.C.).

Almacén y análisis de muestras

- Su almacén temporal se realizará en cadena de frío (cooler) facilitado por el laboratorio, junto a ellas se remitirán con la cadena de custodia.
- El análisis, se analizó en el laboratorio EQUAS S.A.C. laboratorio acreditado mediante la Norma Técnica Peruana ISO/IEC - 17025.

Activación y formulación de los EM

- El EM comercial (1 L), se mezclará en un recipiente con 18L de agua filtrada no clorada, 0,5L de melaza y 400g de harina de soja, reposar por una semana.
- Considerando lo establecido por (Hipólito-Romero et al., 2017), la densidad microbiana del inóculo para biorremediación debe ser 10^6 a 10^8 UFC/1 ml.
- Por su parte (Lara Mantilla & Negrete Peñata, 2015), describe que una concentración de 10^8 UFC/1ml del consorcio competirá con los organismos ambientales.

Dimensión de la parcela

- El área total será de 2 x 5 m, la cual se dividirá en 04 sub-parcelas de 1 x 1 m con un área de impacto de 0.5 por lado (Figura 1).

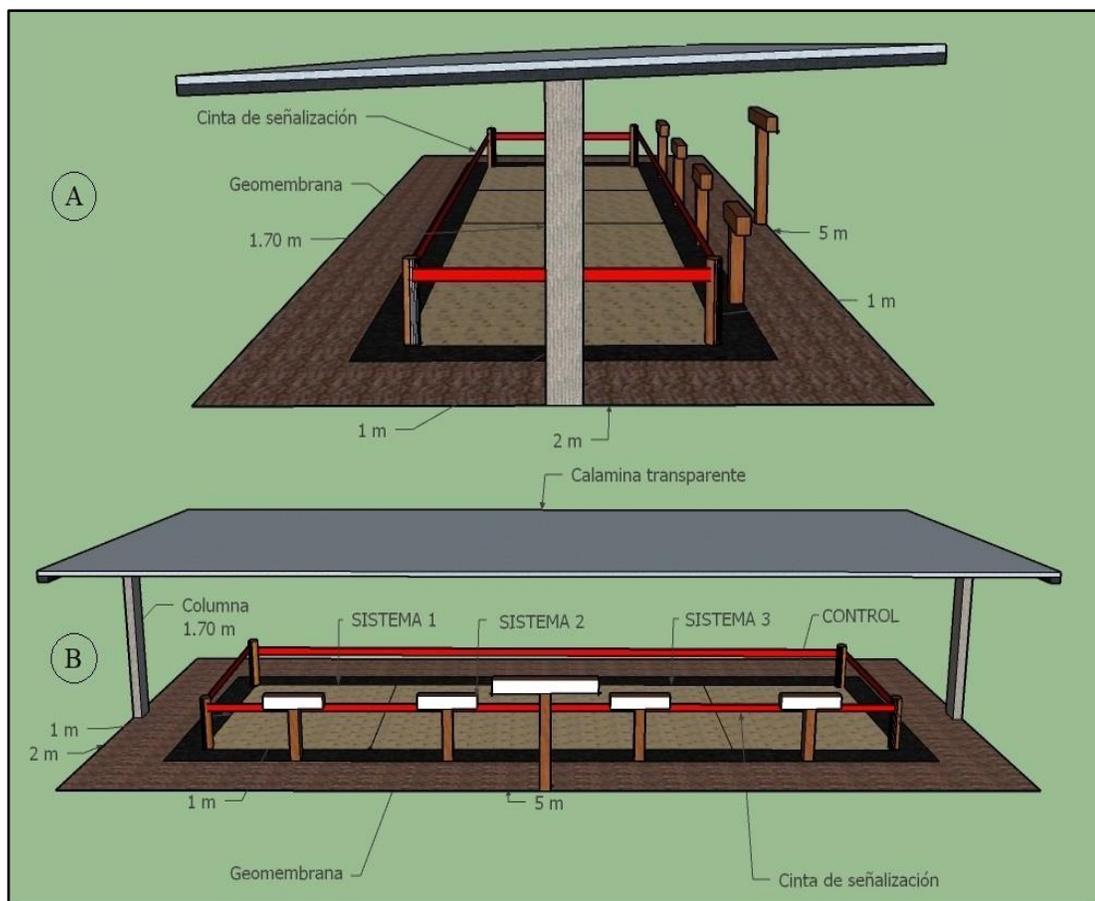


Figura 1. Esquema del proceso de biorremediación.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Nota: A. Vista lateral. B. Vista frontal.

- El área experimental será construida con una estructura de concreto con piso liso, el mismo que será impermeabilizada con geomembrana de 0.75 mm y presentará un área de seguridad de 0.5 m.
- El área experimental será acondicionada con un techo aligerado de calamina transparente y estructura metálica, a fin de evitar el impacto de la lluvia y facilitar la radiación solar directa.

Acondicionamiento del área

- El área será circulada con cinta de seguridad y se instalarán letreros que indiquen las parcelas y el nombre del proyecto.

Aplicación de los EM

- Los EM se aplicarán por aspersion según las siguientes dosis:
Sub-parcela 1: 300 mL cada 5 días.

Sub parcela 2: 600 mL cada 5 días.

Sub parcela 3: 1200 mL cada 5 días.

Sub parcela 4: Parcela control.

Evaluación de biorremediación

- El proceso de ensayo de “biorremediación” se llevará a cabo en un periodo de 90 días (03 meses).
- Una vez concluido el periodo de ensayo, se tomará la muestra del suelo tratado que será remitida al laboratorio y llevar el análisis de los parámetros de campo.

Muestra para el análisis final

- La muestra será tomada de cada sub-parcela, considerando el método de Comprobación de Remediación como se muestra en la figura 2.

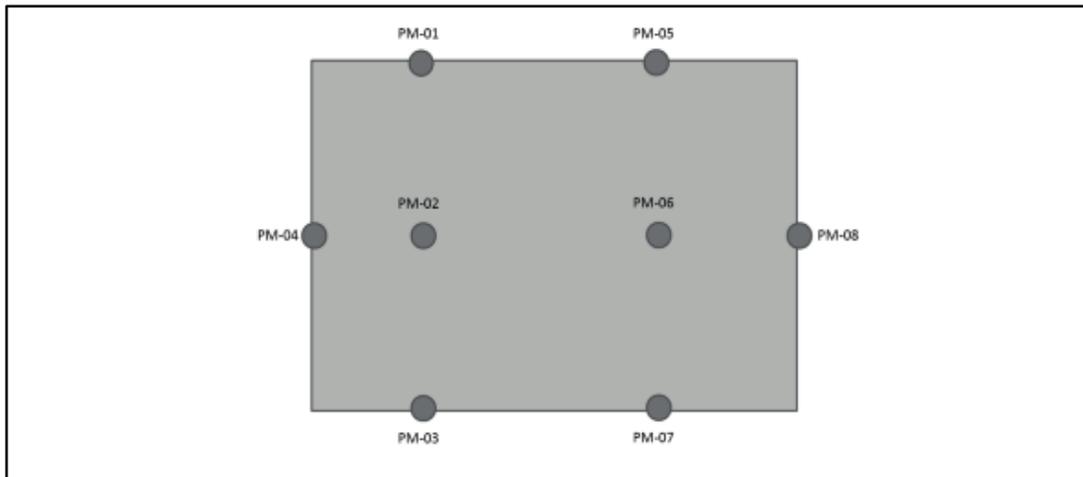


Figura 2. Puntos de muestreo en la sub-parcela.

Fuente: Ministerio del Ambiente, (2014).

- De cada sub-parcela, se seleccionarán ocho puntos, de donde se tomará 1 Kg por cada punto, los 08 Kg será homogenizados y se tomará 1 Kg utilizando el método del cuarteo.

Segunda determinación de los parámetros de campo

- A la muestra de cada sub parcela se le determinará la temperatura, conductividad eléctrica y pH, utilizando un multiparamétrico calibrado por el organismo competente.

Rotulado y etiquetado de los recipientes contenedores

- Cada recipiente será rotulado con etiquetas autoadhesivas cubiertas con cinta transparente para protegerla de la humedad.
- El rótulo debe contener: solicitante, punto del muestreo, uso de suelo, fecha y hora, responsable del muestreo, parámetros y preservante (si lo requiere).

Llenado del instrumento cadena de custodia

- Se realizó según los criterios establecidos por la institución responsable del análisis de las muestras (EQUAS S.A.C.).

Almacén y análisis de muestras

- Su almacén temporal se realizará en cadena de frío (cooler) facilitado por el laboratorio, junto a ellas se remitirán con la cadena de custodia.
- El análisis, se analizó en el laboratorio EQUAS S.A.C. laboratorio acreditado mediante la Norma Técnica Peruana ISO/IEC - 17025.

3.6.3. Etapa III: Etapa de laboratorio

- En recepción del laboratorio, se verifica ciertos cumplimientos a fin de garantizar la confiabilidad de las muestras.
- Los resultados se remitirán en un tiempo no mayor a los 15 días.

3.6.4. Etapa IV: Etapa de gabinete final

- Los resultados remitidos por el laboratorio y el registrado de parámetros de campo se transcribirán a un formato virtual donde se sistematizaron e interpretaron según la norma actual (Ver anexo 2).

3.7. Método de análisis de datos

Los resultados se analizaron en la aplicación Excel del paquete Microsoft Office 2019, posteriormente se determinó la remoción de bifenilos policlorados en suelo impactado (%).

3.8. Aspectos éticos

En consideración a la Guía de la Universidad Cesar Vallejo, las referencias relacionadas fueron citadas respetando el derecho de autor, tal y como se establece en la norma internacional ISO 690 de documentación y referencias bibliográficas. El presente documento, así como los procedimientos son inéditos, debido a que se elaboró por el autor, siguiendo información de diferentes manuales y protocolos, así como otras teorías y de trabajos previos a nivel nacional e internacional, la cual fue verificada mediante la revisión en Turnitin. Se respetará los criterios éticos en la veracidad, autenticidad y originalidad establecido por Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI, 2015).

IV. RESULTADOS

Luego de los estudios se obtuvieron los siguientes resultados:

- 4.1. Los parámetros físicos y químicos del suelo contaminados con bifenilos policlorados a los 90 días de tratamiento fue variable en función al volumen del consorcio de microorganismos eficaces aplicada en cada sistemas ensayados (SP1, SP2 y SP3); la conductividad eléctrica de 17.44 Ms/m a 19.80, 23.54 y 45.65 Ms/m; la humedad varió de 9.9 % a 11.5, 15.8 y 17.4 %; el pH de 5.03 a 5.10, 6.02 y 7.48; la temperatura varió de 25.0 °C in-situ a 25.5, 25.9 y 26.5 respectivamente en los sistemas de tratamiento ex-situ (Tabla 2).

Tabla 5. Variación de los parámetros físicos y químicos en la biorremediación del suelo.

Parámetro	Valores normados	Evaluación inicial	SP1	SP2	SP3
Conductividad eléctrica (Ms/m)	< 400	17.44	19.80	23.54	45.65
Humedad (%)	25 - 35	9.9	11.5	15.8	17.4
pH (Unidad de pH)	6.5 - 8.0	5.03	5.10	6.02	7.48
Temperatura (°C)		25.0	25.5	25.9	26.5

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Nota: S1: Tratamiento 1, S2: Tratamiento 2 y S3: Tratamiento 3.

Interpretación:

Los valores de cada uno de los parámetros físicos y químicos fueron mayores en el tratamiento SP3: con aplicación de 1200 mL de EM cada 5 días, respecto a los otros tratamientos como el SP1: con aplicación de 300 mL de EM cada 5 días y la SP2: con aplicación de 600 mL de EM cada 5 días. La conductividad eléctrica paso de 14.44 a 45.65 Ms/m, la humedad de 9.9% a 17.4 %, el pH de 5.03 a 7.48 y la temperatura de 25.0 a 26.5 °C respectivamente.

- 4.2. El volumen del consorcio de microorganismos eficaces aplicada cada 5 días por un periodo de 90 días a cada uno de los sistemas de tratamiento (SP1, SP2 y SP3) para la remediación de suelos contaminados con bifenilos policlorados fue variable; así, en el SP1 el volumen empleado fue 300 ml, en

el SP2 600 ml y en el SP3 1200 ml; la concentración promedio de microorganismos fue 64×10^8 UFC/ml.

Tabla 6. Volumen y concentración del consorcio en la biorremediación de suelo.

Parcela	Concentración (UFC/ml)	Volumen (mL)
SP1	64×10^8	300
SP2	64×10^8	600
SP3	64×10^8	1200

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Nota: S1: Tratamiento 1, S2: Tratamiento 2 y S3: Tratamiento 3.

Interpretación:

La concentración microbiana expresada en unidades formadoras de colonia (UFC) se determinó realizando diluciones (10^{-1} - 10^{-7}), a fin de lograr lecturas con recuentos entre 30 a 300 UFC, tal como lo establece (Leboffe & Pierce, 2011); por lo que a partir de 0.5 ml del consorcio utilizado en la remediación se determinó que a los 5 días de incubación y a temperatura ambiental alcanzó una concentración promedio de 64×10^8 UFC/ml.

4.3. La concentración de bifenilos policlorados (BPC) presente en un suelo con aplicación de microorganismos eficaces en un periodo de 90 días disminuye significativamente a partir de una concentración total inicial de 7.180 mg/kg hasta 5.361 mg/kg en el SP1, 3.170 mg/kg en el SP2 y 7.150 mg/kg en el SP3; la aplicación del consorcio se realizó con una frecuencia de una vez cada 5 días y una dosis de 300, 600 y 1200 ml respectivamente, cabe señalar además, que además de la aplicación del consorcio se realizó una remoción del suelo correspondiente a cada subparcela (SP) (Tabla 7, figura 3).

Tabla 7. Concentración de bifenilos policlorados.

Parámetro	ECA	Evaluación inicial	S1	S2	S3
PCB N° 101 (mg/Kg)		2.810	1.051	0.040	0.012
PCB N° 118 (mg/Kg)		1.010	1.000	0.920	0.121
PCB N° 138 (mg/Kg)		< 0.011	< 0.011	< 0.011	< 0.011
PCB N° 153 (mg/Kg)		< 0.011	< 0.011	< 0.011	< 0.011
PCB N° 180 (mg/Kg)		2.110	2.11	1.21	0.604
PCB N° 28 (mg/Kg)		< 0.011	< 0.011	< 0.011	< 0.011
PCB N° 52 (mg/Kg)		1.250	1.200	1.000	0.561
PCB N° TOTAL (mg/Kg)	0.5	7.180	5.361	3.170	1.298

Fuente: Laboratorio Environmental Quality Analytical Services S.A., 2022.

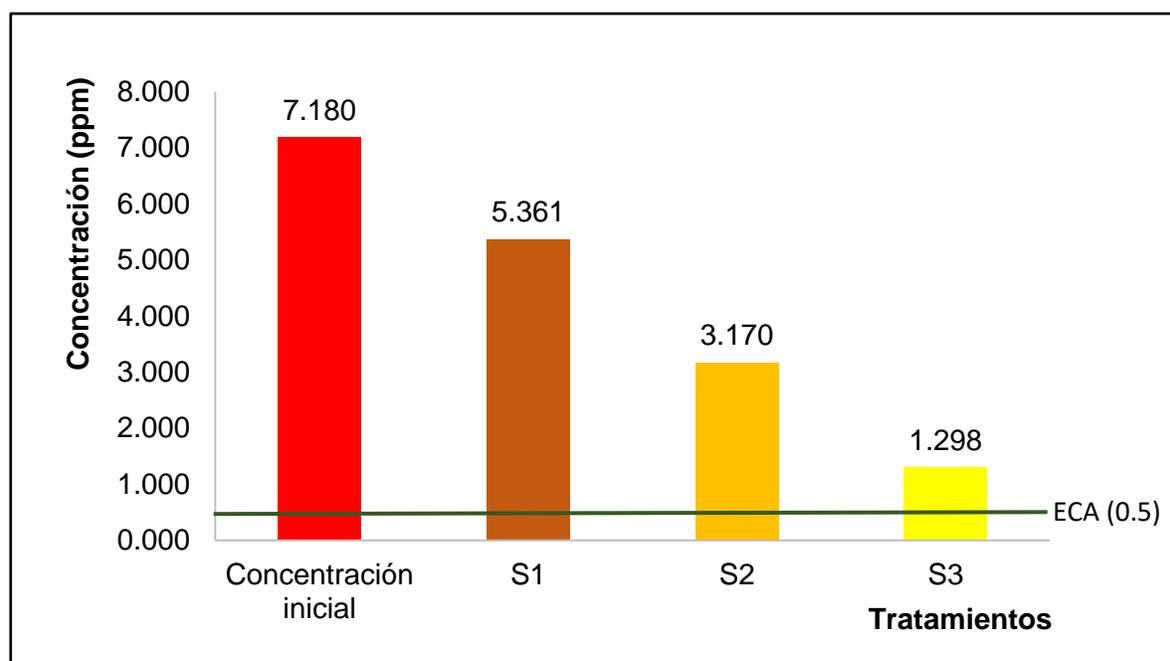


Figura 3. Concentración de Bifenilos policlorados en cada sistema de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Interpretación:

La disminución de la concentración de bifenilos policlorados presentes en el suelo, disminuye significativamente mediante la aplicación de microorganismos eficaces en cada uno de los sistemas de tratamiento (SP1, SP2 y SP3), de una concentración de 7.18 ppm insitu hasta 5.361, 3.170 y

1.298 ppm exsitu, lo cual representa una remoción del 25.33%, 55.85% y 81.92%.

Al realizar la prueba de la hipótesis para muestras relacionadas se consideró aplicar Shapiro – Wilk para la prueba de normalidad, considerando que la cantidad de datos obtenidos es ≤ 50 , donde el nivel de significancia presenta una confianza del 95 % y un error (alfa) del 5%. Para lo cual se considera las siguientes hipótesis.

H_0 : La concentración de PCBs en el suelo tiene distribución normal.

H_1 : La concentración de PCBs en el suelo es diferente a la distribución normal.

Tabla 8. Prueba de normalidad para la concentración de PCBs presente en el suelo.

Tratamientos	Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	p
SP1: 300 ml	0.224	4	0.012
SP2: 600 ml	0.257	4	0.018
SP2: 1200 ml	0.358	4	0.020
SP4: Control	0.157	4	0.011

De donde se determina que el p-valor $\leq \alpha$, se acepta la hipótesis nula, con los datos obtenidos se tiene que p-valor es menor que 0.05, por lo tanto, se acepta H_0 , por lo que, los datos no tienen una distribución normal y se aplica una prueba no paramétrica para la contratación de la hipótesis.

Tabla 9. Prueba de homogeneidad de varianzas para concentración de PCBs en suelo.

Valor del estadístico de Levene	gl1	gl2	p
0.544	4	12	0.527

H_0 : Las varianzas son iguales.

H_1 : Las varianzas son diferentes.

Como el valor $p \leq \alpha$, se rechaza la hipótesis nula, luego el valor $p > 0.05$, lo que permite aceptar la H_0 , entonces las varianzas son iguales.

Tabla 10. Análisis de varianza del contenido de PCBs en el suelo.

Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	p
Tratamientos	354.4571	4	93.7458	17.1521	0.106
Error	85.491	17	5.45855		
Total	374.14251	21			

H0: La biorremediación mediante microorganismos eficaces mejora significativamente el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados.

H1: La biorremediación mediante microorganismos eficaces no mejora significativamente el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados.

Como $p \geq \alpha$ ($0.106 \geq 0.05$) se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, la biorremediación mediante microorganismos eficaces mejora significativamente el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados

V. DISCUSIÓN

Al aplicar microorganismos eficaces por un periodo de 90 días para biorremediar suelo contaminado con Bifenilos Policlorados (PCBs), se determinó que los parámetros físicos y químicos como conductividad eléctrica, humedad, pH y temperatura inciden sobre la concentración del contaminante; donde la conductividad eléctrica varía de 17.44 Ms/m a 19.80, 23.54 y 45.65 Ms/m; la humedad de 9.9 % a 11.5, 15.8 y 17.4 %; el pH de 5.03 a 5.10, 6.02 y 7.48; la temperatura de 25.0 °C in-situ a 25.5, 25.9 y 26.5 °C respectivamente en los sistemas de tratamiento ex-situ. Resultados que guardan relación con trabajos como el realizado por a Strains & Culture (2020), los cuales encontraron que la aplicación de ciertos microorganismos permiten recuperar los suelos impactados por BPC y que, los parámetros como pH tienden hacia la neutralidad (7), la temperatura se eleva alrededor de un promedio de 2.8 °C posiblemente gracias a la actividad metabólica y la conductividad eléctrica pasa de 20 Ms/m a 200 Ms/m evidenciando que la materia orgánica, sales minerales o elementos metálicos quelados por los PCBs fueron liberados por la actividad enzimática microbiana. También se relaciona con investigaciones como el realizado por Mohammadi et al. (2017), los cuales mencionan que los microorganismos son capaces de degradar la materia orgánica residual del suplemento empleado en la formulación de los consorcio para aplicación o los compuestos grasos de diversos contaminantes como los aceites y grasas o los hidrocarburos mismos para transformarlos en compuestos tipo NH_4^+ y NH_3 , o en lo mejor de los casos dejar libre a las sales de Ca, Mg, Na y K, los cuales conllevan a la variación del pH con tendencia hacia la alcalinidad; evidenciando de esta manera dos principios de la aplicación de los consorcios microbianos como su supervivencia y actividad metabólica post aplicación; el tiempo en el que pueden ocurrir estas variaciones estarían relacionadas en función al tiempo de tratabilidad, población microbiana degradadora o transformadora y concentración del contaminante en cuestión.

La aplicación de microorganismos eficaces a una dosis de 300, 600 y 1200 ml cada 5 días con remoción constante cada 24 horas disminuye

significativamente la concentración de bifenilos policlorados (PCBs) presente en el suelo contaminado en un periodo de 90 días, donde la carga microbiana del consorcio empleado fue 64×10^8 UFC/ml, lo cual guarda relación con trabajos precedentes, como el realizado por Hipólito-Romero et al., (2017), los cuales señalan que los consorcios para aplicación en trabajos de remediación de suelos o agua deben mantenerse entre 10^6 y 10^8 UFC/ml. Por su parte Lara Mantilla & Negrete Peñata, (2015), también corroboran esta teoría recomendando que la carga microbiana debe ser verificada teniendo en cuenta las características reproductivas y metabólicas de los microorganismos empleados, pues estos en muchos casos presentan ciertos periodos de dormitancia o de acondicionamiento antes de iniciar su actividad en la degradación, transformación o bioacumulación del contaminante. Por su parte Wojtowicz & Steliga (2020), menciona que la biodegradación de bifenilos policlorados (PCB) en suelo en condiciones ex situ, requiere de periodos largos que oscilan entre los 3 a 6 meses, donde se evidenciaría una reducción en el contenido total de hasta un 87,5%; considerando que el tipo de suelo, la humedad, la concentración de materia orgánica, aireación y el periodo de aplicación es importante pues estos tendría relación directa con el tiempo de adaptación de los microorganismos hasta alcanzar una fase exponencial de crecimiento para iniciar su fase metabólica activa que permitan la degradación, transformación o bioacumulación del contaminante. Así mismo, Loroña et al. (2018), mencionan que la aplicación de microorganismos eficaces (EM) es versátil gracias a sus propiedades para la adaptación por resistencia o capacidad para degradar y aprovechar los compuestos, moléculas e incluso elementos tóxicos en cada uno de los medios donde se exponen. Para dichos casos siempre es necesario estudios previos que permitan determinar la concentración real en relación a la concentración calculada del contaminante, requerimientos mínimos nutricionales al ser expuestos, así como las condiciones ambientales en las que se realizara en trabajo de remediación.

La reducción de la concentración inicial de 7.180 mg/kg de bifenilos policlorados presentes en el suelo contaminado hasta valores de 5.361, 3.170

y 1.298 mg/kg, representa una remoción significativa del 25.33%, 55.85% y 81.92% respectivamente; guardando concordancia con el trabajo realizado por Ancona et al. (2021), los cuales señalan que los bifenilos policlorados son contaminantes persistentes y que requieren métodos específicos con aplicación a largo plazo y que por lo general se deben ensayar diversas formulaciones en función a la concentración, tipo de suelo y características fisicoquímicas que este presenta, ya que, a la actualidad aún no se ha encontrado un método único que permita ser considerado de elección; además, ciertos bifenilos policlorados como el PCB N° 101, el PCB N° 118, el PCB N° 28 son más difíciles de degradar y que requieren de ciertas condiciones de temperatura, pH, requerimientos nutricionales mínimos específicos para acortar el tiempo de adaptación o latencia hasta alcanzar una fase logarítmica donde se lleva la máxima remediación del medio a tratar retardando en todo momento la fase en el que decline la población del consorcio. Por su parte Strains & Culture (2020), mencionan que ciertos PCBs, que carecen de sustituyentes de cloro en la posición orto, muestran una toxicidad particularmente alta "similar a la dioxina" (inducción de enzimas a través de la unión de CB al receptor Ah), a saber. PCB-77, PCB-126 y PCB-169. Además, los CB mono-orto-sustituidos muestran este tipo de toxicidad similar a la de las dioxinas, aunque en menor medida. Estos tipos de bifenilos requerirían de un pool enzimas específicas, algunas capaces de desestabilizar los enlaces y otras capaces de promover un reordenamiento, así como otro grupo poder promover el acomplejamiento con ciertos elementos o moléculas libres presentes en el medio en donde se encuentran. Los bifenilos policlorados en general tienen un comportamiento poco conocido en los trabajos de remediación, debido a que las concentraciones de cada uno de los PCBs no son los mismos en las diversas aplicaciones industriales que a la actualidad aún se mantienen. Otros trabajos como el realizado por Wojtowicz & Steliga (2020), también concuerda con la presente investigación, ellos describen que en un tiempo mayor a los 60 días y a una temperatura controlada de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ se logra una reducción del 70 a 80 % del contaminante;

y que, los organismos que logran sobrevivir activarían mecanismos enzimáticos para lograr degradar o transformar a las moléculas de los bifenilos y su posterior aprovechamiento en sus procesos metabólicos. Considerando, además, que no todos los residuos de las moléculas son aprovechados en su totalidad y que por lo general se acomplejan con moléculas iónicas o se quelan con restos de materia orgánica para su posterior mineralización.

Así como existen investigaciones que guardan concordancia, también, existen trabajos con los que se puede discrepar, tal es el caso del trabajo realizado por Trejos et al. (2020), los cuales considera que la degradación de sustancias oleaginosas como los hidrocarburos, dioxinas y PCBs empleados en sistemas aislantes de transformadores eléctrico, son difíciles de degradar en condiciones ambientales por un sólo método y requiere de métodos físicos y químicos e incluso biológicos combinados; debido a cinética y alta estabilidad en el suelo, además de su comportamiento variable en suelos arenosos, arcillosos o limosos; donde al no tener un control adecuado podría migrar hasta alcanzar capas profundas e incluso contaminar el agua subterránea.

En términos generales la aplicación del consorcio de microorganismo eficaces permite una reducción de hasta un 81.93 % de una concentración total de los bifenilos policlorados; donde la concentración inicial fue de 7.180 mg/kg y con aplicación de 1200 mL cada 5 días con remoción cada 24 h por un periodo de 90 día se logró reducir a 1.298 mg/kg, lo cual aun supera los valores normados según los ECAs para suelo agrícola (0.5 mg/kg) pero que puede ser aprovechado para la constitución de parques y jardines en áreas urbanas (1.3 mg/kg); constituyendo una alternativa ambientalmente amigable para tratar suelos impactados con estas características y bajo las condiciones en las que se trabajó.

VI. CONCLUSIONES

En la presente investigación, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. En el tratamiento del suelo contaminado con bifenilos policlorados mediante microorganismos eficaces, la variación de los parámetros físicos y químicos tienen incidencia directa en la concentración final del contaminante; así, la variación de la conductividad eléctrica varía de 17.44 a 45.65 Ms/m, la humedad de 9.9 a 17.4 %, el pH de 5.03 a 7.48 y la temperatura de 25.0 a 26.5 °C lo cual permite una mayor eficiencia en la remoción de los bifenilos policlorados (BPCs).
2. La aplicación de 1200 ml del consorcio de microorganismos eficaces a una concentración de 64×10^8 UFC/ml aplicado cada 5 días por un periodo de 90 días a un m^3 de suelo contaminado tiene mayor incidencia en la degradación de bifenilos policlorados (BPCs).
3. La aplicación de microorganismos eficaces para remediar los suelos contaminados con bifenilos policlorados en un periodo de 90 días, permitió una reducción de la concentración de 7.180 ppm que superan los valores normados según los ECA para suelo agrícola (0.5 ppm) hasta 1.298 ppm, lo cual representa una remoción de hasta un 81.92% de la concentración total de los bifenilos. Esto permitiría aceptar la hipótesis nula y rechazar la hipótesis alterna.
4. La biorremediación mediante aplicación de microorganismos eficaces (EM) en condiciones controladas exsitu mejora el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados (BFPs) permitiendo que el suelo recupere sus propiedades fisicoquímicas.

VII. RECOMENDACIONES

A las empresas relacionadas, realizar ensayos piloto ex-situ e in-situ a fin de determinar la eficiencia del proceso de tratamiento para la recuperación de suelos impactados con bifenilos policlorados.

A otros investigadores que traten la línea de investigación, realizar ensayos con periodos de tratamiento de mayor duración.

A otros investigadores, mantener un control permanente de los parámetros de campo, a fin de conservar una línea logarítmica de los organismos del consorcio empleado en el proceso de tratamiento.

A otros investigadores, realizar recuentos continuos de las unidades formadoras de colonia de los organismos empleados en el proceso de tratamiento de los suelos impactados con bifenilos policlorados, a fin de determinar el tiempo máximo de su capacidad metabólica para la degradación del contaminante.

REFERENCIAS

- Agboola, O., Babatunde, D. E., Isaac Fayomi, O. S., Sadiku, E. R., Popoola, P., Moropeng, L., Yahaya, A., & Mamudu, O. A. (2020). A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management. In *Results in Engineering* (Vol. 8). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100181>
- Ahmad, M., Pataczek, L., Hilger, T. H., Zahir, Z. A., Hussain, A., Rasche, F., Schafleitner, R., & Solberg, S. (2018). Perspectives of microbial inoculation for sustainable development and environmental management. *Frontiers in Microbiology*, 9(DEC). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02992>
- Ancona, V., Rascio, I., Aimola, G., Campanale, C., Grenni, P., di Lenola, M., Garbini, G. L., Uricchio, V. F., & Caracciolo, A. B. (2021). Poplar-assisted bioremediation for recovering a PCB and heavy-metal-contaminated area. *Agriculture (Switzerland)*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/agriculture11080689>
- Azubuike, C. C., Chikere, C. B., & Okpokwasili, G. C. (2016). Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. In *World Journal of Microbiology and Biotechnology* (Vol. 32, Issue 11). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2137-x>
- Beamlaku, A., & Habtemariam, T. (2021). Soil Colloids, Types and their Properties: A review. *Open Journal of Bioinformatics and Biostatistics*, 008–113. <https://doi.org/10.17352/ojbb.000010>
- Beltrán, M., & García de Salamone, I. (2018). *Biorremediación de los Recursos Naturales* (INTA, Ed.; 1st ed.). https://inta.gob.ar/sites/default/files/biorremediacion_de_los_recursos_naturales.pdf
- Corpus, M., & Castillo, H. (2018). Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados

provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Cuvi, N., & Bejarano, M. (2015). Los halos de inhibición en la remediación de suelos amazónicos contaminados con petróleo. *Historia, Ciencias, Saude - Manguinhos*, 22, 1–22. <https://doi.org/10.1590/S0104-59702015000500009>

Dendievel, A. M., Mourier, B., Coynel, A., Evrard, O., Labadie, P., Ayrault, S., Debret, M., Koltalo, F., Copard, Y., Faivre, Q., Gardes, T., Vauclin, S., Budzinski, H., Grosbois, C., Winiarski, T., & Desmet, M. (2020). Spatio-temporal assessment of the polychlorinated biphenyl (PCB) sediment contamination in four major French river corridors (1945-2018). In *Earth System Science Data* (Vol. 12, Issue 2, pp. 1153–1170). Copernicus GmbH. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1153-2020>

Edward, T., & Frederick, L. (2018). *Ciencias de la tierra*. In PEARSON PRENTICE HALL (Ed.), *Geology* (1st ed., Vol. 30).

Gabryszewska, M., & Gworek, B. (2021). Municipal waste landfill as a source of polychlorinated biphenyls releases to the environment. *PeerJ*, 9. <https://doi.org/10.7717/peerj.10546>

García, F. D. M., Panduro, D. M., & Herrera, M. A. (2021). *Remediación de Suelo Agrícola Dedicado al Cultivo de Arroz con Concentraciones de Cadmio, Mediante la Aplicación de Microorganismos Eficaces y Carbón Activado [Universidad César Vallejo]*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61772>

Germain, J., Raveton, M., Binet, M. N., & Mouhamadou, B. (2021). Potentiality of native ascomycete strains in bioremediation of highly polychlorinated biphenyl contaminated soils. *Microorganisms*, 9(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030612>

Gómez, A., Morales, C., de la Garza, I., Torres, S., & Sánchez, I. (2020). Evaluation of two remediation techniques applied to a site impacted by petroleum

production waters. REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 38(1), 77.
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.564>

González, C., & Bolaños, D. (2021). Economic feasibility proposal for treatment and/or disposal technologies of dielectric oils contaminated with PCB. In *Heliyon* (Vol. 7, Issue 2). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05838>

Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. del P., Méndez, S., & Mendoza, C. P. (2015). *Metodología de la investigación* (McGRAW-HILL, Ed.; 6th ed.).

Hipólito-Romero, E., Carcaño-Montiel, M. G., Ramos-Prado, J. M., Vázquez-Cabañas, E. A., López-Reyes, L., & Ricaño-Rodríguez, J. (2017). Effect of mixed edaphic bacterial inoculants in the early development of improved cocoa cultivars (*Theobroma cacao* L.) in a traditional agroforestry system of Oaxaca, Mexico. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 358.
<https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.003>

Lara Mantilla, C., & Negrete Peñata, J. L. (2015). Efecto de un bioinoculante a partir de consorcios microbianos nativos fosfato solubilizadores, en el desarrollo de pastos Angleton (*Dichanthium aristatum*) Título en ingles: Effect of bioinoculant from microbial consortia phosphate solu. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 126.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n1.50741>

Leboffe, M., & Pierce, B. (2011). *A Photographic Microbiology Atlas for the Microbiology Laboratory* (MORTON, Ed.; 4th ed.).

López, E., Cisneros, S., & Ochoa, J. (2016). Procesos de bioestimulación para la remediación de suelos agrícolas contaminados con tebuconazol y λ - cialotrina. *Revista de Simulación y Laboratorio*, 3(8), 1–9.
https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Simulacion_y_Laboratorio/vol3num8/Revista_de_Simulacion_y_Laboratorio_V3_N8_1.pdf

Loroña, F., Gomez, W., Jaco, E., Reynaga, C., Guiño, M., Gamarra, J., Díaz Huaman, F., Huaman Buitron, N., Rafael Gutierrez, P., Mayte Quispe, J.,

- Moran Carhuapoma, M., & Carhuancho Alzamora, L. C. (2018). Eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con Diesel B5 mediante Microorganismo Eficaces (EM). *Cátedra Villarreal*, 6(2), 189–209. <https://doi.org/10.24039/cv201862278>
- Melo, O. O., López, L. A., & Melo, S. E. (2020). *Diseño de experimentos - Métodos y aplicaciones (MAQUETA LATEX, Ed.; 2nd ed.)*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. <https://doi.org/10.36385/FCBOG-4-0>
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2006). *Ingeniería ambiental Fundamentos, sustentabilidad, di (Alfaomega, Ed.; 1st ed.)*.
- Guía para el muestreo de suelos, Pub. L. No. 002-2013-MINAM, 1 72 (2014).
- Mohammadi, M., Assadi, M., Farazmand, A., Kianirad, M., Ahadi, A., & Ghahderijani, H. n. (2017). Bioremediation of soil contaminated crude oil by Agaricomycetes. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 15(1), 4–9. <https://doi.org/10.1186/s40201-016-0263-x>
- Navarro, S. (2019). Dosis y frecuencias de aplicación foliar de microorganismos eficaces (EM) y su efecto en el rendimiento de los frutos del “Ají habanero” (*Capsicum chinense* Jacq.) en el sector Cieneguillo Sur, Sullana - Piura. Universidad Nacional de Piura.
- Ojuederie, O. B., & Babalola, O. O. (2017). Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments: A review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 14, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121504>
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. (2015). *Informe Mundial sobre la Propiedad Intelectual en 2015*.
- Paz, G. B. (2017). *Metodología de la investigación (Grupo Editorial PATRIA, Ed.; 3rd ed.)*.

- Pelitli, V., Doğan, Ö., & Köroğlu, H. J. (2015). Transformer Oils Potential for PCBs Contamination. *International Journal of Metallurgical & Materials Engineering*, 1(2). <https://doi.org/10.15344/2455-2372/2015/114>
- Roldán, N. (2017). Bioacumulación y biomagnificación de elementos potencialmente tóxicos en el pulpo *Octopus hubbsorum* del puerto minero de Santa Rosalía, Golfo de California. Instituto Politécnico Nacional.
- Rosique, M. (2016). Gestión de los residuos y suelos contaminados provenientes de la minería metálica: aspectos técnicos, problemas ambientales y marco normativo. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Sánchez Herrera, D., Rustrían Portilla, E., Sánchez Sánchez, O., Pascal Houbbron, E., & Luna Rodríguez, M. (2016). Biodegradación como fuente de energía renovable. *Ciencia*, 66, 4–9.
- Sarmiento, G., & Febres, S. (2021). Lead recovery in artificially contaminated agricultural soil as a remediation strategy using sunflower and vermicompost. In *Revista Chapingo, Serie Horticultura* (Vol. 27, Issue 3, pp. 199–212). Universidad Autónoma Chapingo. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.04.007>
- Sender, J., & Gómez, S. (2017). Impacto del uso de drones para fumigación de cultivos de arándanos en el departamento de La Libertad – Perú. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/623455/Sender_UJ.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Sharma, J. K., Gautam, R. K., Nanekar, S. v., Weber, R., Singh, B. K., Singh, S. K., & Juwarkar, A. A. (2018). Advances and perspective in bioremediation of polychlorinated biphenyl-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(17), 16355–16375. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8995-4>

- Simbaña, C. J., & Ramos, I. (2016). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de la Parroquia Taracoa en Francisco de Orellana, mediante el Hongo pleurotus ostreatus. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4916>
- Singh, S., Parihar, P., Singh, R., Singh, Vijay., & Prasad, Sheo. (2016). Heavy metal tolerance in plants: Role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionomics. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 6, Issue FEB2016). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01143>
- Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), Pub. L. No. D 2487-00, 04 249 (2000). www.astm.org
- Strains, B., & Culture, T. M. (2020). Assessment of Biodegradation Efficiency of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Petroleum Hydrocarbons (TPH) in Soil Using Three Individual Bacterial Strains and Their Mixed Culture. *Molecules*, 25. <https://doi.org/10.3390/molecules25030709>
- Tarazona, J., Soto, A., & Arias, R. (2020). Tratamientos biológicos y físicos en la recuperación de suelos contaminados por petróleo crudo. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(1), 12–22. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/index
- Trejos, C., Cadavid, G., Hormaza, A., Agudelo, E., Barrios, L., Loaiza, J., & Cardona, S. (2020). Oil bioremediation in a tropical contaminated soil using a reactor. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 92(2), 1–18. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181396>
- Vera, J. (2016). Comparación de la coagulación química y la electrocoagulación en la eficiencia de remoción de turbidez de agua del río Rímac, 2016. Universidad Cesar Vallejo.
- Wallis, S. L., Emmett, E. A., Hardy, R., Casper, B. B., Blanchon, D. J., Testa, J. R., Menges, C. W., Gonneau, C., Jerolmack, D. J., Seiphoori, A., Steinhorn, G., & Berry, T. A. (2020). Challenging Global Waste Management –

Bioremediation to Detoxify Asbestos. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00020>

Wojtowicz, K., & Steliga, T. (2020). Study on bioremediation of soil contaminated with polychlorinated biphenyls (Pcbs). *Nafta - Gaz*, 2020(8), 507–516. <https://doi.org/10.18668/NG.2020.08.03>

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Dependiente: Suelo contaminado con bifenilos policlorados.	Según Mihelcic & Zimmerman (2006), son aquellos suelos con la presencia de agentes resistentes a los ácidos, álcalis y oxidantes, están constituidos por dos moléculas aromáticas unidas mediante enlace C-C, los cuales se caracterizan porque sus hidrógenos están sustituidos por hasta diez átomos de cloro.	Los PCBs se caracterizan por su baja solubilidad y son altamente estables a agentes oxidantes, por lo que son altamente perdurables en el ambiente.	Concentración de bifenilos policlorados.	Alta concentración. Baja concentración.	Cuantitativa continua: mg/L, ppm. Cuantitativa continua: mg/L, ppm.
Independiente: Biorremediación con microorganismos eficaces.	Según Vera (2016), es aplicable al proceso mediante el cual se subsana un problema, en este caso mediante la aplicación de microorganismos eficaces; un consorcio microbiano constituido por hongos y bacterias con características bioquímicas relacionadas.	Los microorganismos que constituyen los microorganismos eficaces gracias a su capacidad de bioquímica, aprovecharán a los PCB degradándolos y aprovechándolos a fin de satisfacer sus necesidades nutricionales.	Parámetros físicos y químicos. Microorganismos eficaces.	Alta o baja y concentración. Alta o baja concentración. Baja o alta remoción.	Cuantitativa continua: mg/L. ppm Cuantitativa continua: UFC/100 mL. Cuantitativa continua: %.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Anexo 2. Matriz de consistencia.

TITULO		"Biorremediación de suelos contaminados con bifenilos policlorados mediante la aplicación microorganismos eficaces, distrito de Shanao, Lamas, 2021"
PROBLEMA	General	- ¿Cómo la biorremediación mediante microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021?
	Específicos	- ¿De qué manera los parámetros físicos y químicos inciden en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021? - ¿Cuál es el volumen del consorcio de microorganismos eficaces que incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021? - ¿En qué medida la eficiencia de remoción mediante microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021?
OBJETIVO	General	- Determinar si la biorremediación mediante microorganismos eficaces mejora el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021.
	Específicos	- Identificar si los parámetros físicos y químicos inciden en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021. - Analizar si el volumen del consorcio de microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021. - Evaluar si la eficiencia de remoción mediante microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021.
HIPÓTESIS	General	- La biorremediación mediante microorganismos eficaces mejora significativamente el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021.
	Específicos	- Los parámetros físicos y químicos inciden en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021. - El volumen del consorcio de microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021. - La eficiencia de remoción mediante microorganismos eficaces incide en el tratamiento de suelos contaminados con bifenilos policlorados, distrito Shanao, San Martín, 2021.
VARIABLE	Variable independiente	- Biorremediación con microorganismos eficaces.
	Variable dependiente	- Suelo contaminado con bifenilos policlorados.
METODOLOGÍA	<ul style="list-style-type: none"> - Etapa de gabinete inicial. - Etapa de campo. - Etapa de laboratorio - Etapa de gabinete final. 	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Anexo 3. Validación del instrumento formato de registro de campo (Pag. 1 de 3).



INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

Apellidos y nombres del informante: Mg. Abel Rivera Cervantes.
 Institución donde labora: Corporación GRONPERU S.A.C.
 Especialidad: Gestión Pública.
 Instrumento de validación: Formato de registro de campo para remediación
 Autor (s) del instrumento (s): Silva Fasanando, Greicy - Guerra Sangama, Magaly.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

DEFICIENTE (0-20%) REGULAR (21-40%) ACEPTABLE (41-60%) BUENA (61-80%) EXCELENTE (81-100%)

DEFICIENTE (0-20%) REGULAR (21-40%) ACEPTABLE (41-60%) BUENA (61-80%) EXCELENTE (81-100%)

INDICADORES	CRITERIOS	PORCENTAJE (%)				
		0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
CLARIDAD	Los Items están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.				80	
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los Items del Instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable, en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					90
ACTUALIDAD	El Instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, Innovación y legal inherente a la variable: Ruido ambiental.					90
ORGANIZACIÓN	Los Items del Instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.				80	
SUFICIENCIA	Los Items del Instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					90
INTENCIONALIDAD	Los Items del Instrumento son coherentes con el tipo de Investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio: Biorremediación con microorganismos eficaces.				80	
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los Items del Instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la Investigación.					90
COHERENCIA	Los Items del Instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Biorremediación con microorganismos eficaces.				80	
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el Instrumento propuestos responden al propósito de la Investigación, desarrollo tecnológico e Innovación.				80	
PERTINENCIA	La redacción de los Items concuerda con la escala valorativa del Instrumento.					90
PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN					80%	90%

Tarapoto, 26 de enero del 2022

ABEL RIVERA CERVANTES
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP. N° 221517

Anexo 4. Validación del instrumento formato de registro de campo (Pág. 2 de 3).



INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

Apellidos y nombres del informante: Dr. Ing. Jaime Walter Alvarado Ramírez.
 Institución donde labora: Universidad Nacional de San Martín.
 Especialidad: Ciencias Ambientales.
 Instrumento de validación: Formato de registro de campo para remediación.
 Autor (s) del instrumento (s): Silva Fasanando, Greicy - Guerra Sangama, Magaly.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

DEFICIENTE (0-20%) REGULAR (21-40%) ACEPTABLE (41-60%) BUENA (61-80%) EXCELENTE (81-100%)

INDICADORES	CRITERIOS	PORCENTAJE (%)				
		0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.					90
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable, en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.				80	
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Ruido ambiental.					90
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organización lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.				80	
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					90
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio: Biorremediación con microorganismos eficaces.				80	
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					90
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Biorremediación con microorganismos eficaces.				80	
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					90
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.				80	
PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN					80%	90%

Tarapoto, 26 de enero del 2022


 Jaime W. Alvarado Ramirez
 INGENIERO AGRÓNOMO
 CIP 27388

Anexo 5. Validación del instrumento formato de registro de campo (Pag. 3 de 3).



INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

Apellidos y nombres del informante: Mg. Henry Mogollon Carbajal.
 Institución donde labora: Consultor particular.
 Especialidad: Mg. Ing. Ambiental.
 Instrumento de validación: Formato de registro de campo para remediación
 Autor (s) del instrumento (s): Silva Fasanando, Greicy – Guerra Sangama, Magaly.

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

DEFICIENTE (0-20%) REGULAR (21-40%) ACEPTABLE (41-60%) BUENA (61-80%) EXCELENTE (81-100%)

INDICADORES	CRITERIOS	PORCENTAJE (%)				
		0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.				80	
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable, en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.				80	
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Ruido ambiental.					90
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					90
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.				80	
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio: Biorremediación con microorganismos eficaces.				80	
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					90
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Biorremediación con microorganismos eficaces.					90
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.				80	
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.				80	
PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN					80%	90%

Tarapoto, 26 de enero del 2022



 Henry Mogollon Carbajal
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP N° 135735

Anexo 3. Validación de los instrumentos.

Cálculo del coeficiente de alfa de Cronbach del formato de registro de campo en el proceso de biorremediación de suelos contaminados con Bifenilos Policlorados.

$$\alpha = \left[\frac{K}{K-1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^K S_i^2}{S_t^2} \right]$$

Donde:

$\sum_{i=1}^K S_i^2$: Suma de la varianza de cada ítem.

S_t^2 : Varianza del total de filas (Puntaje de los jueces expertos).

K : Numero de ítems considerados en el instrumento

Considerando los datos correspondiente a la puntuación de los ítems, se elaboró la siguiente tabla:

Experto \ Ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	80	90	90	80	90	80	90	80	80	90	850
2	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	850
3	80	80	90	90	80	80	90	90	80	80	840
Total	250	250	270	250	260	240	270	250	250	250	2540
Desv. Est.(S)	6	6	0	6	6	0	0	6	6	6	40
Varianza (S ²)	33	33	0	33	33	0	0	33	33	33	233

Por lo que, al reemplazar en la fórmula anterior corresponde:

$$\alpha = \left[\frac{10}{10-1} \right] \left[1 - \frac{233}{1633} \right] = [1.11][0.86]$$

$$\alpha = 0.95$$

De lo cual se interpreta que la confiabilidad es alta (0.95).

Anexo 4. Formato de registro de campo como instrumento de recolección de los datos.

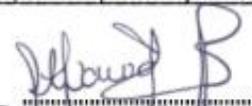
FORMATO DE REGISTRO DE CAMPO PARA REMEDIACIÓN

"Biorremediación de Suelos Contaminados con Bifenilos Policlorados Mediante la Aplicación de Microorganismos Eficaces, Distrito de Shanau, Lamas, 2021"

Subparcelas	Tratamiento	Pretratamiento					Postratamiento					Observaciones
	Dosis de EEM (mL)	CE	Temp.	Humedad	pH	EPC	CE	Temp.	Humedad	pH	EPC	
BP1	300	17,44	25,0	9,9	5,03	7,180	19,80	25,50	11,50	5,10	5,361	—
BP2	600	17,44	25,0	9,9	5,03	7,180	23,54	25,90	15,80	6,02	3,170	—
BP3	1200	17,44	25,0	9,9	5,03	7,180	45,65	26,50	17,40	7,48	1,298	El suelo presentó olor característico del compost.
Control	—	17,44	25,0	9,9	5,03	7,180	17,40	25,30	7,00	5,03	7,150	El suelo presentó olor característico de los suelos rancios.


ABEL RIVERA CERVANTES
 INGENIERO AMBIENTAL
 Reg. CIP: N° 221517




Jaime W. Alvarado Ramirez
 INGENIERO AGRÓNOMO
 CIP 27388




Henry Mogollón Carbajal
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP N° 135735

Anexo 5. Solicitud para acceder al almacén de residuos - Electro Oriente S.A.



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"



SAN JUAN DE LURIGANCHO, 03 de febrero de 2022.

Para: Ing. Julio Aguilar García
Gerente Regional San Martín Electro Oriente S. A.

Atención: Ing. Julio César Rucoba Pinedo
Supervisor Seguridad y Medio Ambiente San Martín (e)

Asunto: Autorizar para la ejecución del Proyecto de Investigación de INGENIERÍA AMBIENTAL

De mi mayor consideración:

Es muy grato dirigirme a usted, para saludarlo muy cordialmente en nombre de la Universidad Cesar Vallejo Filial SAN JUAN DE LURIGANCHO, deseándole la continuidad y éxitos en la gestión que viene desempeñando.

A su vez, la presente tiene como objetivo solicitar su autorización para extraer entre 1 a 4 metros cúbicos del suelo del almacén de transformadores en el sector "Cocopa", a fin de que las Bach. En Ingeniería Ambiental GREICY STEFANY SILVA FASANANDO y MAGALY GUERRA SANGAMA del Programa de Titulación, Taller de Elaboración de Tesis de la Escuela Académica Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL, pueda ejecutar su investigación titulada: "BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON BIFENILOS POLICLORADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES, DISTRITO DE SHANAO, LAMAS, 2021"; Motivo por el cual se recurre a la institución que pertenece a su digna Dirección; agradeceré se le brinden las facilidades correspondientes.

Sin otro particular, me despido de Usted, no sin antes expresar los sentimientos de mi especial consideración personal.

Atentamente,


Mg. César Francisco Honores Balcázar
Coordinador Nacional de Titulación
Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental

cc: Archivo PTUN.

Anexo 7. Resultado inicial de laboratorio de los parámetros de interés. (Pág. 1 de 2).



Environmental Quality Analytical Services S.A.
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 030



INFORME DE ENSAYO N° SA02954/21

Solicitante : SILVA FASANANDO GREICY STEFANY - GUERRA SANGAMA MAGALY
Dirección : Jr Yurimaguas 543 Distrito Banda de Shilcayo – Departamento de San Martín
Procedencia : SHANAO - SAN MARTIN
Distrito: Shanao - Provincia: Lamas - Departamento: San Martín
Matriz de la Muestra : Suelo
Fecha de Muestreo : 21 - Diciembre - 2 021
Responsable del Muestreo : Personal Técnico – Empresa Solicitante
Fecha y Hora de Recepción : 22 - Diciembre - 2 021 / 15:00 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 22 al 31 - Diciembre - 2 021

Código Interno: L02954/21

PARÁMETROS	0333 - 1 ^(a)	Expresado en:	MÉTODO DE ENSAYO
	M1 ^(b) (08:00 h) N 76.3833 - E 6.47861 ^(c)		
Conductividad Eléctrica	17,44	mS/m	ISO 11265
Humedad	9,9	%	ASTM D2216-10 (*)
pH	5,03	Unidad de pH	EPA 9045D
Temperatura	24,0	°C	EPA 170.1 (*)

^(a) Código de Laboratorio

^(b) Código del Solicitante y hora de muestreo

^(c) Ubicación en coordenadas UTM

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -

- Soil Quality: Determination of the Specific Electrical Conductivity. 1994
- Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
- EPA 9045D. Soil And Waste pH. 2004
- EPA 170.1 Temperature (Thermometric)
- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -

- Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES. -

- Los resultados están expresados en mg/kg PS (Peso Seco).
- Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 31 de Diciembre de 2 021.

EQUAS S.A.

Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Código: F01-F.DIR.04
Revisión: 01
Fecha: 02-11-2021

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 2

Anexo 7. Resultado inicial de laboratorio de los parámetros de interés. (Pág. 2 de 2).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 030



INFORME DE ENSAYO N° SA02954/21

Solicitante : SILVA FASANANDO GREICY STEFANY - GUERRA SANGAMA MAGALY
Dirección : Jr Yurimaguas 543 Distrito Banda de Shilcayo – Departamento de San Martín
Procedencia : SHANAO - SAN MARTIN
 Distrito: Shanao - Provincia: Lamas - Departamento: San Martín
Matriz de la Muestra : Suelo
Fecha de Muestreo : 21 - Diciembre - 2 021
Responsable del Muestreo : Personal Técnico – Empresa Solicitante
Fecha y Hora de Recepción : 22 - Diciembre - 2 021 / 15:00 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 22 al 31 - Diciembre - 2 021

Código Interno: L02954/21

PARÁMETROS	0333 - 1 ^(a)	Expresado en:	MÉTODO DE ENSAYO
	M1 ^(b) (08:00 h) N 76.3833 - E 6.47861 ^(c)		
PCBs:			
PCB N° 101	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 118	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 138	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 153	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 180	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 28	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 52	< 0,011	mg/kg	EPA 8270E (*)
PCB Total	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)

(^a) Código de Laboratorio

(^b) Código del Solicitante y hora de muestreo

(^c) Ubicación en coordenadas UTM

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -

- EPA Method 8270E, Rev. 6 (2018).
- (*) Parámetros subcontratados, los métodos indicados han sido acreditados por el INACAL-DA.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -

- Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES. -

- Los resultados están expresados en mg/kg PS (Peso Seco).
- Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 31 de Diciembre de 2 021.

EQUAS S.A.
 Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo
 Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Código: F01-F.DIR.04
 Revisión: 01
 Fecha: 02-11-2021

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte
 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe

Página 2 de 2

Anexo 8. Resultado final de laboratorio de los parámetros de interés. (Pág. 1 de 2).



Environmental Quality Analytical Services S.A.
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 030



INFORME DE ENSAYO N° SA0333/22

Solicitante : SILVA FASANANDO GREICY STEFANY - GUERRA SANGAMA MAGALY
Dirección : Jr Yurimaguas 543 Distrito Banda de Shilcayo – Departamento de San Martín
Procedencia : SHANAO - SAN MARTIN
 Distrito: Shanao - Provincia: Lamas - Departamento: San Martín
Matriz de la Muestra : Suelo
Fecha de Muestreo : 21 - Marzo - 2 022
Responsable del Muestreo : Personal Técnico – Empresa Solicitante
Fecha y Hora de Recepción : 22 - Marzo - 2 022 / 16:00 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 22 - Marzo al 01 - Abril - 2 022

Código Interno: L0333/22

PARÁMETROS	0333 - 1 (a)	0333 - 1 (a)	0333 - 1 (a)	Expresado en:	MÉTODO DE ENSAYO
	M1 (b) (08:00 h) N 76.3833 - E 6.47861 (c)	M2 (b) (08:00 h) N 76.3833 - E 6.47861 (c)	M3 (b) (08:00 h) N 76.3833 - E 6.47861 (c)		
Conductividad Eléctrica	19,8	23,54	45,65	mS/m	ISO 11265
Humedad	11,5	15,5	17,4	%	ASTM D2216-10 (*)
pH	5,1	6,02	7,46	Unidad de pH	EPA 9045D
Temperatura	25,5	25,9	26,5	°C	EPA 170.1 (*)

(*) Código de Laboratorio

(*) Código del Solicitante y hora de muestreo

(*) Ubicación en coordenadas UTM

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -

- Soil Quality: Determination of the Specific Electrical Conductivity. 1994
- Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
- EPA 9045D. Soil And Waste pH. 2004
- EPA 170.1 Temperature (Thermometric)
- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -

- Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES. -

- Los resultados están expresados en mg/kg PS (Peso Seco).
- Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 01 de Abril de 2 022.

EQUAS S.A.

 Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo
 Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras enviadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Código: F01-F.010.04
 Revisión: 01
 Fecha: 02-11-2021

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28.5 de la Pan. Norte
 Teléfonos: 348-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 2

Anexo 8. Resultados final de laboratorio de los parámetros de interés. (Pág. 2 de 2).



Environmental Quality Analytical Services S.A.
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACION INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 030



INFORME DE ENSAYO N° SA0333/22

Solicitante : SILVA FASANANDO GREICY STEFANY - GUERRA SANGAMA MAGALY
Dirección : Jr Yurimaguas 543 Distrito Banda de Shilcayo – Departamento de San Martín
Procedencia : SHANAO - SAN MARTIN
Distrito: Shanao - Provincia: Lamas - Departamento: San Martín
Matriz de la Muestra : Suelo
Fecha de Muestreo : 21 - Marzo - 2 022
Responsable del Muestreo : Personal Técnico – Empresa Solicitante
Fecha y Hora de Recepción : 22 - Marzo - 2 022 / 16:00 h
Fecha de Ejecución del Ensayo : 22 - Marzo al 01 - Abril - 2 022

Código Interno: L0333/22

PARÁMETROS	0333 - 1 (a)	0333 - 1 (a)	0333 - 1 (a)	Expresado en:	MÉTODO DE ENSAYO
	M1 (b) (09:00 h) N 76.3833 - E 6.47861 (c)	M2 (b) (09:00 h) N 76.3833 - E 6.47861 (c)	M3 (b) (09:00 h) N 76.3833 - E 6.47861 (c)		
PCBs:					
PCB N° 101	1,051	0,040	0,012	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 118	1,000	0,920	0,121	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 138	< 0,011	< 0,011	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 153	< 0,011	< 0,011	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 180	2,100	1,210	0,604	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 28	< 0,011	< 0,011	< 0,011	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB N° 52	1,200	1,000	0,561	mg/kg PS	EPA 8270E (*)
PCB Total	5,361	3,170	1,296	mg/kg PS	EPA 8270E (*)

(*) Código de Laboratorio

(*) Código del Solicitante y hora de muestreo

(*) Ubicación en coordenadas UTM

REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -

- EPA Method 8270E. Rev.6 (2018).
- (*) Parámetros subcontratados, los métodos indicados han sido acreditados por el INACAL-DA.

ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -

- Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

OBSERVACIONES. -

- Los resultados están expresados en mg/kg PS (Peso Seco).
- Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 01 de Abril de 2 022.

EQUAS S.A.
Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Código: F01-FIDR04
Revisión: 01
Fecha: 02-11-2021

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte
Teléfonos: 348-4976 / 349-4050 e_mail: info@equas.com.pe

Página 2 de 2

Anexo 9. Panel fotográfico como evidencia de las actividades desarrolladas.



Almacén de la Empresa Electro Oriente San Martín S.A. – Sector Cocopa – Morales.
Fuente: *Elaboración propia, 2021.*



Materiales para la toma de muestra de suelo contaminados con bifenilos policlorados (BPC).
Fuente: *Elaboración propia, 2021.*



Calicata para la obtención de la muestra de suelo – Identificación del contaminante.
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Obtención de la muestra para evaluación inicial de los BPC.
Fuente: Elaboración propia, 2022.



Método del cuarteo para la obtención de la muestra de suelo.
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Selección de partes contrapuestas de la porción de suelo por el método del cuarteo.
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Obtención de la muestra para determinación de los BPC.
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Carga de del suelo impactado por BPC para ser transportado y tratado ex-situ.
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Proceso de activación de los Microorganismos Eficaces.
Fuente: Elaboración propia, 2021.



Proceso de aplicación del consorcio de Microorganismos Eficaces.
Fuente: Elaboración propia, 2021.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, TULLUME CHAVESTA MILTON CESAR, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Biorremediación de Suelos Contaminados con Bifenilos Policlorados Mediante la Aplicación de Microorganismos Eficaces, Distrito de Shanao, Lamas, 2021", cuyos autores son GUERRA SANGAMA MAGALY, SILVA FASANANDO GREICY STEFANY, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 18 de Abril del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
TULLUME CHAVESTA MILTON CESAR DNI: 07482588 ORCID 0000-0002-0432-2459	Firmado digitalmente por: MTULLUMEC el 18-04- 2022 14:51:19

Código documento Trilce: TRI - 0296142