



Bioestimulación para reducir el nivel de Diesel D B-5 en suelos contaminados

Biostimulation to reduce the level of Diesel D B-5 in contaminated soils

Bioestimulação para redução do nível de Diesel D B-5 em solos contaminados

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.321>

Julio César Vilchez Moscol¹
juliovilchez87@hotmail.com

Natalia del Pilar Diaz²
ndiazd@unitru.edu.pe

Antonio Manuel Otoya Zelada²
amotoyaz@unitru.edu.pe

Jean Carlos Ecurra Lagos³
jean.escurra@upn.pe

¹Universidad Católica de Trujillo. Trujillo, Perú

²Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú

³Universidad Privada del Norte. Trujillo, Perú

Artículo recibido 22 de julio 2024 / Arbitrado 28 de agosto 2024 / Publicado 20 de septiembre 2024

RESUMEN

La degradación del suelo causada por derrames de hidrocarburos, destacando su amenaza para la calidad del suelo, agua subterránea y biodiversidad. Busca ofrecer una perspectiva integral sobre el daño ambiental causado por la industria hidrocarburífera con el **objetivo** de impactar positivamente en la sociedad. El estudio se propone implementar el método de bioestimulación para reducir el nivel de Diesel D B5 en suelos contaminados en un puerto pesquero en Trujillo 2024, identificar cambios durante el tratamiento del suelo, evaluar diferentes dosis de biosol de pescado y determinar la tasa de degradación de Diesel mediante la incorporación de biosol como bioestimulante. Adoptando un diseño Completamente al Azar para la recopilación y análisis de datos. Los **resultados** fueron contrastados con las pruebas estadísticas, del T Student, indican que el tratamiento de bioestimulación con 60 gramos de Biosol exhibe la mayor tasa de reducción (44.19%), seguido por el tratamiento con 40 gramos de Biosol (43.86%).

Palabras clave: Bioestimulación; Diesel D B5; Suelo; Contaminación

ABSTRACT

The research addresses soil degradation caused by hydrocarbon spills, highlighting its threat to soil quality, groundwater and biodiversity. It seeks to offer a comprehensive perspective on the environmental damage caused by the hydrocarbon industry with the **aim** of positively impacting society. The study proposes to implement the biostimulation method to reduce the level of Diesel D B5 in contaminated soils in a fishing port in Trujillo 2024, identify changes during soil treatment, evaluate different doses of fish biosol and determine the degradation rate of Diesel by incorporating biosol as a biostimulant. Adopting an experimental and quantitative approach with a Completely Randomized Design for data collection and analysis. The **results** were contrasted with the statistical tests, the T Student, indicating that the biostimulation treatment with 60 grams of Biosol exhibits the highest reduction rate (44.19%), followed by the treatment with 40 grams of Biosol (43.86%). Although the difference between this last treatment and the control group is not significant, the implementation of fish biosol shows promising effectiveness in bioremediation, highlighting the importance of its application in the decomposition of Diesel D B5 in contaminated soils..

Key words: Biostimulation; Diesel D B5; Floor; Pollution

RESUMO

A investigação aborda a degradação do solo causada por derrames de hidrocarbonetos, destacando a sua ameaça à qualidade do solo, às águas subterrâneas e à biodiversidade. Procura oferecer uma perspectiva abrangente sobre os danos ambientais causados pela indústria de hidrocarbonetos com o **objetivo** de impactar positivamente a sociedade. O estudo propõe implementar o método de bioestimulação para reduzir o nível de Diesel D B5 em solos contaminados em um porto pesqueiro de Trujillo 2024, identificar alterações durante o tratamento do solo, avaliar diferentes doses de biossol de peixe e determinar a taxa de degradação do Diesel incorporando biossol como um bioestimulante. Adotando uma abordagem experimental e quantitativa com Delineamento Completamente Randomizado para coleta e análise de dados. Os **resultados** foram contrastados com os testes estatísticos, o T Student, indicando que o tratamento de bioestimulação com 60 gramas de Biossol apresenta a maior taxa de redução (44,19%), seguido do tratamento com 40 gramas de Biossol (43,86%). Embora a diferença entre este último tratamento e o grupo controle não seja significativa, a implementação do biossol de peixes apresenta eficácia promissora na biorremediação, destacando a importância de sua aplicação na decomposição do Diesel D B5 em solos contaminados.

Palavras-chave: Bioestimulação; Gasóleo D B5; Chão; Poluição

INTRODUCCIÓN

El suelo se encuentra entre los principales componentes en la superficie terrestre, donde las actividades antropogénicas con frecuencia dan origen a consecuencias ambientales especialmente observables en el suelo, por ser este uno de los primeros puntos de contacto de fugas accidentales de sustancias, que puedan ser tóxicas. La degradación del suelo usualmente es generada mediante derrames de sustancias derivadas de hidrocarburos, debido a la extracción excesiva de petróleo crudo que puede alterar y/o contaminar tanto las fuentes hídricas como al suelo, provocando grandes impactos negativos los cuales se hacen perceptibles cuando la contaminación llega a zonas agrícolas afectando la salud y bienestar de la comunidad (1).

Los hidrocarburos perjudican las propiedades físicas y químicas del suelo, tales como el pH, la estructura, la permeabilidad, la reducción de la capacidad de soporte del crecimiento de las plantas y el impacto en el paisaje (2). A lo largo de un extenso período, en naciones de América Latina, se han registrado múltiples incidentes de vertidos de petróleo que causan daño al entorno natural, deteriorando el equilibrio ecológico y afectando la salud, tanto en seres humanos como en la fauna (3). Sin embargo, como resultado de la explotación de este recurso, se han acumulado pruebas contundentes de la contaminación ambiental en diversos países latinoamericanos, y especialmente

en aquellos más desarrollados, los ecosistemas han experimentado un impacto negativo debido a la liberación de grandes volúmenes de contaminantes hidrocarburiíferos. Esto ha llevado a la formación de pasivos ambientales, que a su vez actúan como fuentes persistentes de contaminación. Donde la preservación del medio ambiente se ha vuelto una prioridad cada vez mayor, puesto que se reconoce la importancia de reducir los impactos negativos para garantizar la salud a largo plazo de los ecosistemas y el bienestar continuo de la población (4).

En este aspecto, los procesos de explotación hidrocarburiífera originan cambios desfavorables con respecto a la salud, el medio ambiente, y la propia industria. En la actualidad, uno de los campos de investigación más intensamente estudiados se centra en la restauración de suelos contaminados por lodos de perforación, petróleo crudo y solventes resultantes de actividades de extracción (5). En tal sentido, las especies empleadas en la restauración de suelos usan al carbono como fuente para el metabolismo. Inicialmente, aparecen en el suelo contaminado en pequeñas cantidades, posteriormente con las condiciones nutricionales y fisicoquímicas adecuadas los organismos se reproducen en grandes cantidades. En consecuencia, para lograr la restauración del ambiente contaminado con hidrocarburos a través de la biorremediación, es necesario llevar a cabo un estudio y una caracterización adecuada de los microorganismos involucrados (6). La

transformación de los residuos hidrobiológicos en un biosol con fines agrícolas emerge como una solución efectiva para abordar los retos asociados a la gestión de residuos orgánicos. Puesto que puede incrementar la presencia de materia orgánica y revitalizar la actividad microbiana en suelos altamente degradados, dado que mejora la estructura del suelo y el contenido de nutrientes, disminuyendo la erosión y estabilizando el pH del suelo (7).

Según Velásquez (8), en su investigación realizada, los resultados señalan que el remediador más eficaz fue el extracto de cáscara de naranja (ECN), con resultados similares para ambas dosis aplicadas, logrando una degradación promedio del 92.07% en comparación con el valor inicial. El aceite de pino (ADP) también mostró una eficiencia del 87.88%, aunque ligeramente menor que la del ECN. A pesar de observarse una tendencia a la autoremediación (SR), la eficiencia en este caso fue del 64.72%, un valor menor en comparación con los tratamientos mencionados anteriormente.

Asimismo, Curiel (9), realizó una investigación teniendo como resultados que la aplicación de lombricompost aumentó cinco y dos veces las cantidades de fósforo (P) disponible y potasio intercambiable (K), respectivamente, como consecuencia directa de la adición de enmienda orgánica. Se demostró un aumento de las fosfatasa alcalinas y proteasas relacionadas con el crecimiento bacteriano. Esta estimulación del

metabolismo microbiano se correlacionó con las tasas de degradación, ya que la eficiencia de degradación de los TPH después de la adición de vermicompost alcanzó el 32,5% y el 34,4% de los niveles iniciales de hidrocarburos para la bioestimulación y el bioaumento, respectivamente.

Igualmente, Alvaro (10), en su estudio, los resultados que obtuvo fueron que, a los 14 días de tratamiento, se observó una notable reducción en la concentración de alcanos e hidrocarburos aromáticos de menor peso molecular. Además, se observó que la aplicación de biosólidos resultó efectiva en comparación con los métodos tradicionales de biorremediación, como la adición de fertilizantes y laboreo, la aireación y la humectación. El aporte es la elección de enmiendas orgánicas para la descontaminación y mejora de la eficacia del suelo presentó variaciones al inicio y al término del proceso de biorremediación, indicando la eliminación de componentes de diversas fracciones del petróleo.

A continuación, Calderón (11), en su estudio que se aplicaron los microorganismos EM activados y fueron rociados sobre el suelo contaminado a razón de un litro por semana sobre el área afectada durante un período total de 28 días. Los resultados que se obtuvieron terminado el tiempo fue que la biorremediación fue efectiva en las cuatro categorías de usos del suelo. Como aporte, se observó que la eliminación del Diésel B5 fue más notable en el suelo urbano, logrando una

remoción del 41,06%, reduciendo de 51.221 mg/kg a 29.911 mg/kg de HTP. Además, se calculó y estableció los coeficientes de evaluación entre el porcentaje de materia orgánica (MO) y la densidad aparente (DA), obteniendo valores de 0.9984 y 0.9496, respectivamente. Esto reveló una relación positiva y negativa entre estas variables. Cruzado (12), en su investigación realizada obtuvieron que el humus de lombriz tuvo un impacto significativo en la reducción de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en los suelos contaminados.

En conclusión, la utilización de humus de lombriz en la recuperación de suelos contaminados con petróleo demostró una respuesta estadísticamente significativa después de un mes de aplicación. Específicamente, el tratamiento con 7,5 kg de humus logró reducir el nivel de contaminación del 3,06% al 2,06%, lo que indica su alta efectividad en la remediación de suelos contaminados.

Por lo tanto, la presente investigación se enfocó en el estudio de la degradación del suelo generado por actividades antropogénicas como lo son los derrames de hidrocarburos, los cuales representan una amenaza para la calidad del suelo, el agua subterránea y la biodiversidad, además de persistir durante décadas, deteriorando negativamente la capacidad de este para mantener con vida la flora y fauna. El objetivo del estudio fue implementar el método de bioestimulación para reducir el nivel de Diesel en suelos contaminados

en un puerto pesquero de Trujillo en Perú durante el año 2024. Asimismo, identificar los cambios ocurridos durante el tiempo de tratamiento del suelo pesquero. Además, evaluar las diferentes dosis de biosol de pescado para reducir el nivel de Diesel D B5 en suelo pesquero contaminado y, por último, determinar la tasa de degradación de Diesel mediante la incorporación de biosol de pescado como bioestimulante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Hernández y Mendoza (13) indican que la investigación científica es rigurosa y precisa, ya que implica un enfoque disciplinado y constante en la realización de investigaciones, evitando dejar cabida a la casualidad fundamentándose en evidencias empíricas, basadas en fenómenos observables de la realidad, y sometida a una evaluación crítica y objetiva, eliminando preferencias personales y juicios de valor. En este sentido, el presente estudio se enmarca en un estudio de naturaleza aplicada y, en términos de su alcance, la investigación adopta un diseño experimental. Con respecto a la recopilación y análisis de datos, se ha empleado un enfoque cuantitativo, utilizando un Diseño Completamente al Azar debido a que este tiene por objetivo reducir la posibilidad de que los resultados se vean afectados por diferencias sistemáticas entre las unidades experimentales, lo que facilita el análisis estadístico y la interpretación de datos (14).

El diseño de investigación contó con 2 grupos, por un lado, se tuvo al grupo de control el cual fue utilizado con propósitos comparativos (testigo) para poder determinar la validez, por otra parte, se tuvo al grupo experimental el cual fue expuesto a la variable experimental (15). En relación con eso, se realizó el análisis físico-químico de las muestras de suelo contaminado para posteriormente ser analizadas las concentraciones finales después de aplicar biosólidos como método de bioestimulación.

La población según Robles (16), es el conjunto de elementos que son objeto de estudio o de gran interés, en cambio la muestra es una parte de la población interesada. La adecuada selección de ambas garantiza la efectividad de los resultados finales. En esta investigación, se trabajó con una población finita compuesta por dos elementos o individuos los cuales fueron seleccionados como unidades de muestreo. Principalmente de un puerto pesquero "Salaverry" de la provincia de Trujillo en Perú, se recolectó 50 kg de suelo con características geomorfológicas similares a puntos afectados por la actividad petrolera en el litoral peruano como es el caso del derrame de ventanilla donde predominan los suelos de textura arenosa.

Las técnicas empleadas para la recolección de datos fue la observación, el instrumento fue la ficha de recojo de datos Método de análisis de datos: Análisis detallado de la varianza (ANOVA).

Asimismo, se utilizó la Prueba T Student, la cual se utiliza para comparar las medias de dos grupos y determinar la existencia de una diferencia significativa entre ellos, se aplicó considerando la validez estadística. Previamente, se realizó una evaluación de la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la distribución normal de los datos, y se evaluó la homogeneidad mediante la prueba de Levene para asegurar la igualdad de varianzas. Finalmente se utilizó el Software Microsoft Excel en su versión 2022 como la plataforma para llevar a cabo el análisis estadístico descriptivo.

RESULTADOS

Para determinar que el tratamiento de Bioestimulación reduce el nivel de Diesel D B5 en suelos contaminados en un Puerto Pesquero de la ciudad de Trujillo en el año 2024, se realizó la identificación de los cambios ocurridos durante el tiempo de tratamiento del suelo pesquero, la evaluación de las diferentes dosis y la tasa de degradación de Diesel mediante la incorporación del biosol de pescado como bioestimulante.

A continuación, se proporciona la Tabla 1 que describe los diversos tratamientos aplicados con el propósito de reducir los niveles de Diesel D B5 en los suelos. Además, se presentan las variaciones observadas durante el proceso de homogenización llevado a cabo en intervalos de 2 a 3 días.

Tabla 1. Registro de los cambios en el olor a lo largo del tiempo durante el grupo experimental.

Tiempo (días)	Olor	Descripción
0	Diesel	Fuerte olor a diesel debido a la contaminación inicial.
3	Amoniaco	Olor a amoníaco debido a la liberación de compuestos de amoníaco de los biosólidos.
5	Orgánico	Indicando una reducción del olor a diesel y amoníaco.
7	Orgánico	Continúa el olor a tierra fresca, con disminución de otros olores.
10	Orgánico	Olor relacionado con la descomposición de materia orgánica en los biosólidos.
13	Tierra fresca	Continúa la descomposición orgánica, con disminución del olor a diesel.
15	Tierra fresca	Posible olor a pescado o productos marinos debido a la fuente de los biosólidos.

Del mismo modo, se tiene la evaluación de las diversas dosis de biosol de pescado con el fin de reducir los niveles de Diesel D B5 en suelos contaminados en cada uno de los tratamientos, se realizó la evaluación para los 5,10 y 15 días para los tratamientos SB1 Y SB2 aplicando la Prueba

T student el cual permite evaluar si la diferencia entre las medias de dos grupos es estadísticamente significativa.

A continuación, se tiene la Tabla 2, 3 y 4, haciendo referencia para la evaluación realizada para 5, 10 y 15 días, respectivamente.

Tabla 2. Prueba T de student para muestras independientes – 5 días.

	t	gl	p	IC 95%	
				Inferior	Superior
Tratamientos	-6564.000	4	0.003	-0.21345	-0.8655

Se observa en la Tabla 2, como $p = 0.003 < 0,05$ entonces se acepta la H_a y rechaza la H_o , es decir los datos tienen diferencia significativa. Por lo tanto, con los datos de %THP para los primeros

5 días se tiene que el tratamiento SB1 con 40 gr. de biol obtuvo un 0.94 % y el tratamiento SB1 con 60 gr. un 1.09 % lo cual nos muestra que si existe una diferencia significativa.

Tabla 3. Prueba T de student para muestras independientes – 10 días.

	t	gl	p	IC 95%	
				Inferior	Superior
Tratamientos	4.472	4	0.011	-0.02528	-0.10806

Se observa en la Tabla 3, como $p= 0.01 < 0,05$ entonces aceptamos la H_a y rechazo la H_0 , es decir los datos tienen diferencia significativa. Por lo tanto, con los datos obtenidos de %THP para los primeros 10 días se tiene que el tratamiento

SB1 con 40gr de biol es 0.83 % mientras que el tratamiento SB2 tiene 0.76 % obteniendo una diferencia significativa siendo el tratamiento SB2 el que tuvo un porcentaje de reducción mayor.

Tabla 4. Prueba T de student para muestras independientes – 15 días.

	t	gl	p	IC 95%	
				Inferior	Superior
Tratamientos	4.182	4	0.014	0.02195	0.108713

Se detalla en la Tabla 4 que, para los 15 días como $p= 0.014 < 0,05$ entonces aceptamos la H_a y rechazo el H_0 , es decir los datos tienen diferencia significativa (tabla 13). Según los datos obtenidos de %THP se dice que el tratamiento SB1 40gr tiene un porcentaje de 0.73 % y el tratamiento SB2 60 gr. un 0.66 % por lo cual nuevamente se obtiene que el tratamiento SB2 60 gr tiene mayor porcentaje de reducción de Diesel.

Finalmente, se determinó la tasa de degradación del Diesel mediante la aplicación del biosol de pescado como bioestimulante.

A continuación, la Tabla 5, el cual los resultados indicaron que, durante los primeros 5 días, el tratamiento SB2 mostró el menor porcentaje de degradación. No obstante, en los días posteriores, este mismo tratamiento demostró el mejor porcentaje de degradación de TPH en comparación con el tratamiento SB1.

Tabla 5. Tasa de degradación de % TPH mediante la incorporación de biosol de pescado como bioestimulante.

Tratamiento	% THP sin tratamiento	% THP Media con tratamiento	% Tasa de reducción
SB1	1.91	0.838	43.862
SB2	0.86	0.844	44.193

DISCUSIÓN

De acuerdo con lo expresado por Álvaro et al. (10), la biorremediación aprovecha las actividades metabólicas de microorganismos, hongos, plantas

o enzimas derivadas de estos para descomponer, modificar o eliminar contaminantes, siendo las condiciones ambientales y las características físicas factores cruciales en este proceso.

Así mismo, la investigación de Calderón (11), evidencia una marcada modificación en el color inicial debido al tratamiento aplicado. Después de un período de biotratamiento, se pudo observar que el suelo recuperó tanto su coloración original como su textura previa al vertido de Diésel. Este fenómeno sugiere una efectiva restauración de las propiedades físicas y visuales del suelo, señalando el éxito a corto plazo. Al identificar los cambios ocurridos durante el tiempo de tratamiento del suelo pesquero, Trujillo 2024. La Tabla 1, describe el seguimiento en cuanto al olor producido por los gases y debido a las sustancias presentes en las muestras, siendo el olor un indicador valioso para evaluar la progresión del tratamiento de suelo contaminado con diesel mediante la aplicación de biosólidos de pescado. Donde la transición fue desde un fuerte olor a Diésel hacía un olor a "tierra mojada" debido a la materia orgánica presente en el biosol indicando que el proceso de remediación es eficaz.

Sumado a eso la monitorización continua de estos cambios es esencial para evaluar el progreso, donde en intervalos de 2 y 3 días nos permitieron observar de cerca cómo evoluciona la percepción del olor a medida que los contaminantes se descomponen y se produce la restauración del suelo. Aunque el olor es un indicador útil, su percepción es subjetiva y puede variar entre personas, lo que podría introducir cierta subjetividad en la evaluación. A pesar de

ello, el cambio del fuerte olor a Diésel hacia un olor de "tierra mojada" es un signo prometedor de la eficacia del proceso de biorremediación, sugiriendo que el método está funcionando de manera efectiva.

Al evaluar las diferentes dosis de biosol de pescado para reducir el nivel de Diesel D B5 en suelos contaminados en un puerto pesquero. mediante el uso de la Prueba T student, se logró identificar variaciones significativas en los resultados, particularmente al comparar los diferentes días del estudio. Estas variaciones fueron especialmente notables al comparar diferentes días del estudio, destacando una diferencia significativa entre el día 5 y el día 15. Los resultados indicados en la Tabla 2 indican que el tratamiento SB1 exhibió un porcentaje de reducción de TPH superior en comparación con el tratamiento SB2 en el día 5. Este hallazgo sugiere una tendencia significativa en relación con la concentración de biosol de pescado y la eficacia de los tratamientos en este período específico.

Al avanzar en el estudio, la Tabla 3 muestra que en el día 10, el tratamiento SB2 logró mejores resultados en la reducción de TPH en comparación con otros tratamientos. Mientras que la Tabla 4, referente al día 15, destaca que el tratamiento SB2 con una dosis de 60 gr. continúa demostrando la mejor reducción en el % de TPH. En consecuencia, se puede concluir que la dosis óptima para la reducción de Diesel D B5 en suelos contaminados

en este contexto particular es la aplicada en el tratamiento SB2 con 60 gr. de biosol de pescado. Este hallazgo coincide con el estudio de Cruzado (12), puesto que resalta especialmente la R3 con una reducción del 2.06 % en los TPH, constituyendo el valor más bajo en comparación con los demás tratamientos.

En contraste, el tratamiento con 7.5 kg de humus mostró un porcentaje de 2.89% en su segunda repetición, evidenciando que las dosis más bajas de humus de *Eisenia foetida* no lograron una reducción significativa en la contaminación. Esta relación positiva entre la concentración de biosol y la reducción de Diesel D B5 refuerza la noción de que el biosol de pescado es un agente eficaz para potenciar la actividad microbiana y acelerar el proceso de degradación de los hidrocarburos en el suelo contaminado.

Así mismo Velásquez., et al. (8) destaca que la cantidad de remediador aplicada a la muestra de arena contaminada juega un papel crucial en el proceso de remediación, impactando significativamente en los resultados. La aplicación del remediador no solo mejora la eficacia del proceso de autoremediación (SR), sino que también subraya que los remediadores de origen vegetal, como los utilizados en este estudio, ofrecen una alternativa viable para la biorremediación de arenas contaminadas con diésel, como se evidencia en los resultados obtenidos. Siendo crucial tener en cuenta la posible influencia de variables no

controladas en el estudio, como la variabilidad en las condiciones ambientales, la composición del suelo y la actividad microbiológica, ya que esto podría haber afectado los resultados. Además, la relación positiva observada entre la concentración de biosol y la reducción de Diesel D B5 refuerza la percepción de que este bioestimulante es un agente eficaz para impulsar la actividad microbiana y acelerar la degradación de los hidrocarburos en suelos contaminados.

Al determinar la tasa de degradación de Diesel mediante la incorporación de biosol de pescado como bioestimulante, basándonos en el segundo objetivo donde se evidencia una diferencia significativa entre los tratamientos que recibieron dosis de 40 gr. y los que recibieron 60 gr. Estos resultados no solo respaldan la eficacia de la biorremediación con biosol de pescado, sino que también establecieron una base sólida para investigaciones futuras y la aplicación práctica de esta técnica en entornos portuarios.

Además, se puede decir que la tasa de degradación de Diesel D B5 mediante el uso de biosol como bioestimulante para los tratamientos SB1 Y SB2 fue de 43% y 44% respectivamente, lo que significa que existe una diferencia estadística entre estos. Curiel (9) por su parte señala que la estimulación del metabolismo microbiano se correlacionó con las tasas de degradación, ya que la eficiencia de degradación de los TPH después de la adición de vermicompost alcanzó el 32,5% y

el 34,4% de los niveles iniciales de hidrocarburos para la bioestimulación y el bioaumento, respectivamente. En ese sentido los resultados de degradación pueden variar en función de las condiciones específicas del suelo y la calidad del biosol utilizado, lo que significa que los resultados pueden no ser directamente aplicables en todos los contextos. Los hallazgos subrayan la importancia de adaptar la técnica de biorremediación a las condiciones locales y considerar la calidad del biosol en la aplicación práctica.

CONCLUSIONES

Se determinó que, la implementación del método bioestimulante, mediante la aplicación del biosol de pescado muestra una prometedora eficacia como agente bioestimulante para biorremediación. Además, mediante la observación y la monitorización del olor durante el tratamiento del suelo con biosólidos de pescado reveló una transición significativa desde un fuerte olor a Diésel hacía un aroma de "tierra mojada", indicando la descomposición efectiva de los contaminantes. Respecto a las diferentes dosis de biosol de pescado, se obtuvo que los datos tanto de 5,10 y 15 días tienen diferencia significativa siendo el tratamiento SB1 la mejor dosis en estos primeros 5 días, sin embargo, con los días siguientes se obtuvo que la mejor dosis fue la del tratamiento SB2.

Por lo tanto, existe una relación significativa entre la concentración de biosol y la eficacia del tratamiento. Donde el tratamiento con 60 gramos de biosol (SB2) muestra la mayor eficiencia, indicando que a medida que aumenta la concentración de biosol y el tiempo de tratamiento, se mejora la reducción de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH). Por último, al momento de determinar la tasa de degradación de Diesel se mostró una diferencia entre los tratamientos que recibieron dosis de biosol y aquellos que no las recibieron. Demostrando que la tasa de degradación de Diesel D B5 para los tratamientos SB1 y SB2 fue del 43% y 44%, respectivamente, lo que indica una diferencia solo del 1%. en los dos métodos.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Valenzuela I, Galindo L, Mantilla D, Moncada D, Orjuela E, Romano K et al. Técnicas de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con fines de uso en el municipio de Tibú, Norte de Santander. Rev U.D.C.A Actual Divulg Cient. 2021; 51(1):107-18. <https://acortar.link/JmUkO8>
2. Cando M. Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. 2011. <https://acortar.link/JPoykd>

3. Azubuike C, Blaise C, Chijioke G. Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations, and prospects. 2016 <https://acortar.link/fuFcoF>
4. Gligo N, Alonso G, Barkin D, Brailovsky A, Brzovic F, Carrizosa J y Villamil J. La tragedia ambiental de América Latina y el Caribe. CEPAL. 2020. <https://acortar.link/Cqzfi7>
5. Álvaro C, Arocena L, Martínez M, Nudelman S. Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina. *Rev Int Contam Ambient.* 2017; 33(2):247-57. <https://acortar.link/Z1MI11>
6. Rodríguez C, Vizuete R. Determinación de la capacidad biodegradadora de hidrocarburos de bacterias aisladas de suelos contaminados con petróleo. Repositorio Universidad Técnica de Ambato; 2011. <https://acortar.link/cAHzWZ>
7. Brechelt A. Manejo Ecológico del Suelo. 2004. <https://acortar.link/uDaspg>
8. Velásquez T, Barrutia I. Extracto hidroalcohólico de cáscara de Citrus sinensis y aceite de Pinus patula, una alternativa de biorremediación. *J Sci Agric Res.* 2020; 11(2). <https://acortar.link/FnQolr>
9. Curiel-Alegre S, Velasco-Arroyo B, Rumbo C, Khan A, Tamayo-Ramos J, Rad C, et al. Evaluation of biostimulation, bioaugmentation, and organic amendments application on the bioremediation of recalcitrant hydrocarbons of soil. *Chemosphere.* 2022; 135638. <https://acortar.link/sGTXJy>
10. Álvaro C, Arocena L, Martínez M, Nudelman S. Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina. *Rev Int Contam Ambient.* 2017; 33(2):247-57. <https://acortar.link/3w2VgW>
11. Calderón F, Lora W, Rivera E, Loayza C, Sinarahua M, Torres J, et al. Eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con Diesel B5 mediante Microorganismos Eficaces (EM). Cátedra Villarreal. 2018; 6(2). <https://acortar.link/0OfPIG>
12. Cruzado A, Leon L. Aplicación de humus de Eisenia foetida en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, usando Zea mays como indicador, en la ciudad de Piura, 2021. Repositorio de la Universidad Privada del Norte; 2022. <https://acortar.link/bpwOGD>
13. Hernández R, Mendoza C. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. 2019. <https://acortar.link/tr8UIb>
14. Camani C. Diseño completamente al azar. 2017. <https://acortar.link/tTFZGp>
15. Galarza C. Diseños de investigación experimental. *Rev Divulg Cienc Univ Tecnol Indoamérica.* 2021; 10(1):1-7. <https://acortar.link/v2o0VI>
16. Robles B. Población y muestra. *Pueblo Continente.* 2019; 30(1):245-7. <https://acortar.link/Fpuc9C>